



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRAFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS
DA GEOINFORMAÇÃO

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR

**MONITORAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO DA VEGETAÇÃO NO
CENÁRIO DE CAATINGA DAS ÁREAS DE MATA CILIAR ASSOCIADAS AO
RESERVATÓRIO ARTIFICIAL DE SERRINHA II – PE, BRASIL**

Recife

2021

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR

**MONITORAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO DA VEGETAÇÃO NO
CENÁRIO DE CAATINGA DAS ÁREAS DE MATA CILIAR ASSOCIADAS AO
RESERVATÓRIO ARTIFICIAL DE SERRINHA II – PE, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Orientadora: Prof^o. Dr^a. Leidjane Maria Maciel de Oliveira

Recife

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB4-1267

S586m	Silva Junior, Ubiratan Joaquim da. Monitoramento por sensoriamento remoto da vegetação no cenário de caatinga das áreas de mata ciliar associadas ao reservatório artificial de Serrinha II – Pe, Brasil / Ubiratan Joaquim da Silva. - 2021. 97 folhas, il., figs., tabs. Orientadora: Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2021. Inclui Referências. 1. Engenharia cartográfica. 2. Florestas sazonalmente secas. 3. Semiárido. 4. Índices de vegetação. 5. SPI. 6. Classificação binária. 7. MLME I. Oliveira, Leidjane Maria Maciel de (Orientadora). II. Título UFPE 526.1 CDD (22. ed.) BCTG/2021-145
-------	--

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR

**MONITORAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO DA VEGETAÇÃO NO
CENÁRIO DE CAATINGA DAS ÁREAS DE MATA CILIAR ASSOCIADAS AO
RESERVATÓRIO ARTIFICIAL DE SERRINHA II – PE, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Área de concentração: Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovada em: 26/04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Participação por videoconferência

Prof^o. Dr^a. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof^o. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência

Prof^o. Dr. Alfredo Ribeiro Neto (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a meus pais, Mauricleide e Ubiratan, pela educação e todo esforço que fizeram para minha formação pessoal e profissional, sempre me permitindo ser quem sou e apoiando minhas escolhas. Ao meu ex-professor Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves, por me apresentar a Engenharia Cartográfica e me ensinar a ser um profissional ético e dedicado. A minha orientadora Prof^a. Dr^a Leidjane Maciel Oliveira, por me apoiar, ensinar e motivar a cada dia a ser um pesquisador ético e responsável, vendo sempre o lado positivo das coisas. E aos meus amigos Juarez Antonio Junior e Raiane Cavalcanti, que me dão forças todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido a vida. E as artes e a cultura por me libertarem. A todos que integram a comunidade LGBTQIA+ e lutaram para que hoje eu seja livre. Sua existência é força da minha caminhada a cada dia.

A meus pais: Mauricleide e Ubiratan, por sempre acreditar em minhas escolhas e estar comigo em todos os momentos. Aos meus avós: Baselice e Manoel Joaquim, por ser minha base junto com Tia Sueli Silva, sendo exemplos de força, carinho e luta por um mundo melhor.

Ao meu irmão e melhor amigo, Juarez Antônio. Sem você nenhuma linha desta dissertação teria sido escrita. Gratidão, por todos os ensinamentos, apoio e suporte incondicional.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a. Leidjane M. Maciel de Oliveira, por todo conhecimento, profissionalismo e doçura dedicados a esta pesquisa.

Ao meu professor e fonte de inspiração profissional, Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves, pela participação na banca de projeto e pelas orientações nos artigos.

Aos professores: Dr.^a. Lucilene Antunes, Dr.^a. Simone Sato, Dr.^a. Maria de Lourdes Aquino, Dr.^a. Andréa de Seixas, Dr.^a. Ana Candeias, Dr.^a. Andreia Carneiro, Dr. Silvio Garnés, Dr. José Luiz Portugal.

Aos meus amigos e amores da vida: Felipe Medrado, Rayane Cavalcanti, Jadelson Vanute, Vanessa Moraes, Kiara, Luana, Ewelyn Sâmáris, Sulamita e Elayne. Aos amigos Suricates do SES Cordeiro: Manoel, Rafaelle, Amanda, Dona Ceça, Tarci, Tati, Léo, Soraya e Maria.

Aos meus amigos de graduação: Gabriel Lins, André Menezes, Anderson, Camila Ribeiro, Tácito e Fábio Marley e José Augusto pela amizade, cuidado, atenção e carinho. Aos meus amigos de turma da Pós-Graduação, em especial Camila Miranda, Fabricio, Carla Barbosa, Débora e Raquel Vila Nova.

A todos os membros do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco. Em especial a secretária Elizabeth Galdino, por toda dedicação, paciência, ajuda e informações.

Muito obrigado a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para a conclusão desta etapa em minha formação.

RESUMO

Matas ciliares são florestas associadas a córregos, rios e lagos, influenciando diretamente nos processos hidrológicos. Neste contexto, florestas sazonalmente secas como a Caatinga, no Semiárido Brasileiro, beneficiam-se de índices meteorológicos como o SPI e do Sensoriamento Remoto, que integrados possibilitam a compreensão dos impactos da sazonalidade hidrológica na mata ciliar e no corpo hídrico. Este estudo, objetivou analisar o comportamento da vegetação das áreas de mata ciliar associada ao reservatório de Serrinha II – PE, no cenário de Caatinga através da integração de Técnicas de Sensoriamento Remoto, e do SPI nas escalas de 3,12 e 24 meses. A estrutura dessa dissertação seguiu o modelo de artigo, com os seguintes trabalhos: i) Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil; ii) Variações sazonais intra e interanual da cobertura vegetal (NDVI E SAVI) em um cenário de Caatinga na mata ciliar do Reservatório Serrinha II, PE, Brasil e sua correlação com o SPI, através de tendências dos Índices: NDVI, SAVI e SPI. Para o desenvolvimento metodológico foi utilizado um conjunto de dados formado por imagens dos satélites: TM - Landsat 5, OLI – Landsat 8 e MSI – Sentinel 2, considerando uma análise espaço temporal (1985 a 2020), em intervalos secos e chuvosos. As imagens foram avaliadas através dos índices: GNDVI, NDVI, EVI e SAVI. Em que foram extraídas as classes: Mata Ciliar (vegetação) e Água (Reservatório), por classificação binária. A validação de acurácia do mapeamento teve referência a binarização de imagens MSI – Sentinel 2 (artigo 1) e das Frações: água e vegetação derivadas do MLME (artigo 2), avaliando os parâmetros de acurácia: índice Kappa, acurácia do usuário e do produto e acurácia global. Como resultado, os IVs foram capazes de identificar mudanças de uso do solo e na cobertura vegetal, identificando em 2019, quando comparado a 1996 uma redução de 55,40% da cobertura vegetal. Entretanto, essas mudanças estiveram associadas a eventos de déficit hídrico e secas (2016 - 2017), que proporcionaram a redução de e área da vegetação e do Reservatório. Em novembro de 2017 o reservatório tinha uma área de 3,15 km² com um de volume = 11,66 hm³, neste período o valor do SPI-3 foi de -1,66, caracterizando a presença de seca severa. E em 2020, tem-se um aumento de área de 17,36 km² e volume de 277,67 hm³, proporcionado por um aumento de precipitação na região no período chuvoso. Com relação a acurácia do mapeamento as modelagens de validação utilizadas como referência associadas as imagens classificadas apresentaram uma acurácia global superior a 95%, e índice kappa classificando o mapeamento entre bom e excelente (0,61-0,96). Entretanto, em períodos secos de transição da sazonalidade foi identificada a

presença de mistura espectral. Destaca-se através dos resultados a utilidade dos dados da série Landsat e Sentinel 2 possibilitando análises espaciais e espectrais, em áreas de mata ciliar, assim como sua associação ao SPI, que se mostraram como uma ferramenta de monitoramento contínuo da mata ciliar associada a reservatórios artificiais, em florestas sazonalmente secas.

Palavras-chave: florestas sazonalmente secas; semiárido; índices de vegetação; SPI; Classificação Binária; MLME.

ABSTRACT

Riparian forests are forests associated with streams, rivers and lakes, directly influencing hydrological processes. In this context, seasonally dry forests such as the Caatinga, in the Brazilian semiarid region, benefit from meteorological indices such as SPI and Remote Sensing, which, when integrated, make it possible to understand the impacts of hydrological seasonality on the riparian forest and on the water body. This study aimed to analyze the behavior of vegetation in the riparian forest areas associated with the reservoir of Serrinha II - PE, in the Caatinga scenario through the integration of Remote Sensing Techniques, and SPI on scales of 3, 12 and 24 months. The structure of this dissertation followed the model of article, with the following papers: i) Spectral Sensitivity of Vegetation Indices: GNDVI, NDVI and EVI in the riparian forest of the Serrinha II Reservoir - PE, Brazil; ii) Seasonal intra and inter-annual variations of vegetation cover (NDVI AND SAVI) in a Caatinga scenario in the riparian forest of the Serrinha II Reservoir, PE, Brazil and its correlation with the SPI, through trends of the Indices: NDVI, SAVI and SPI. For the methodological development a dataset formed by images from satellites was used: TM - Landsat 5, OLI - Landsat 8 and MSI - Sentinel 2, considering a space-time analysis (1985 to 2020), in dry and rainy intervals. The images were evaluated through the indices: GNDVI, NDVI, EVI and SAVI. The following classes were extracted: riparian forest (vegetation) and water (reservoir), by binary classification. The mapping accuracy validation had reference to the binarization of MSI - Sentinel 2 images (article 1) and the Fractions: water and vegetation derived from MLME (article 2), evaluating the accuracy parameters: Kappa index, user and product accuracy and global accuracy. As a result, the IVs were able to identify land use and vegetation cover changes, identifying in 2019, when compared to 1996 a 55.40% reduction in vegetation cover. However, these changes were associated with water deficit and drought events (2016 - 2017), which provided the reduction of area of vegetation and the Reservoir. In November 2017 the reservoir had an area of 3.15 km² with a volume = 11.66 hm³, in this period the value of SPI-3 was -1.66, characterizing the presence of severe drought. And in 2020, there is an increase in area of 17.36 km² and volume of 277.67 hm³, provided by an increase in precipitation in the region during the rainy season. Regarding the accuracy of the mapping, the validation modeling used as reference associated with the classified images showed an overall accuracy higher than 95%, and kappa index classifying the mapping between good and excellent (0.61- 0.96). However, in dry periods of seasonal transition, the presence of spectral mixture was identified. The usefulness of the Landsat and

Sentinel 2 data series, enabling spatial and spectral analysis in riparian forest areas, as well as its association with SPI, is highlighted through the results, which have proven to be a tool for continuous monitoring of riparian forest associated with artificial reservoirs.

Keywords: seasonally dry forests; semi-arid; vegetation indices; SPI; binary classification; MLME.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1

Figura 1 –	Área de Estudo. (A) Área de Estudo inserida no Bioma Caatinga, Brasil. (B) Localização do Reservatório no Estado de Pernambuco. Nordeste Brasileiro. (C) Cena do Satélite MSI-Sentinel 2 de 17 de Novembro de 2019.....	22
Figura 2 –	Cartas imagem representando os IVs: A) GNDVI, B) NDVI e C) EVI para os Sensores OLI e MSI.....	27
Figura 3 –	Extração das áreas de mata ciliar para os anos analisados.....	29
Figura 4 –	Extração das áreas do reservatório para os anos analisados.....	30
Figura 5 –	Perfis Espectrais dos IVs para os Sensores MSI e OLI.....	32
Figura 6 –	Correlação entre os IVs.....	34

ARTIGO 2

Figura 1 –	Área de Estudo. (A) Localização do Reservatório na Bacia Hidrográfica do Pajeú em Pernambuco, Nordeste brasileiro. (B) Ortofoto (PE3D) do Reservatório Serrinha II. (C) Fotografia Terrestre da vegetação local.....	52
Figura 2 –	Vegetação da Caatinga na área de estudo.....	53
Figura 3 –	Distribuição da precipitação mensal acumulada (mm) no Reservatório (Estação - 838015).....	54
Figura 4 –	Gráfico Método Dupla Massa.....	55
Figura 5 –	Etapas Metodológicas.....	56
Figura 6 –	Cartas Imagem NDVI.....	61
Figura 7 –	Cartas Imagem SAVI.....	63
Figura 8 –	(A) Relação Temporal entre o SPI nas escalas 12 e 24 e o NDVI. (B) Correlação Temporal entre o SPI nas escalas 12 e 24 e o SAVI.....	64
Figura 9 –	Variação do volume (hm ³) no Reservatório de Serrinha II entre 2016 e 2020.....	66
Figura 10 –	Mudanças na área superficial através do NDVI do Reservatório Serrinha II ao longo dos anos.....	69

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 –	Características das imagens.....	23
Tabela 2 –	Dados hidrológicos para região de estudo, anual e durante o período de aquisição das imagens orbitais.....	24
Tabela 3 –	Áreas obtidas através do processo de binarização.....	31
Tabela 4 –	Acurácia das áreas classificadas.....	36

ARTIGO 2

Tabela 1 –	Data de aquisição das cenas e características do MSI – Sentinel 2 A e B.....	54
Tabela 2 –	Valores de Classificação do Índice de Precipitação Padronizado...	59
Tabela 3 –	Relação entre o SPI e o Volume do Reservatório.....	67
Tabela 4 –	Áreas da Mata Ciliar e Reservatório, extraídas da matriz de confusão a partir da Classificação binária dos IVs.....	68
Tabela 5 –	Resultados de acurácia do mapeamento extraídos da matriz de confusão a partir da Classificação binária dos Índices.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento
APAC	Agência Pernambucana de Água e Clima
APP	Área de Preservação Permanente
BR	Brasil
DOI	Digital Object Identifier
DOS	Dark Object Subtraction
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EC	Erro de Comissão
EO	Erro de Omissão
EVI	Enhanced Vegetation Index
ESA	European Space Agency
f.	Folhas
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional Meteorológico
IPPC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IVs	Índices de Vegetação
KFRFM	Kalman Filter Reflectance Fusion Model
LIDAR	Light Detection And Ranging
LS	Coeficiente de Ajuste ao Solo.
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSG	Meteosat Second Generation
MSI	Multispectral Instrument
n.	número
NDVI	Normalized Difference Vegetation
NDWI	Normalized Difference Water Index
NE	Nordeste
NIR	Near-Infrared
OLI	Operational Land Imager

p.	Página
PDI	Processamento digital de imagens
PE	Pernambuco
PE3D	Pernambuco Tri-dimensional
RGB	REG – GREEN - BLUE
SAR	Serviço de Acompanhamento aos Reservatórios
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SIG	Sistema de Informações Geográficas
S. L.	Sem Local
SPI	Índice de Precipitação Padronizado
SPEI	Índice de Evapotranspiração de Precipitação Padronizado
SWIR	Short-Wave Infrared
TOA	Reflectância no topo da atmosfera
TM	Thematic Mapper
v.	volume
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	ARTIGO 1 - SENSIBILIDADE ESPECTRAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: GNDVI, NDVI E EVI NA MATA CILIAR DO RESERVATÓRIO DE SERRINHA II – PE, BRASIL.....	17
3	ARTIGO 2 - VARIAÇÕES SAZONAIS INTRA E INTERANUAL DA COBERTURA VEGETAL (NDVI E SAVI) NA MATA CILIAR DO BIOMA CAATINGA NO RESERVATÓRIO DE SERRINHA II, PE, BRASIL E SUA CORRELAÇÃO COM O SPI E O VOLUME HÍDRICO ACUMULADO.....	47
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
4.2	CONCLUSÃO.....	81
	REFERÊNCIAS.....	84

1 INTRODUÇÃO

As matas ciliares são consideradas de imensa importância para a continuidade de biomas como a Caatinga no nordeste do Brasil. Essas áreas têm sido modificadas nas últimas décadas por ações antrópicas, que vem alterando significativamente o cenário natural (VALERA et al., 2019). Em regiões áridas e semiáridas as matas ciliares possuem influência na qualidade da água doce e auxiliam na proteção do ecossistema de atividades antrópicas nas bacias hidrográficas (BURDON et al., 2020; TÁVORA e KOIDE, 2020). Sua alta produtividade de biomassa, biodiversidade e serviços ecológicos, como: controle de enchentes e erosão e remoção de nutrientes do escoamento agrícola (WALLACE et al., 2018; KOZLOWSKI, 2002).

Entrando, por vezes as matas ciliares em regiões áridas e semiáridas tornam-se motivos de conflitos, uma vez que a partilha do uso da água entre os recursos naturais e o consumo humano torna-se uma disputa devido ao abastecimento limitado (ALBANO et al., 2020). Reservatórios artificiais, como Serrinha II no Semiárido pernambucano, são responsáveis por armazenamento de água, recarga de águas subterrâneas, retenção de sedimentos, purificação da água e regulação do microclima (JUNK et al., 2013).

Essas áreas se beneficiam do Sensoriamento Remoto (SR), através de imagens de satélites a exemplo do MSI – Sentinel 2, OLI – Landsat 8 e TM – Landsat 5, que proporcionam subsídios para o monitoramento, modelagem e validação em escala local e global, das mudanças na cobertura da terra (DA SILVA JUNIOR et al., 2021; CUNHA et al., 2020; MONDAL et al., 2020). Os índices de Vegetação (IVs) são ferramentas de SR para a modelagem e mapeamento de uso e ocupação do solo, através da análise de diferenças de refletância que a vegetação apresenta nas regiões do visível e do infravermelho (JESSEN, 2011), como IVs: EVI (Enhanced Vegetation Index) (HUETE et al., 1997), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) (GITELSON et al., 1997), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (ROUSE et al., 1973), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) (HUETE, 1998). Entretanto, em biomas sazonalmente secos, como a Caatinga faz-se necessário uma análise integrada da reposta dos IVs com elementos que proporcionem mudanças hidrológicas e climáticas como: a incidência pluviométrica e eventos como seca, El nino e La nina (ALBANO et al., 2020; CUNHA et al., 2020; BARBOSA et al., 2019). Neste aspecto índices como o SPI (Índice de Precipitação Padronizado) (MCKEE et al., 1993),

possibilitam análises das respostas hidrológicas e climáticas aos eventos de déficit hídrico em áreas sazonalmente secas e seus impactos aos recursos naturais como a vegetação das áreas de mata ciliar.

Análises integradas dos IVs e índices meteorológicos como o SPI no cenário de Caatinga, foram desenvolvidas por: (i) Barbosa et al. (2019), que avaliaram a resposta da vegetação da Caatinga à Seca, através de series NDVI derivadas do satélite METOSAT-SEVERI e os índices SPI e SPEI (Índice de Evaporação de Precipitação Padronizado), entre 2008 e 2016. (ii) Cunha et al. que utilizaram os IVs: NDVI e EVI, associados ao Albedo da Superfície através de uma série temporal mensal Landsat de 31 anos, correlacionando as respostas espectrais com as tendências de SPEI e SPI ao longo da série.

Esta dissertação foi elaborada e organizada em formato de artigo aprovado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG) com modelo disponibilizado pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), através do Sistema de Bibliotecas, neste padrão espera-se uma introdução geral, 2 capítulos em formato de artigos e uma conclusão geral. No Capítulo 2, tem-se o artigo: Sensibilidade espectral dos Índices de vegetação: GNDVI, NDVI E EVI na mata ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil e tem como objetivos: (i) Investigar possíveis alterações no cenário da cobertura vegetal da mata ciliar do bioma Caatinga, no entorno do Reservatório Serrinha II em Pernambuco, utilizando os índices de vegetação (IVs): GNDVI, NDVI e EVI, numa série temporal dos satélites TM -Landsat 5 e OLI -Landsat 8, entre 1985 e 2019, (ii) Analisar a sensibilidade dos IVs que mais se aproximem às características fenológicas desta região e (iii) Comparar os resultados obtidos pelos IVs através das análises de perfis espectrais e correlação com entre os produtos gerados pelos satélites Landsat 8 e MSI-Sentinel 2. No Capítulo 3, tem-se o artigo 2: Variações sazonais intra e interanual da cobertura vegetal (NDVI e SAVI) na Mata Ciliar do Bioma Caatinga no Reservatório de Serrinha II, PE, Brasil e sua correlação com o SPI e o volume hídrico acumulado, cujos objetivos são: (i) Investigar as alterações sazonais intra e interanual no cenário da cobertura vegetal da mata ciliar do bioma Caatinga, no entorno do Reservatório Serrinha II - PE, através dos índices de vegetação: NDVI e SAVI derivados de imagens do satélite MSI – Sentinel 2 de 2016 a 2020, (ii) Analisar os efeitos de déficit hídrico na mata ciliar com o volume do útil do reservatório através da integração entre os índices: NDVI, SAVI e o SPI, (iii) Identificar possíveis ações de degradação vegetal por efeitos de seca, e (iv) Mapear as mudanças temporais ocorridas em termos espaciais referente a mata ciliar do Reservatório. No Capítulo 4, são apresentadas as conclusões e as recomendações para pesquisas futuras.

2 ARTIGO 1 - SENSIBILIDADE ESPECTRAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: GNDVI, NDVI E EVI NA MATA CILIAR DO RESERVATÓRIO DE SERRINHA II – PE, BRASIL

Autores: Ubiratan Joaquim da Silva Junior¹, Rodrigo Mikosz Gonçalves¹, Leidjane M. Maciel De Oliveira¹ e Juarez Antônio Da Silva Junior¹.

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco.

Artigo publicado em 19 de fevereiro de 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>, no Periódico: REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA (RBC), (ISSN: 0560-4613) - QUALIS/CAPES (2013 – 2016): B2 (Geociências).

É ressaltado que esta dissertação foi qualificada em 05 de novembro de 2021, período em que o artigo estava em processo de Submissão, seguindo as Normativas do Programa de Pós-Graduação em Ciência Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

A seguir é apresentado o rascunho do artigo: Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil, citado acima.

SENSIBILIDADE ESPECTRAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: GNDVI, NDVI E EVI NA MATA CILIAR DO RESERVATÓRIO DE SERRINHA II – PE, BRASIL.

Spectral Sensitivity of Vegetation Indices: GNDVI, NDVI and EVI in the Riparian Forest of the Serrinha II Reservoir – PE, Brazil.

Ubiratan Joaquim da Silva Junior¹, Rodrigo Mikosz Gonçalves¹, Leidjane M. Maciel De Oliveira¹ e Juarez Antônio Da Silva Junior¹.

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco.

RESUMO

Matas ciliares são florestas associadas a córregos, rios e lagos possuindo influência na proteção dos ecossistemas de ações antrópicas. O objetivo deste estudo foi identificar as alterações nas áreas de mata ciliar da Caatinga, a partir da sensibilidade espectral dos índices de vegetação (IVs): GNDVI, NDVI e EVI, considerando uma análise espaço temporal (1985 a 2019) no entorno do Reservatório de Serrinha II – PE - Brasil. Para isso, foram utilizadas imagens dos satélites TM - Landsat 5, OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2. Os IVs foram validados comparando perfis espectrais e correlação dos produtos gerados pelo Landsat 8 e Sentinel 2. Através da classificação binária dos índices, foram identificadas as alterações na cobertura vegetal, entre 1996 e 2019, resultando uma perda de 55,40% de vegetação. Estes eventos, associados aos efeitos da seca também foram observados para o reservatório, entre 2012 e 2019, com 32,36% de redução do espelho d'água. Entre os IVs, o GNDVI e NDVI apresentaram maior sensibilidade para identificar a mata ciliar com coeficiente de Pearson igual a 0,93 para o Landsat 8; 0,94 para o Sentinel 2 e acurácia global superior a 95%. Por outro lado, o EVI mostrou-se mais sensível para identificar a área do reservatório, com acurácia global de 99,48%. O monitoramento de reservatórios artificiais e mata ciliares de florestas sazonalmente secas como a Caatinga se beneficiam do uso de IVs onde a escolha de um determinado IV isolado deve ser interpretada com cautela de acordo com as características da região estudada.

Palavras-chave: Índices de Vegetação. Classificação Binária. Matas Ciliares. Caatinga. Reservatórios.

ABSTRACT

Riparian forests are forests associated with streams, rivers and lakes that have an influence on the protection of ecosystems from man-made actions. The objective of this study was to identify changes in the Caatinga riparian forest areas, based on the spectral sensitivity of vegetation indices (IVs): GNDVI, NDVI and EVI, considering a temporal space analysis (1985 to 2019) in the surroundings of the Serrinha II Reservoir - PE - Brazil. For this purpose, images from sensors/satellites TM - Landsat 5, OLI - Landsat 8 and MSI - Sentinel 2 were used. The IVs were validated comparing spectral profiles and correlation of the products generated by Landsat 8 and Sentinel 2. Through the binary classification of the indices, changes in vegetation cover were identified between 1996 and 2019, resulting in a loss of 55.40% of vegetation. These events, associated with the effects of the drought were also observed for the reservoir, between 2012 and 2019, with 32.36% reduction in the water mirror. Among the IVs, the GNDVI and NDVI showed greater sensitivity to identify the riparian forest with a Pearson coefficient equal to 0.93 for Landsat 8; 0.94 for Sentinel 2 and an overall accuracy of over 95%. On the other hand, EVI was more sensitive to identify the reservoir area, with overall accuracy of 99.48%. The monitoring of artificial reservoirs and riparian forests of seasonally dry forests such as the Caatinga benefit from the use of IVs where the choice of a given isolated IV should be interpreted with caution according to the characteristics of the region studied.

Keywords: Vegetation Indexes. Binary classification. Riparian forests. Caatinga. Reservoir.

1 INTRODUÇÃO

As matas ciliares são consideradas de imensa importância para a continuidade de biomas como a Caatinga no nordeste do Brasil. Essas áreas têm sido modificadas nas últimas décadas por ações antrópicas, que vem alterado significativamente o cenário natural (VALERA et al., 2019), sendo ameaçadas de extinção no Brasil, devido ao desmatamento generalizado para agricultura e extração mineral (BARBOSA et al., 2019; CUNHA et al., 2019). Por este motivo é necessário o investimento em planejamento e programas que possibilitem análises do uso do solo e qualidade da água em áreas pertencentes à mata ciliares e sua interação com o meio antrópico (HÉNAULT-ETHIER et al., 2017).

Os recursos naturais da Terra e suas características se beneficiam do Sensoriamento Remoto, a fim de obter informações sobre sua detecção espacial, descrição, quantificação e monitoramento (KIMM et al., 2020; AREKHI et al., 2019). Os sistemas de Sensoriamento Remoto fornecem dados periódicos e consistentes da superfície terrestre sendo um instrumento fundamental no monitoramento global e uma das principais ferramentas usadas para entender os processos dinâmicos inerentes às diversas formas ecossistêmicas e suas respostas as mudanças climáticas (MERCIER et al., 2020; GHOLIZADEH et al., 2018; TESTA et al., 2018). Dentre as técnicas de processamentos de imagens obtidas por Sensoriamento Remoto têm-se os índices de vegetação (IVs), objetivando a exploração das propriedades espectrais da vegetação, a partir do comportamento da sua reflectância nas regiões do visível e infravermelho próximo, com aplicações para o monitoramento das matas ciliares e planejamento desses espaços (ZHANG et al., 2019; YANG et al., 2018; BECK, 2006). Entre eles destacam-se o GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), útil para avaliar as variações de biomassa verde na escala do dossel, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation*) que é um indicativo da vegetação fotossinteticamente ativa (ZHOU e ZHONG, 2020; ALI et al., 2019) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), utilizado como estimador de parâmetros biofísicos como a evapotranspiração (JARCHOW et al., 2018).

Zhou e Zhong (2020) utilizaram os IVs: GNDVI, EVI e NDVI para qualificar o comportamento de crescimento da vegetação, através de um modelo de mistura de refletância da superfície, com base no algoritmo *Kalman Filter Reflectance Fusion Model* (KFRFM), para prever incertezas em imagens sintéticas da série temporal dos satélites Landsat e MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), em Ottawa, Canadá. Na região Nordeste do Brasil, Barbosa et al. (2019) analisaram os padrões espaço-temporais do impacto da seca na vegetação do bioma Caatinga, entre 2008 e 2016, empregando o NDVI, explorando a

correlação entre o índice e a precipitação em escala local a regional, com séries temporais do *Meteosat Second Generation* (MSG).

A característica semiárida da Caatinga oferece uma oportunidade única para estudar a vegetação em resposta às secas recorrentes, devido aos seus impactos negativos na erosão do solo (BARBOSA et al., 2019). No entanto, a resposta da vegetação da Caatinga, aos IVs existentes, ainda é solicitante de modelagens, validações e estudos. Apesar de existirem 144 IVs, sendo 21 de banda larga e 123 de banda estreita (TONG e HE, 2017), eles não foram criados para o bioma Caatinga, que possui um grau notável de heterogeneidade vegetal em decorrência da dinâmica do déficit pluviométrico existente na região. Isto se torna ainda mais escasso, em estudos que correlacionem modelagens dos IVs já existentes, e a vegetação da Caatinga para áreas de mata ciliar. Pois, além de sofrer com escassez pluviométrica natural da região, essas áreas possuem diferenças em termos de umidade e tipo do solo. Tornando-as de grande importância para a distribuição hídrica, manutenção do ciclo hidrológico das bacias do semiárido, qualidade da água e sobrevivência dos ecossistemas que integram a relação: vegetação e corpo hídrico.

Portanto, os objetivos deste estudo foram: (i) Investigar possíveis alterações no cenário da cobertura vegetal da mata ciliar do bioma Caatinga, no entorno do Reservatório Serrinha II em Pernambuco, utilizando os índices de vegetação (IVs): GNDVI, NDVI e EVI, numa série temporal dos satélites TM - Landsat 5 e OLI- Landsat 8, entre 1985 e 2019, (ii) Analisar a sensibilidade dos IVs que mais se aproximem às características fenológicas desta região e (iii) Comparar os resultados obtidos pelos IVs através das análises de perfis espectrais e correlação com entre os produtos gerados pelos satélites Landsat 8 e MSI - Sentinel 2.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

No Brasil, as matas ciliares são denominadas Áreas de Preservação Permanente (APP), nos termos dos artigos 4º, 5º e 6º da Lei nº 12.651/12 (Código Florestal) (BRASIL, 1965), sendo definidas como: área coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico da fauna e flora, protegendo solo e garantindo o bem-estar das populações humanas.

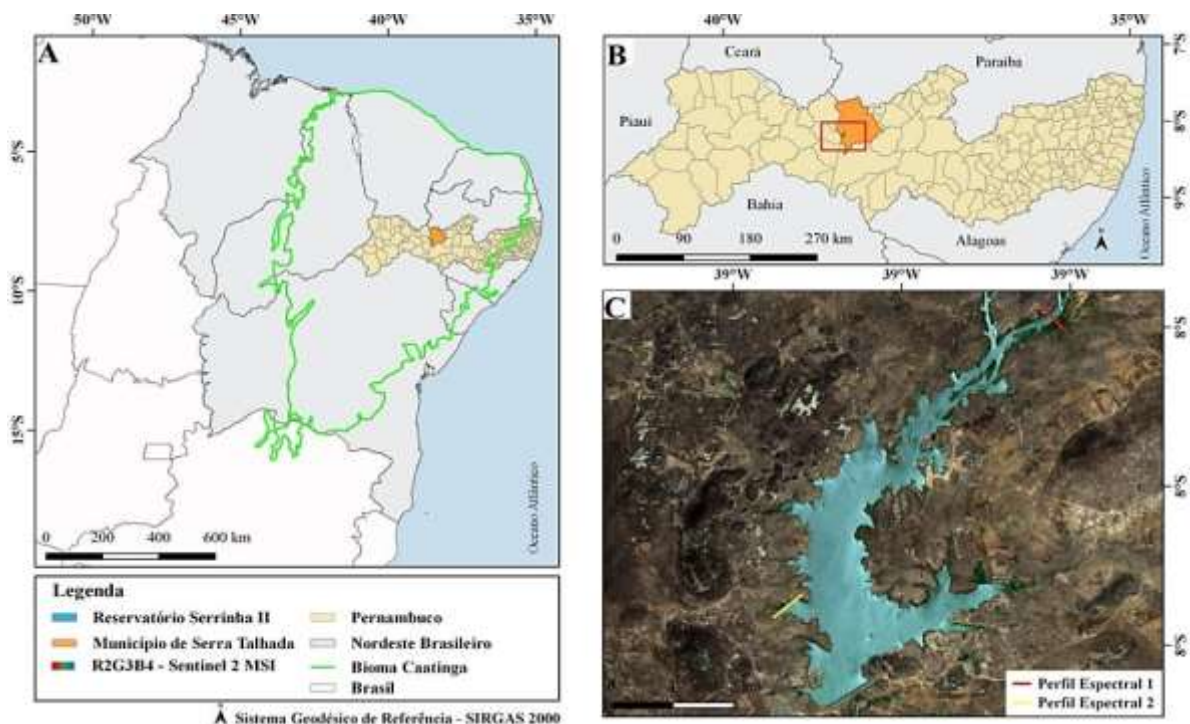
O experimento deste artigo foi realizado tendo como área de estudo a mata ciliar do Reservatório de Serrinha II, construída em 1996 pelo Departamento Nacional de Obras Contra

as Secas (DNOCS), localizado no Semiárido Pernambucano, no município de Serra Talhada (SILVA et al., 2017), de coordenadas geográficas (08° 11' 58,64"S, 38° 32' 31,98"W). Este é o segundo maior reservatório do estado, com capacidade máxima de 311,08 hm³ de água, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Pajeú.

A vegetação predominante é a Caatinga, única no Brasil, sendo a maior floresta tropical sazonal seca contínua com vegetação florestal nas Américas (CUNHA et al. 2019), caracterizada por um mosaico de vegetação xerofítica que se estende por cerca de 735.000 km² através do Nordeste Brasileiro (LEAL et al., 2003) com árvores e arbustos baixos, ramificados, espinhosos, que emergem da folhagem microfílica e decídua na estação seca (MARIANO et al., 2018). Barbosa et al. (2019) afirmaram que a vulnerabilidade da vegetação da Caatinga à secas periódicas é exacerbada por altos níveis de degradação do habitat.

A Figura 1 A apresenta a extensão do Bioma Caatinga sobre o Brasil. A Figura 1 B, apresenta um esboço da localização geográfica da área de estudo, inserida no município pernambucano de Serra Talhada, Região Nordeste do Brasil. E a Figura 1 C uma composição colorida RGB da área de estudo, detalhando o corpo hídrico e a Mata Ciliar e a localização de 2 perfis espectrais utilizados posteriormente no item 3.3.1.

Figura 1 - Área de Estudo. (A) Área de Estudo inserida no Bioma Caatinga, Brasil. (B) Localização do Reservatório no Estado de Pernambuco, Nordeste Brasileiro. (C) Cena do Satélite MSI - Sentinel 2 de 17 de Novembro de 2019.



Fonte: Os Autores (2021).

2.2 MATERIAIS

a) Imagens Orbitais

Foram utilizadas cenas de imagens orbitais dos satélites TM - Landsat 5, OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2, conforme as características apresentadas na Tabela 1. As imagens foram obtidas para o período de baixa incidência pluviométrica da região de estudo, que compreende os meses de junho a dezembro, escolhidos a fim de identificar possíveis atenuantes de seca na mata ciliar. Segundo Chaves et. al. (2008) e Bispo, Valeriano e Duplich (2010) o período seco tem se definido como a melhor época para se realizar o diagnóstico e o mapeamento da vegetação de Caatinga.

Tabela 1 – Características das imagens.

Características	Landsat 5	Satélite Landsat 8	Sentinel 2
Aquisição	18/11/1985 e 15/10/1996	16/11/209	17/11/2019
Recobrimento Espectral	0,450 a 12,50 μm	0,443 a 12,005 μm	0,443 a 2,190 μm
Resolução Radiométrica	8 bits	12 bits	12 bits
Resolução Espacial	30 m	30 m	10 e 20 m
Resolução Temporal	16 dias	16 dias	5 dias
Fonte	United States Geological Survey (USGS)		European Space Agency (ESA)

Fonte: USGS, ESA (2020).

As imagens do satélite MSI – Sentinel 2 são complementares a imagens do OLI – Landsat 8, e os dois instrumentos partilham semelhanças nas especificações das bandas (SHAO et al., 2019), como descrito na Tabela 1. Para o mapeamento das áreas de mata ciliar, a utilização dos sensores em conjunto pode contornar limitações como: presença de nuvens, sombras, resoluções temporais e espacial e outros efeitos atmosféricos (FU e WENG, 2016). Destaca-se que a informação temporal pode detectar comportamentos típicos de matas ciliares como na resposta a inundações e períodos de seca (SKAKUN et al., 2014), identificação fenológica da vegetação (MELAAS et al., 2013) e detecção de alterações espaciais (WHITE et al., 2017).

a) Dados hidrológicos

Os dados de precipitação foram adquiridos através de estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA) e Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Dados hidrológicos para região de estudo, anual e durante o período de aquisição das imagens orbitais.

Ano	Precipitação anual (mm)	Mês	Precipitação mensal (mm)	Dias de chuva/mês	Fonte
1985	1265	Novembro	0	0	ANA - estação N° 838015
1996	896,1	Outubro	9,4	2	ANA - estação N° 838015
2019	527,4	Novembro	32,3	2	APAC - estação N° 505

Fonte: ANA, APAC (2020).

2.3 MÉTODOS

A metodologia empregada foi realizada em três etapas: na primeira etapa foi realizada a aquisição de dados com a seleção das cenas, em que, consideraram-se fatores como: ampla cobertura, ausência de nuvens, períodos com baixa incidência pluviométrica e disponibilidade de compartilhamento dos dados em nuvem. A segunda etapa trata-se do processamento digital das imagens. Feito isso, foram elaborados os cálculos dos IVs que possuem como resultados as cartas imagem para cada ano investigado, contendo os índices e extração das áreas por meio do processo de binarização para as classes mata ciliar e água. A terceira etapa refere-se à validação dos dados, com a comparação entre os produtos gerados pelos satélites OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2, através das análises de perfis espectrais e de correlação entre os IVs.

2.3.1 Processamento Digital das imagens

As imagens são processadas através das etapas: reprojeção cartográfica ao Sistema Geodésico de Referência – SIRGAS 2000, conversão de radiância para reflectância e a correção atmosférica através do método de subtração de objetos escuros DOS (*Dark Object Subtraction*; CHAVEZ, 1988), aplicada para os dados de reflectância no topo da atmosfera (TOA), através da seleção dos valores no histograma e posteriormente subtraídos de cada banda.

2.3.2 Parâmetros biofísicos e extração das áreas

Os IVs configuram-se como medidas radiométricas adimensionais que indicam abundância relativa e atividade da vegetação verde, índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, entre outros elementos (JESSEN, 2009) e são capazes de

evidenciar variações sazonais, interanuais e de longo termo de parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação (MERRICK et al., 2019). Os índices GNDVI e NDVI variam entre -1 e 1, conforme a Eq. (1) e Eq. (2):

$$GNDVI = \frac{\rho_{\lambda(NIR)} - \rho_{\lambda(GREEN)}}{\rho_{\lambda(NIR)} + \rho_{\lambda(GREEN)}}, \quad (1)$$

onde, ρ_{NIR} = infravermelho próximo e $\rho_{\lambda(GREEN)}$ = banda do verde (GITELSON et al., 1997),

$$NDVI = \frac{\rho_{\lambda(NIR)} - \rho_{\lambda(RED)}}{\rho_{\lambda(NIR)} + \rho_{\lambda(RED)}}, \quad (2)$$

onde, ρ_{NIR} = Infravermelho próximo e $\rho_{\lambda(RED)}$ = banda do vermelho (ROUSE et al., 1973). E o EVI, variando entre -1 e 1, conforme a Eq. (3):

$$EVI = \frac{G(\rho_{\lambda(NIR)} - \rho_{\lambda(RED)})}{(L_S + C_1 \rho_{\lambda(RED)} + C_2 \rho_{\lambda(BLUE)} + (\rho_{\lambda(NIR)}))}, \quad (3)$$

onde, $\rho_{\lambda(NIR)}$ = infravermelho próximo e $\rho_{\lambda(RED)}$ = banda do vermelho, $\rho_{\lambda(BLUE)}$ = banda do azul, L_S = parâmetro de ajuste ao solo; G = fator de ganho; C_1 e C_2 = coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis na atmosfera. Os valores dos coeficientes utilizados na equação desenvolvida para obtenção do EVI foram: $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7,5$ e $G = 2,5$ (HUETE, 1988; HUETE et al., 2006)

2.3.3 Análises estatísticas e validação dos IVs

Com a finalidade de estabelecer um processo de validação para os mapas gerados através dos IVs, utilizou-se como ferramenta: análise espectral dos IVs, correlação estatística e avaliação da reposta dos parâmetros acurácia global, índice Kappa, Acurácia do Usuário (Erros de omissão – E_o) e Acurácia do Produtor (Erros de omissão – E_o), para o satélite OLI - Landsat 8 tendo como referência o satélite MSI - Sentinel 2, buscando investigar a aplicação de um processo de validação entre os sensores. Nesta etapa os resultados dos índices investigados foram comparados com o IV SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*; HUETE, 1998), variando o parâmetro de ajuste ao solo (L_S) de 0 a 1, conforme Eq. (4)

$$SAVI = \frac{(1+L_S)(\rho_{\lambda(NIR)} - \rho_{\lambda(RED)})}{(L_S + \rho_{\lambda(NIR)} + \rho_{\lambda(RED)})}, \quad (4)$$

onde, ρ_{NIR} = Infravermelho próximo, $\rho_{\lambda(RED)}$ = banda do vermelho e L_S = parâmetro de ajuste ao solo (0 a 1). Segundo Qi et al. (1994) é adotado valor 1 para áreas com baixa cobertura vegetal, 0,50 intermediárias, 0,25 para áreas com alta densidade, e ao assumir valor igual a zero, tem-se uma igualdade do índice com o NDVI.

O comportamento espectral dos IVs foi estudado a partir de perfis, traçados em áreas da mata ciliar ao longo do Reservatório Serrinha II, entre elas áreas de confluência entre o reservatório e o Rio Pajeú (Figura 1C).

Para as análises estatísticas foram amostrados 100 pixels aleatoriamente, formando uma estatística zonal para cada índice através da média (σ) e desvio padrão (α), distribuído nas áreas de mata ciliar para os Sensores OLI e MSI, identificados por meio de uma composição RGB da imagem. Utilizados para extração dos valores de reflectância aparente das bandas empregadas na álgebra de cada índice. Esta metodologia de amostragem e análise estatística é baseada em experimentos desenvolvidos por Zhou e Zhong (2020), Liu et al. (2018) e Loranty et al. (2018).

Em seguida, obteve-se a extração das classes: mata ciliar e água (reservatório), através do processo de binarização. Resultando nas áreas ocupadas pelas classes binarizadas para cada ano conforme o respectivo índice. O processo de binarização, ou seja, este tipo de classificação é baseado no modelo de presença e não presença. Dessa forma, o processo seguiu o critério de ($f(x,y) < \sigma$), em que, o conjunto de pixels classificados recebe o valor 1 (presença) e ($f(x,y) > \sigma$) recebe o valor de 0 (não presença). Onde, $f(x,y)$ é função que representa a imagem a ser binarizada gerada por cada índice, e σ é a média obtida pela estatística zonal da seleção amostral realizada para as classes mata ciliar e água (reservatório). Dessa forma, além de separar as classes de interesse foi possível efetuar o cálculo de suas áreas.

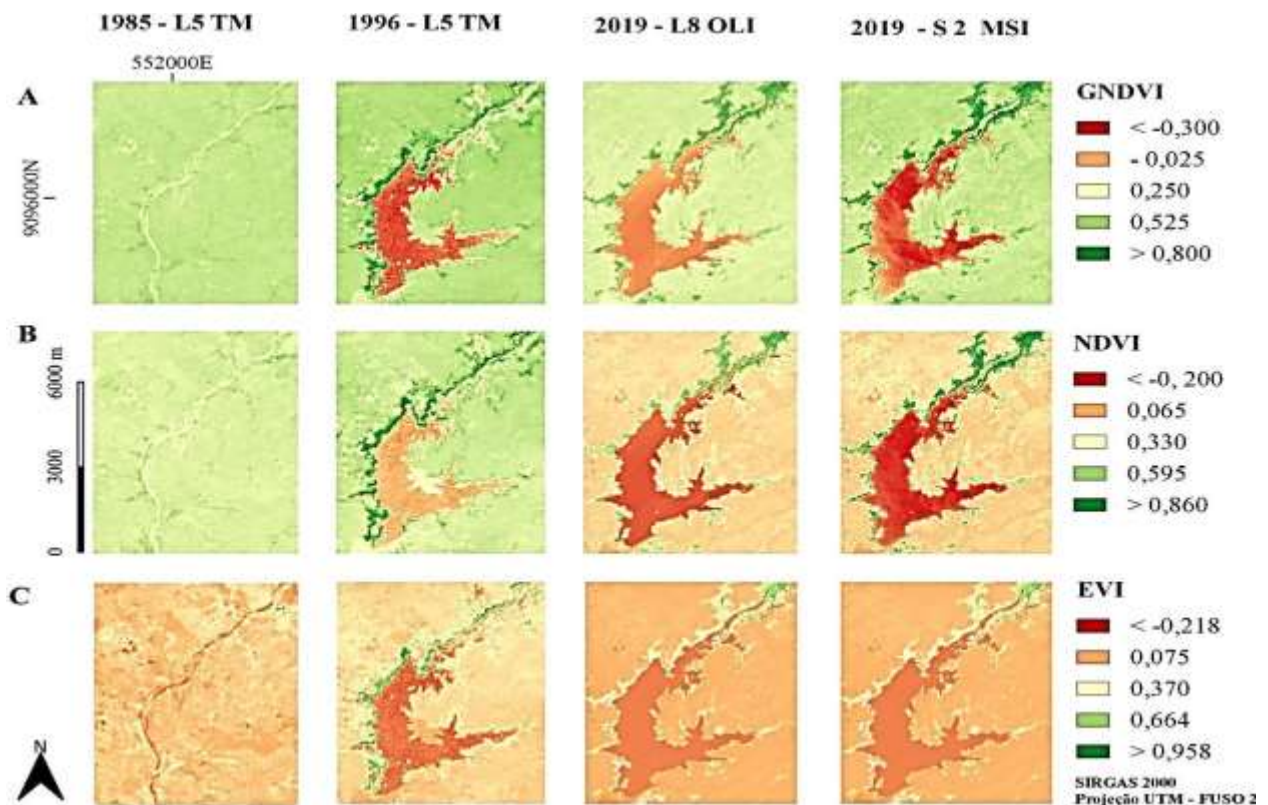
Foi então, implementado um modelo de regressão linear, correlação Pearson (α) e coeficiente de determinação (R^2), utilizados como medidas de desempenho do modelo e comparação dos índices (HELMAN et al., 2018). Compararam-se os produtos das segmentações, através da avaliação da qualidade das classificações a partir do Índice Kappa e Exatidão Global, E_C e E_O .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIABILIDADE DOS IVS

Através da metodologia aplicada foram geradas cartas imagens dos Sensores TM, OLI e MSI, representando a distribuição espacial dos índices: GNDVI (Figura 2A), NDVI (Figura 2B) e EVI (Figura 2C).

Figura 2 - Cartas imagem representando os IVs: A) GNDVI, B) NDVI e C) EVI para os Sensores OLI e MSI.



Fonte: Os Autores (2021).

Ao analisar os resultados obtidos, as zonas com comportamento negativo são bem reconhecíveis (entre laranja e vermelho) e, as de comportamento positivo em que áreas onde a vegetação possui bons atributos de vigor para todos os índices (em verde).

O GNDVI (Figura 2A) apresentou uma amplitude de valores entre -0,300 a > 0,800, em que grande parte da área analisada teve pixels com altos valores positivos de GNDVI, destes, os maiores valores concentraram-se nas áreas de mata ciliar. E as demais áreas, os pixels assumiram valores entre -0,020 e 0,250, representando possíveis áreas de vegetação rasteira. Estes resultados podem estar associados à redução do efeito de saturação nas áreas de

vegetação densa ao substituir a faixa vermelha pela faixa verde (GNDVI em vez de NDVI) (NAVARRO et al., 2017). As áreas com maior cobertura vegetal, correspondente aos anos de 1985 e 1996, produtos do sensor TM, apresentaram maiores quantidades de pixels classificados com alto valor de GNDVI.

Para o NDVI houve uma redução da distribuição de pixels com auto vigor vegetativo nas áreas de mata ciliar entre os sensores, tornando-se mais evidente no ano de 2019, com valores máximo e mínimo, quando comparado ao GNDVI, variando entre -0,200 e $> 0,860$ obtendo altos valores para as áreas de mata ciliar, e baixos valores para corpos d'água nas demais regiões do recorte analisado, em sua maioria de extensão entre 0,065 e 0,330.

Esses valores corroboram com os resultados encontrados em Cunha et al. (2019), em que o NDVI variou em média entre 0,13 a 0,73, e o EVI 0,08 a 0,57 para uma serie temporal de trinta anos, assim como, Moraes et al. (2011), em áreas de transição de Caatinga, no município de Floresta (PE), encontrando valores de NDVI entre 0,208 a 0,803. Abade et al. (2015) obtiveram valores de NDVI de $0,80 \pm 0,03$ para regiões com vegetação densa. Estudos realizado por Barbosa et al. (2019), mostraram que o índice de vegetação tem significativa correlação com as chuvas. Chaves et al. (2013), enfatizaram que valores de NDVI abaixo de 0,4 para o período seco são mais compatíveis para respostas da vegetação de Caatinga Hiperxerófila, estando de acordo como as condições empregadas a área de estudo do reservatório.

No mês de aquisição das imagens houve baixa incidência pluviométrica, conforme descreve a Tabela 2, o que pode ter corroborado com a resposta da redução de áreas com distribuição de pixels com altos valores de NDVI, porém, como regiões próximas a cursos hídricos tendem a ter elevada umidade, foi observado nestas proximidades um maior número de pixels com valores elevados de NDVI.

Dentre os índices, o EVI apresentou menores valores para a mata ciliar para o ano de 2019, com uma amplitude de -0,218 a $> 0,958$, por outro lado, os pixels com valores elevados foram encontrados em áreas de confluência do Reservatório. Nas demais áreas os pixels assumiram baixos valores, entre 0,07 e 0,37, ficando evidente o destaque entre as margens e o reservatório. Crespo-Mendes et al. (2019) afirmaram que o EVI é mais sensível às mudanças de cobertura do solo. Segundo Macintyre et al. (2020) os índices podem sofrer variações devido a diversos fatores, e essas variedades dependem da interferência nos dosséis da vegetação em período de crescimento. Para Fu-min et al. (2007), em análises da vegetação por meio de imagens orbitais, o efeito da atmosfera deve ser levado em consideração. Embora a banda azul seja mais facilmente afetada pela atmosfera, a reflectância de alvos na superfície

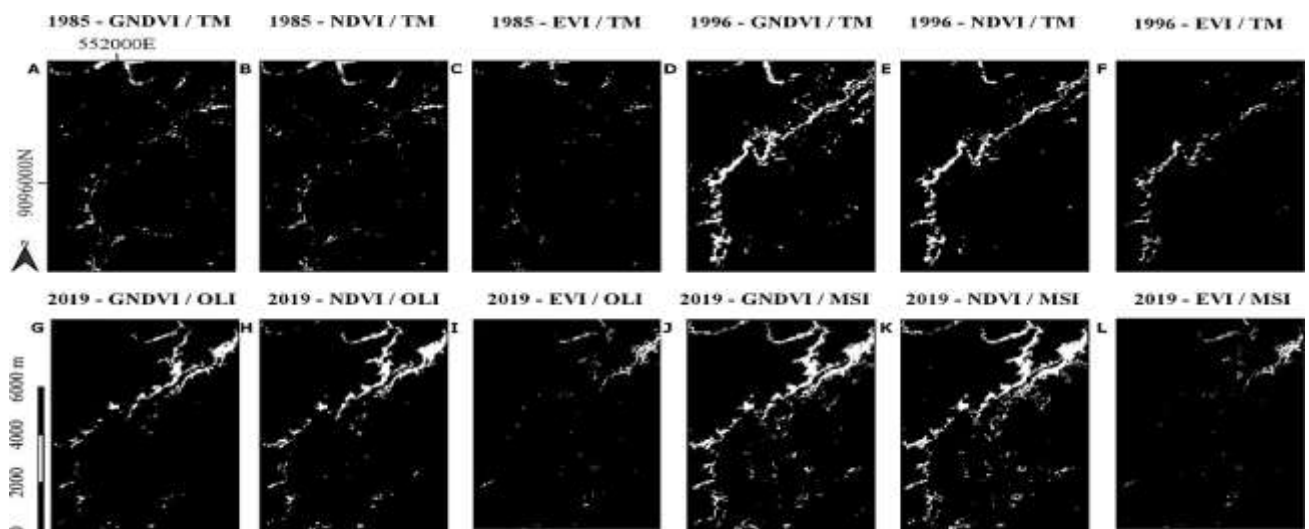
pode ser adquirida de forma precisa com o desenvolvimento de modelos específicos de correção atmosférica.

3.2 CLASSIFICAÇÃO BINÁRIA DA MATA CILIAR E RESERVATÓRIO

Ao analisar a Figura 3, percebeu-se que no ano de 1985 com a não existência da barragem no reservatório, conseqüentemente da mata ciliar, a vegetação distribuiu-se de forma espaçada, porém com uma uniformidade nos pontos aproximando-se da região em que o Rio Pajeú tem curso. Em 1996 já foi perceptível a formação da mata ciliar em visão contínua, no entorno do reservatório. E em 2019, ainda presente, expressou-se em baixa continuidade, possivelmente, uma redução espacial dela, ocasionada por efeitos de seca, baixa incidência pluviométrica ou ações antrópicas.

Em todos os anos analisados os IVs do infravermelho apresentaram maiores quantidades de pixels classificados para áreas de mata ciliar. Em 2019, o sensor MSI apresentou uma maior quantidade de pixels classificados pelo GNDVI e NDVI que o OLI. O EVI, apesar de em todos os anos não ter apresentado uma classificação relevante, havendo pouca representação da mata ciliar, em 1996 (Figura 3J), detectou uma maior porção de pixels classificados, o que possibilitou a formação de áreas da mata ciliar, diferindo do padrão seguido pelo índice para os demais anos. E em 2019, os resultados para o Landsat 8 e Sentinel 2, se mostraram com proximidade (Figura 3I e L).

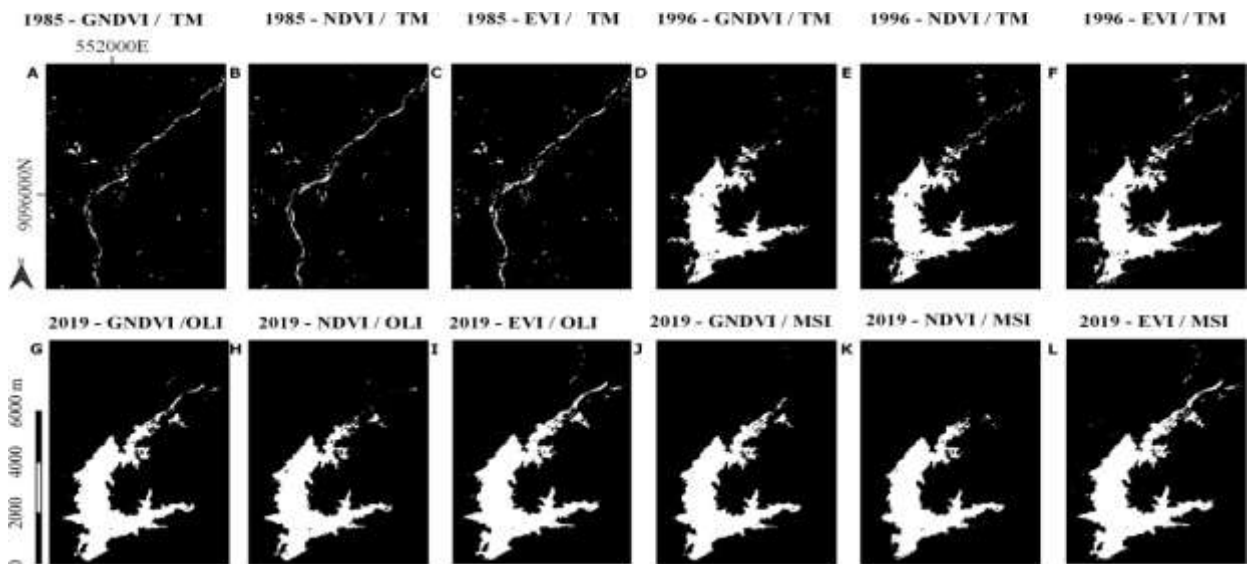
Figura 3 - Extração das áreas de mata ciliar para os anos analisados.



Fonte: Os Autores (2021).

Para a detecção da área do reservatório os IVs apresentaram resultados considerados satisfatórios, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Extração das áreas do reservatório para os anos analisados.



Fonte: Os Autores (2021).

No ano de 1985 em todos os IVs foi possível identificar a presença do Rio Pajeú, porém foram classificados pixels além das áreas ocupadas pelo rio, sendo o NDVI (Figura 4A) e EVI (Figura 4B) os índices que apresentaram maiores quantidades, provavelmente, áreas de solo exposto ou com presença muito baixa de vegetação. Em 1996 o EVI (Figura 4F) e o NDVI (Figura 4E), tiveram a maior quantidade de pixels com a classe água, o que resultou no aumento de áreas do reservatório. Em 2019 o EVI (Figura 4I e L) apresentou maior área, e o NDVI uma redução. Esses resultados corroboram com a Tabela 3, que contém a porcentagem de área por índice ao longo dos anos analisados para as classes: mata ciliar e reservatório. Em que os IVs do infravermelho apresentaram maiores áreas para a classe mata ciliar, e o EVI para a classe reservatório.

Tabela 3 – Áreas obtidas através do processo de binarização.

Ano	Satélite	Índice	Mata Ciliar		Reservatório	
			Area (%)	Area (km ²)	Area (%)	Area (km ²)
1985	Landsat 5	GNDVI	1,50	0,83	1,34	0,73
		NDVI	1,57	0,87	1,53	0,84
		EVI	0,65	0,36	1,60	0,87
1996	Landsat 5	GNDVI	7,80	4,31	11,41	6,26
		NDVI	3,44	3,40	11,56	6,34
		EVI	1,31	1,32	12,52	7,56
2019	Landsat 8	GNDVI	4,34	2,38	12,38	6,80
		NDVI	3,06	1,67	13,42	7,37
		EVI	0,93	0,52	14,74	8,09
	Sentinel 2	GNDVI	6,18	3,40	13,49	7,40
		NDVI	6,56	3,60	12,10	6,64
		EVI	0,90	0,50	15,00	8,23

Fonte: Os Autores (2021).

O GNDVI foi superior aos IVs para a mata ciliar sendo superado pelo NDVI apenas nos anos de 1985 e 2019 para o satélite Sentinel 2. O NDVI por sua vez manteve-se com valores medianos para a mata ciliar, e EVI com valores baixos. Para a classe água o NDVI supera o GNDVI para os produtos derivados da série Landsat e, o EVI em todos os anos e satélites, apresentou maiores áreas para esta classe. Além disso, apesar dos anos de 1985 e 1996 apresentarem uma maior quantidade de pixels que não se enquadravam nas classes e foram classificados, devido aos limiares de cada índice, é perceptível uma redução visual de áreas de mata ciliar entre os anos de 1996 e 2019 em todos os índices.

Em síntese, pode se extrair que antes da construção do reservatório apesar da presença do Rio Pajeú na área existia uma maior cobertura vegetal que estava distribuída por além das proximidades do rio, e que ainda continua presente com o cenário pós-operação do reservatório. Os resultados para o ano de 2019 indicaram que apesar da presença de Serrinha II, não houve uma estabilidade de densidade florestal para além das áreas do entorno da barragem e sim uma redução indicando um possível evento de seca, mudanças climáticas ou ação antrópica ao longo dos anos. Além disso, fatores externos como operações inerentes a dinâmica do reservatório, à topografia do ambiente, podem proporcionar uma redução ou aumento da cobertura vegetal, e consequentemente influenciar nos dados.

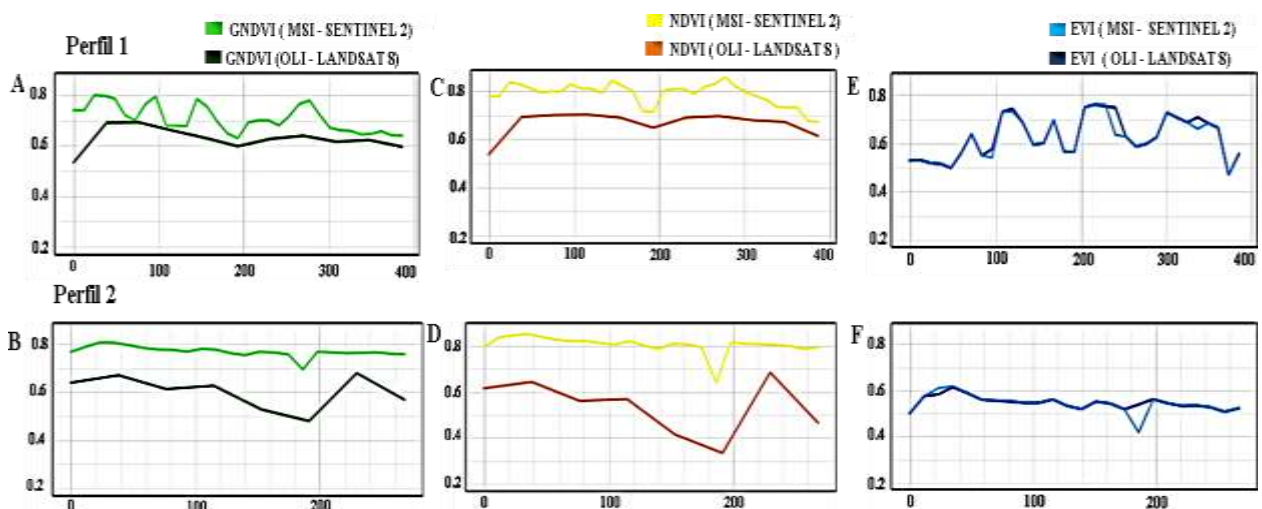
3.3 VALIDAÇÃO DOS IVs ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS SATÉLITES LANDSAT 8 E SENTINEL 2

Em particular, o valor médio dos IVs reflete uma produtividade e biomassa médias, (CANDIAGO et al., 2015). O satélite MSI - Sentinel 2, inclui seis bandas de monitoramento terrestre comparável ao OLI - Landsat 8 (DRUSCH et al., 2012). Segundo Meyer et al. (2019), devido a essas características e diferenças entre os sensores, é interessante entender qual sensor tem melhor desempenho na previsão da cobertura vegetal e da biomassa. Portanto, executou-se uma avaliação dos resultados gerados com IVs pelo satélite OLI - Landsat 8 com o satélite MSI - Sentinel 2 com imagens do mesmo ano, através dos perfis espectrais, correlação estatística entre os IVs e qualidade no processo de classificação das imagens.

3.3.1 Perfis Espectrais

A Figura 5 apresenta o comportamento dos perfis espectrais, com localização destacada na Figura 1C, para os IVs comparando os sensores OLI e MSI. Tais perfis foram estabelecidos em pontos de concentração visual de vegetação densa nas áreas de mata ciliar. Os IVs GNDVI (Figura 5A e B) e NDVI (5C e D) em todos os perfis transversais apresentaram uma boa resposta da vegetação, para cobertura da mata ciliar, com valores próximos que variam de 0,6 a 0,8, tendo o GNDVI assumido maiores valores que o NDVI.

Figura 5 - Perfis Espectrais dos IVs para os Sensores MSI e OLI.



Fonte: Os Autores (2021).

Apesar de o NDVI ser sensível às variações nas atividades fotossintéticas da vegetação, as quais estão diretamente relacionadas com a intensidade de absorção da radiação incidente na faixa espectral do vermelho, o GDVI por sua vez, utiliza a banda do verde e do infravermelho, isto é, duas bandas de baixa absorção na vegetação (MELO, 2019), justificando assim, os altos valores nos perfis em relação ao NDVI.

Os índices NDVI e GNDVI ainda apresentaram uma tendência a linearidade próxima para o perfil 1 (Figura 5A e 5C) com exceção do perfil 2 (Figura 5B e 5D). Essa tendência de estabilização para os valores dos índices também foi observada em outros estudos de comportamento vegetal (RAMBO et al., 2010; PONZONI e SHIMABUKURO, 2007), em que os autores descobriram que o aumento da biomassa leva à saturação nos valores do índice, em especial o NDVI, diminuindo a resposta dos índices com o avanço do desenvolvimento da vegetação.

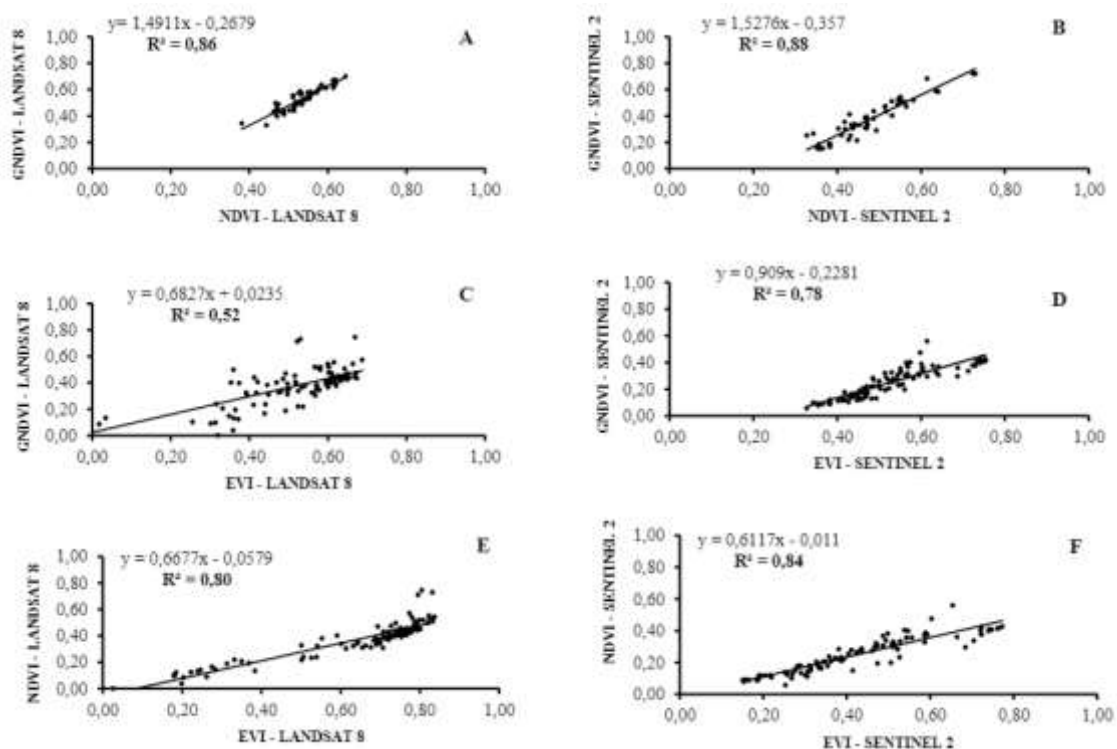
O EVI por sua vez apresentou os menores valores para ambos os sensores quanto aos perfis e uma linearidade de valores e expressiva proximidade entre os sensores, (Figura 5F), com exceção ao perfil 1, mostrando apenas uma variação significativa (Figura 5E), em que assumiu altos valores, isto ocorreu, pois, a área analisada trata-se de uma região de confluência, o que costuma ser caracterizado pela presença de áreas de água e vegetação.

Ficou evidenciado que se tem um trecho com possível transição de ocupação, nas áreas de confluência do reservatório de Serrinha II para o Rio Pajeú à jusante. Neste perfil, os valores dos índices mostraram uma variabilidade, o EVI para o sensor MSI, assumiu valores altos, em alguns pontos superando o NDVI, que não manteve linearidade para a distribuição dos pixels ao longo do trecho em relação aos demais perfis e do GNDVI, que também apresentaram variações. O sensor OLI por sua vez tendeu a uma maior proximidade para os IVs baseados no Infravermelho. Isto pode ter ocorrido pela existência de mistura espectral entre os pixels e a área de confluência traçada no perfil. Em regiões semiáridas, um dos grandes problemas é a influência secundária do solo, bem como a mistura dos espectros solo-vegetação (CHAVES et al., 2013). Também é importante ressaltar que a resolução espacial é um elemento balizador a evidências de mistura espectral para a identificação de alvos. Independentemente das resoluções espaciais, os pixels de uma imagem de satélite tendem a apresentar uma mistura espectral, resultado de uma combinação da reflectância dos alvos naturais ou artificiais contidos neste (dois ou mais alvos) (FERREIRA et al., 2008). Resultados da influência de mistura espectral entre áreas de confluência em bacias do semiárido podem ser vistos com mais detalhes em Luiz, Martins e Couto (2019) e Francisco et al. (2012).

3.3.2 Validação da correlação estatística entre as imagens

Com a finalidade de comparar as imagens OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2, a serem aplicadas no mapeamento das áreas de mata ciliar, foi gerada uma análise de correlação entre as respectivas imagens dos IVs: GNDVI e NDVI (Figura 6A e B), GNDVI e EVI (Figura 6C e D) e NDVI e EVI (Figura 6E e F), permitindo a comparação entre os produtos dos dois sensores através do coeficiente de determinação (R^2) e correlação de Pearson (α). Estas estatísticas foram utilizadas para avaliar o grau de correspondência linear entre os IVs (FREIRES et al., 2019). O GNDVI e NDVI apresentaram boa correlação, com $R^2 = 0,85$ para o sensor OLI e 0,88 para o MSI, e $\alpha = 0,93$ para o OLI e 0,94 para o MSI. Ou seja, estatisticamente este resultado indica um comportamento de proporcionalidade direta entre os índices de vegetação nas feições matas ciliares.

Figura 6 - Correlação entre os IVs.



Fonte: Os Autores (2021).

Os resultados indicaram que os índices GNDVI e EVI apresentaram baixo valor de R^2 (Figura 6 C e D) quando comparado aos demais, em especial para o sensor OLI, com valor de $R^2 = 0,52$ e $\alpha = 0,78$ e $R^2 = 0,78$ e $\alpha = 0,85$ para o sensor MSI, mostrando assim, baixa relação entre os IVs e os demais, em especial para o OLI. Esses resultados convergem aos

encontrados por Tong e He (2017), Loranty et al. (2018), Fu-min et al. (2007) e Oliveira et al. (2017), que atribuíram as respostas às baixas concentrações de clorofila que são capazes de saturar a absorção na região azul.

Os resultados obtidos por Loranty et al. (2018) indicaram que o GNDVI e EVI não aumentaram consideravelmente com cobertura vegetal densa. Os únicos relacionamentos significativos que os autores encontraram houve correlações negativas entre a cobertura do dossel observada e os IVs no final da estação de crescimento da vegetação, e quando os IVs foram calculados em média durante a estação de crescimento usando a cobertura do dossel modelada em toda a paisagem produziu os mesmos resultados. Tong e He (2017) afirmaram a partir de seus resultados que, índices propostos para estimativa do estresse da vegetação usando comprimentos de onda no verde e /ou regiões azuis, demonstraram correlações baixas em relação aos demais IVs.

Este resultado se expande ao correlacionar os índices NDVI e EVI (Figura 6 E e F), com valor de $R^2 = 0,80$ e $\alpha = 0,89$ para o sensor OLI e $R^2 = 0,84$ e $\alpha = 0,93$ para o sensor MSI. Chaves et al. (2013), obtiveram coeficientes de correlações consideráveis para o EVI e NDVI. Tais resultados podem ter relação ao fato de o EVI ter sido projetado para ter maior faixa dinâmica, assim resolver o déficit conhecido de NDVI sendo saturado em altos níveis de biomassa, por exemplo, mais de 0,8 (WARDLOW e EGBERT, 2010).

3.3.3 Análise da precisão do mapeamento das áreas de mata ciliar e reservatório

Para determinação das classes, obtidas partir da binarização para os alvos mata ciliar e reservatório (água), optou-se por uma imagem orbital de melhor resolução espacial do que as imagens OLI - Landsat 8, aplicada ao mapeamento. Nesse intuito foi utilizada a imagem MSI - Sentinel 2 como referência do mapeamento, que apresentou resultados satisfatórios em análises similares, desenvolvidas por Mondal et al. (2020), Liu et al. (2020), Gibson et al. (2020) e Freires et al. (2019). Como resultado foi gerado a matriz de confusão ou de erros, onde se pode atestar a qualidade dos mapeamentos realizados (GIBSON et al. 2020; FREIRES et al., 2019), mostrando a distribuição de porcentagem de pixels classificados correta e erroneamente, a partir dos coeficientes estatísticos: Índice Kappa, que trata-se de um método estatístico que permite analisar de forma comparativa os resultados dos mapas obtidos por meio do sensoriamento remoto, dentro de certo limite (LANDIS e KOCH, 1977), omissão que representa o número de amostras que Exatidão Global, que representa a estimativa de acurácia (CONGALTON e GREEN, 2008). Os erros de omissão (E_o) referem-se à

probabilidade de que um valor numa determinada classe tenha sido classificado corretamente e os erros de comissão (E_C) a probabilidade de que um valor previsto para estar numa determinada classe é realmente da classe (JI et al., 2018).

A Tabela 4 apresenta os valores extraídos da matriz de confusão da classificação gerada a partir dos IVs investigados e do SAVI, Exatidão Global, Índice Kappa, Erros de Omissão (E_O) e Erros de Comissão (E_C).

Tabela 4 – Acurácia das áreas classificadas.

IVs	Classe	Área (km ²)	E_O (%)	E_C (%)	Acurácia Global (%)	Índice kappa (k)
GNDVI	MATA CILIAR	1,67	55,55	8,75	96,25	0,58
	ÁGUA	7,37	0,92	1,02	98,33	0,92
NDVI	MATA CILIAR	2,38	45,65	16,51	96,23	0,64
	ÁGUA	6,80	1,20	0,90	98,15	0,91
EVI	MATA CILIAR	0,51	10,00	11,74	99,30	0,76
	ÁGUA	8,09	0,14	0,46	99,48	0,97
SAVI	MATA CILIAR	0,03	76,44	10,97	98,91	0,40
	ÁGUA	7,38	3,25	9,61	98,77	0,93
($L_S = 0,25$)	MATA CILIAR	1,29	45,95	26,46	98,85	0,64
(L _S = 0,50)	ÁGUA	7,18	2,26	2,08	99,45	0,96
	MATA CILIAR	2,43	36,17	16,11	97,88	0,74
SAVI	ÁGUA	7,44	0,41	0,42	99,25	0,95
($L_S = 1,00$)						

Fonte: Os Autores (2021).

Os resultados evidenciados na Tabela 4 indicaram que os IVs apresentaram resultados satisfatórios para os parâmetros analisados, variando de bom a excelentes para o Índice kappa. Esta conclusão baseia-se nas classes de desempenho do Índice kappa descritas por Landis e Koch (1977), em que valores menores ou iguais à zero têm-se um desempenho péssimo, (0 – 0,2) ruim, (0,21 - 0,4) razoável, (0,41 - 0,6) bom, (0,61 - 0,8) muito bom e (0,81 - 1,0) excelente. A acurácia global superou 95% para todos os IVs para as classes, o EVI aproximou-se da totalidade de porcentagem. Reflexo dos resultados obtidos para o índice atmosférico através das cartas imagem (Figura 2C), em que os resultados dos satélites OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2 apresentaram forte proximidade.

O Índice Kappa foi alto para maior parte das classificações, isto se deve ao fato de que os resultados dos classificadores condizem com a realidade. Para a mata ciliar o Índice Kappa

variou o desempenho de bom a muito bom, sendo o menor valor para o GNDVI (bom) e maior para EVI (muito bom). A classe reservatório (água) para todos os índices apresentou desempenho excelente, sendo o EVI o maior valor.

Estes resultados corroboram com os resultados obtidos com a binarização (Figura 4), onde para o ano de 2019 em todos os IVs foram apresentadas baixa presença de pixels que apesar de não representarem o alvo água, foram classificados devido ao intervalo estabelecido pelos limiares, o que influenciou também nos resultados das áreas, apresentando alta proximidade entre os produtos dos respectivos satélites, tais resultados corroboram com os encontrados em Gibson et al. (2020) e Freires et al. (2019).

Ao analisar os dados de omissão e comissão, percebe-se que os IVs apresentaram maiores valores de omissão para a classe mata ciliar, possivelmente causados pela ausência de homogeneidade espacial da mata ciliar, e pela diferença de resolução espacial entre as imagens OLI - Landsat 8 e a imagem de referência MSI- Sentinel 2, neste sentido o GNDVI apresentou um maior valor de omissão para a classe (55,55 %) seguido do NDVI (45,65 %). Em relação ao EC o NDVI teve maior valor de comissão (16,51 %), o que indica ter havido pixels subestimados entre as áreas de floresta mais homogêneas e em fase de crescimento, típicas do período seco na Caatinga. O EVI por sua vez apresentou os menores valores de omissão e comissão (10 e 11,74%) para a classe. Para a classe água, em ambos os erros (E_C e E_O), os IVs variaram entre 0 e 1,5 %, apontando que nenhum ou poucos pixels da classe mata ciliar, tenham sido inseridos nessa feição, ou ainda que quase todos os pixels da classe água foram rotulados corretamente.

Para a classe mata ciliar, o índice Kappa foi diretamente proporcional a variação do parâmetro de ajuste ao solo, variando de razoável a muito bom (Tabela 4). Com relação ao E_C o maior valor foi para $L_s = 0,50$ (26,46%) e o E_O $L_s = 0,25$ (76,44%). Esses valores evidenciaram as afirmações de Huete (1988) para o L_s , ou seja, à medida que foi empregado um parâmetro $L_s = 1,00$ próximo ao cenário da vegetação da Caatinga no período seco, houve uma maior heterogeneidade entre as classes, e um aumento da acurácia do mapeamento. Ao ser empregado $L_s = 0,50$ houve decréscimo na acurácia do mapeamento e do valor das áreas extraídas, que se expande em $L_s = 0,25$. Para a classe água ambos os parâmetros apresentaram resultados próximos, com kappa entre 0,93 e 0,96 (excelente) e baixos valores de omissão e comissão.

Segundo o mapeamento realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) no reservatório entre os anos de 2012 a 2017, através de imagens do satélite OLI - Landsat 8, houve ação de efeitos da seca no reservatório, em que o reservatório tem uma redução de área

do espelho d'água de 25 km² em 2012, a valores inferiores a 5 km² (INPE, 2020), uma elevada mudança, onde esse efeito, teve ação direta na mata ciliar proporcionando como consequência sua redução.

4 CONCLUSÃO

Neste estudo, os resultados forneceram a compreensão de padrões espaço-temporais de uso do solo e do comportamento das áreas de mata ciliar do bioma Caatinga, num intervalo de 34 anos (1985 a 2019). A partir da análise da sensibilidade espectral dos IVs: GNDVI, NDVI e EVI, através de imagens dos satélites TM - Landsat 5, OLI - Landsat 8 e MSI - Sentinel 2. Em que foram extraídas as seguintes conclusões:

Em termos espaciais, houve a identificação de possíveis eventos contínuos de seca, o que proporcionou a redução da área superficial do reservatório e da mata ciliar ao longo dos anos.

Os índices de vegetação do infra-vermelho (GNDVI e NDVI) apresentaram maior sensibilidade para classificar a mata ciliar. O EVI e o SAVI (LS = 1,0) apresentaram maior acurácia de mapeamento, evidenciando os resultados presentes na literatura, em que são indicados para biomas semiáridos. Entretanto, foi identificada a potencialidade dos demais IVs em realizar mapeamentos destas áreas com eficiência, possibilitando efetuar monitoramentos de ações características da vegetação da Caatinga. Porém, as respostas obtidas através dos IVs devem ser interpretadas com cautela, considerando os diversos fatores influenciadores nos alvos, como: ações atmosféricas, climáticas e topografia do terreno.

Contudo, destaca-se a utilidade dos dados da série Landsat e do satélite Sentinel 2 possibilitando análises espaciais e espectrais no âmbito das características de cada satélite, para entender o comportamento dos IVs na dinâmica da Caatinga através do mapeamento da mata ciliar no entorno de reservatórios.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Boletim de Monitoramento Pluvio**. Recife, 2020. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 5 mai. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Portal HidroWeb – Séries Históricas**. Recife, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb> . Acesso em: 10 mai. 2020.
- ABADE, N.A.; JÚNIOR, O.A.C.; GUIMARÃES, R.F.; DE OLIVEIRA, S.N. Comparative Analysis of MODIS Time-Series Classification Using Support Vector Machines and Methods Based upon Distance and Similarity Measures in the Brazilian Cerrado-Caatinga Boundary. **Remote Sensing**, [S.L.], v.7, n.1, p.12160-12191, Sep 2015. DOI. 10.3390/rs70912160
- ALI, A.; MARTELLI, R.; LUPIA, F.; BARBANTI, L. Assessing Multiple Years' Spatial Variability of Crop Yields Using Satellite Vegetation Indices. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 20, p. 2384-2406, 15 out. 2019. DOI. 10.3390/rs11202384.
- AREKHI, M.; GOKSEL, C.; SANLI, F. B.; SENEL, G. Comparative Evaluation of the Spectral and Spatial Consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI Data for Igneada Longos Forest. **ISPRS International Journal Of Geo-information**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 56-73, 28 Jan 2019. DOI. 10.3390/ijgi8020056.
- BATISTA, J. F.; FRANCEZ, B.M.L.; ELISIANE ALBA, E.; SCHUH, S.M.; FAVARIN, S.A.J.; SILVA, O.J.; HOFIÇO, S.N.; PEREIRA, S. R.; SEBEM, E. Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke Barneby) em Plantios com Diferentes Idades. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Rio de Janeiro, Vol. 41, n.3, p. 82-95, Sep 2018. DOI. 10.11137/2018_3_82_95.
- BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J.G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.L.], v. 148, p. 235-252, Feb 2019. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014.
- BECK, P.S.A., ATZBERGER, C., HOGDA, K.A., JOHANSEN, B., SKIDMORE, A.K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI. **Remote Sensing Environ**, [S.L.], V. 100, n.3, p.321–334, Feb 2006. DOI. 10.1016/j.rse.2005.10.021.
- BISPO P. C.; VALERIANO, M. M.; DUPLICH, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.14, n.5, p.523-530, May 2010. DOI. 10.1590/S1415-43662010000500010
- BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. **Institui o Novo Código Florestal Brasileiro**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 227, 18 Oct 2012. Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12727.htm. Acesso em: 21 de março de 2021.

CANDIAGO, S.; REMONDINO, F.; DE GIGLIO, MICHAELA; DUBBINI, M.; GATTELLI, M. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n.4, p. 4026-4047, Apr 2015. DOI. 10.3390/rs70404026

CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FFOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.2, p.204-213, Jun 2008. ISSN. 0100-316X.

CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA; BRANDAO, Z.N.; CHAVES, L. H. G. **Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB**. Embrapa Algodão. Relatório Técnico. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes>. Acesso em: 06 março 2020.

CHAVEZ JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v.24, n.3, p. 459-479, Apr 1988. DOI. 10.1016/0034-4257(88)90019-3.

CLAVERIE, M., MASEK, J.G., JU, J., DUNGAN, J.L., **Harmonized Landsat-8 Sentinel-2 (HLS) Product User's Guide. National Aeronautics and Space Administration (NASA)**. Washington. Disponível em: https://hls.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2017/08/HLS.v1.3.UserGuide_v2.pdf. Acesso em: 11 Jul 2020.

CRESPO-MENDES, N.; LAURENT, A.; HENRIKBRUUNB, H.; HAUSCHILDA, Z. M. Relationships between plant species richness and soil pH at the level of biome and ecoregion in Brazil. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 98, n.0, p. 266–275, Mar 2019. DOI. 10.1016/j.ecolind.2018.11.004.

COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 104-117, 2011. DOI. 10.4136/1980-993X.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: principles and practices**. 2 ed. New York, CRC Press. 2008.

DRUSCH, M.; BELLO, U. del; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. : ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 120, p. 25-36, May 2012. DOI. 10.1016/j.rse.2011.11.026.

EUROPEAN SPATIAL AGENCY (ESA). **Copernicus: Sentinel-2 — The Optical Imaging Mission for Land Services. 2020**. Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2#sensors>. Acesso em: 22 mai. 2020.

FERREIRA, G. L.; FERREIRA, C. N.; FERREIRA, E. M. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Goiás, v. 30, n.4 p. 379-390, Nov 2008. DOI. 10.4025/actascibiolsci.v30i4.5868.

FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

FU-MIN, W.; JING-FENG, H.; YAN-LIN, T.; XIU-ZHEN, W. New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. **Rice Science**, [S.L.], v.14, n.3, Sep 2007. DOI. 10.1016/S1672- 6308(07)60027-4.

FU, P., WENG, Q. Consistent land surface temperature data generation from irregularly spaced Landsat imagery. **Remote Sensing Environment**, [S.L.], v.184, p.175–187. Oct 2016. DOI. 10.1016/j.rse.2016.06.019.

FREIRES, E. V.; SILVA, C. Â.; CUNHA, D. S. R.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M.. Comparison of OLI/ Landsat 8 and MSI/Sentinel-2 Images in Cover and Land Use Mapping in the Uruburetama Massif, Ceará. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S.L.], v. 42, n. 4, p. 427-442, 12 Dec 2019. DOI. 10.11137/2019_4_427_442.

GHOLIZADEH, A.; ŽIŽALAA, D.; SABERIOON, M.; BORŏVKA, L. Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 218, p. 89-103, Dec 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.09.015.

GIBSON, R.; DANAHER, T.; HEHIR, W.; COLLINS, L. A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 240, p. 111702-111714, Apr 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2020.111702.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v.58, n.3, p.289-298, Dec 1996. DOI. 10.1016/S0034-4257(96)00072-7.

GUIMARÃES, A. P. **Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.
HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; PATERRY, E.; ZARCO-TEJADA, P.J.; STRACHAN, I.B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 90, n. 3, p. 337–352, Apr 2004. DOI. 10.1016/j.rse.2003.12.013.

HELMAN, D.; BAHAT, I.; NETZER, Y.; BEN-GAL, A.; ALCHANATIS, V.; PEETERS, A.; COHEN, Y. Using Time Series of High-Resolution Planet Satellite Images to Monitor Grapevine Stem Water Potential in Commercial Vineyards. **Remote Sensing**, [S.L.], v.10, n.10, p.1010-1615, Oct 2018. DOI. 10.3390/rs10101615.

HÉNAULT-ETHIER, L.; DUSSAULT, M.; CABRERA, P.; LEFEBVRE, B.; TAILLEFER, S.; DESCHAMPS, M.; VANDENBERG, G. **Les insectes au service de l’humain pour la gestion des résidus organiques**. Paris. **Vecteur Environnement**. Relatório técnico 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/>_. Acesso em: 26 março 2020.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environment**, [S.L.], v.25, n.3, p.295- 309, Aug 1988. DOI. 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing Environment**, [S.L.], v. 83, n.1-2, p.195–213, Nov 2002. DOI. 10.1016/S0034-4257(02)00096-2.

HUETE, A. R.; KAMEL, D.; SHIMABUKURO, Y. E.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 33, N. 6405, p.1-4, Mar 2006. DOI. 10.1029/2005GL025583.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Recursos Hídricos e Reservatórios – Mapa do Reservatório de Serrinha II**. São José dos Campos, 2020. Disponível em: http://geopro.crn.inpe.br/RH_reser_PE_serrinhaII.htm . Acesso em: 10 May. 2020.

JARCHOW, J.C.; DIDAN, K.; BARRETO-MUÑOZ, A.; NAGLER, L. P.; GLENN, P.E.; Application and Comparison of the MODIS-Derived Enhanced Vegetation Index to VIIRS, Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI Platforms: A Case Study in the Arid Colorado River Delta, Mexico. **Sensors**, [S.L.], v.18, n.5, p.1546, May 2018. DOI. 10.3390/s18051546.

JENSEN, J.R. Sensoriamento Remoto do Ambiente – **Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

Jl, M.; LIU, L.; BUCHROITHNER, M. Identifying Collapsed Buildings Using Post-Earthquake Satellite Imagery and Convolutional Neural Networks: A Case Study of the 2010 Haiti Earthquake. **Remote Sensing**, [S.L.], v.10, 11, p.1-20, Oct 2018. DOI. 10.3390/rs10111689.

KIMM, H.; GUAN, K.; JIANG, C.; PENG, B.; GENTRY, L. F.; WILKIN, SCOTT C.; WANG, S.; CAI, Y.; BERNACCHI, C. J.; PENG, JIAN. Deriving high-spatiotemporal-resolution leaf area index for agroecosystems in the U.S. Corn Belt using Planet Labs CubeSat and STAIR fusion data. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 239, p. 111615-111627, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111615.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, [S.L.], v. 33, n. 1, p. 159-174, Mar 1977. DOI. 10.2307/2529310.

LIU, W.; HUANG, J.; WEI, C.; WANG, X.; MANSARAY, L. R.; HAN, J.; ZHANG, D.; CHEN, Y. Mapping water-logging damage on winter wheat at parcel level using high spatial resolution satellite data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.L.], v. 142, p. 243-256, Aug 2018. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2018.05.024.

LIU, L.; XIAO, X.; QIN, Y.; WANG, J.; XU, X.; HU, Y.; QIAO, Z. Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 239, p. 111624-111636, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111624.

LUIZ, P. G.; MARTINS, R. P.; COUTO JUNIOR, F. A. variação interanual da cobertura da terra de uma ottobacia no médio curso do Rio Araguaia. In: Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 19, 2019, Santos. **Anais...** São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019, p. 1426-1429.

LORANTY, M. M.; DAVYDOV, P.S.; HEATHER KROPP, H.; ALEXANDER, D. H.; MACK, C. M.; NATALI, M.S.; NIKITA, Z. S. Vegetation Indices Do Not Capture Forest Cover Variation in Upland Siberian Larch Forests. **Remote Sensing**, [S.L.], V.10, n.0, p.1686, Oct 2018. DOI. 10.3390/rs10111686.

MACINTYRE, P.; NIEKERK, V. A.; MUCINA, L; Efficacy of multi-season Sentinel-2 imagery for compositional vegetation classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Gangtok, V. 85, n.1, p. 0303-2434, Marc 2020. DOI. 10.1016/j.jag.2019.101980.

MARIANO, D. A.; DOS SANTOS, C. A. C.; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A.V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D.. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 213, p. 129-143, Aug 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.04.048.

MELAAS, E.K., FRIEDL, M.A., ZHU, Z. Detecting interannual variation in deciduous broadleaf forest, phenology using Landsat TM/ETM+ data. **Remote Sensing Environment**, [S.L.], v.132, p.176–185. May 2013. DOI. 10.1016/j.rse.2013.01.011.

MELO, B. D. M.; MIRANDA, S. R.P.; GONÇALVES, S.T.; DE ASSIS, L. A.; CHRISTIAN DIAS CABACINHA, D.C.; MARCATTI, E. G.; CASTRO, O.V.R.; ARAUJO JUNIOR, A.C. Análise temporal do NDVI como ferramenta para o planejamento do ecoturismo na APA do Rio Pandeiros, norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências agrárias**, Minas Gerais, v.11, n.0, p.01-08, Sep 2019. ISSN. 2447-6218.

MERCIER, A.; BETBEDER, J.; BAUDRY, J.; LE ROUX, V.; SPICHER, F.; LACOUX, J.; ROGER, D.; HUBERT-MOY, L. Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.L.], v. 163, p. 231- 256, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.009.

MERRICK, T.; PAU, S.; JORGE, P. S. L. M.; SILVA, F.S.T.; BENNARTZ, R. Spatiotemporal Patterns and Phenology of Tropical Vegetation Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence across Brazilian Biomes Using Satellite Observations. **Remote Sensing**, [S.L.], v.11, n.1746, p.1-26, Jul 2019. DOI. 10.3390/rs11151746.

MEYER, Lorenz Hans; HEURICH, Marco; BEUDERT, Burkhard; PREMIER, Joseph; PFLUGMACHER, Dirk. Comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 Data for Estimation of Leaf Area Index in Temperate Forests. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 10, p. 1160-1176, May 2019. DOI. 10.3390/rs11101160.

MONDAL, P.; MCDERMID, S. S.; QADIR, A. A reporting framework for Sustainable Development Goal 15: multi-scale monitoring of forest degradation using modis, landsat and sentinel data.: Multi-scale monitoring of forest degradation using MODIS, Landsat and

Sentinel data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 237, p. 111592-111606, Feb 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111592.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta, PE – Brasil, utilizando o NDVI. In: Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019, p. 2128-2134.

MYNENI, R.B; HOFFMAN, S; KNYAZIKHIN, Y; PRIVETTE, J.L; GLASSY, J; TIAN, Y; WANG, Y; SONG, X; ZHANG, Y; SMITH, G.R. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 83, n. 1-2, p. 214-231, Nov 2002. DOI. 10.1016/s0034-4257(02)00074-3.

NAVARRO, G.; ISABEL CABALLERO, I.; SILVA, G.; PEDRO-CECILIO PARRA, P.; VÁZQUEZD, A.; CALDEIRA, R. Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSImagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [S.L.], v. 58, p. 97–106, Jun 2017. DOI. 10.1016/j.jag.2017.02.003.

OLIVEIRA, R. F. L.; OLIVEIRA, R. L. M.; GOMES, S. F.; SANTANA, C. R. Estimating foliar nitrogen in Eucalyptus using vegetation indexes. **Scientia Agricola**, Piaracicaba, v.74, n.2, p.142-147, Apr 2017. DOI. 10.1590/1678-992x-2015-0477.

PASTOR-GUZMAN, J.; DASH, J.; ATKINSON, P. M. Remote sensing of mangrove forest phenology and its environmental drivers. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 205, p. 71-84, Feb 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2017.11.009.

PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, A. H.; SPATAFORA, R. L. Assessment of SM2RAIN-Derived and State-of-the-Art Satellite Rainfall Products over Northeastern Brazil. **Remote Sensing**, [S.L.], v.10, n.1093, p. 1– 29, Jul 2018. DOI. 10.3390/rs10071093

PEREIRA, M. P. S.; JUSTINO, F.; MALHADO, A. C. M.; BARBOSA, H.; MARENGO, J. The influence of oceanic basins on drought and ecosystem dynamics in Northeast Brazil. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 9, n. 12, p. 124013-124020, Dec 2014. DOI. 10.1088/1748-9326/9/12/124013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: INPE, 2007. 127 p.

QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE, A.R.; KERR, Y.H.; SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 119-126, May 1994. DOI. 10.1016/0034-4257(94)90134-1.

RAMBO, L.; MA, B. L.; XIONH, Y.; SILVIA, P. R. F. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N- status indicators for field nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v. 173, n.3, p. 434-443, Jun 2010. DOI. 10.1002/jpln.200900022.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H., JR.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium 1 (A), Texas A&M Univ, College Station. **Anais...** TX, USA, 1974; pp. 309–317.

SKAKUN, S., KUSSL, N., SHELESTOV, A., KUSSL, O., Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: a case study in Namibia. **Risk Anal.**, [S.L.], v. 3, n.8, p.1521–1537. Aug 2014. DOI. 10.1111/risa.12156.

SHAO, Z.; CAI, J.; FU, P.; HU, L.; LIU, T. Deep learning-based fusion of Landsat-8 and Sentinel-2 images for a harmonized surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 235, p.111425- 111442, Sept 2019. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111425.

SILVA, M. T.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. K. N.; MARIANO, E. B.; AMORIM, M. R. B. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio Rio São Francisco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 2, p. 203 – 211, Jun 2017. DOI. 10.24221/jeap.2.3.2017.1430.203-211.

TESTA, S.; SOUDANI, K.; BOSCHETTI, L.; MONDINO, B. E. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 64, n.1 p.132-144, Aug 2018. DOI.10.1016/j.jag.2017.08.006.

TONG, A.; HE, Y. Estimating and mapping chlorophyll content for a heterogeneous grassland: comparing prediction power of a suite of vegetation indices across scales between years. **ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [S.L.], v. 126, p. 146-167, Apr 2017. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2017.02.010. 16/j.jag.2017.08.006

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **The Earth Explore**. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 5 mai. 2020.

VALERA, C.A.; PISSARRA, T.C.T.; FILHO, M.V.M.; VALLE JÚNIOR, R.F.; OLIVEIRA, C.F.; MOURA, J.P.; SANCHES FERNANDES, L.F.; PACHECO, F.A.L. The Buffer Capacity of Riparian Vegetation to Control Water Quality in Anthropogenic Catchments from a Legally Protected Area: A Critical View over the Brazilian New Forest Code. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 3, p.549-565, Mar 2019. DOI. 10.3390/w11030549.

WARDLOW, B.D.; EGBERT, S.L. A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: A case study for southwest Kansas. **International Journal of Remote Sensing**, [S.L.], v.31, n.3, p.805– 830, Feb 2010. DOI. 10.1080/01431160902897858.

WHITE, J.C., WULDER, M.A., HERMOSILLA, T., COOPS, N.C., HOBART, G.W. A nationwide annual characterization of 25 years of forest disturbance and recovery for Canada using Landsat time series. **Remote Sensing Environment**, [S.L.], v.194, p.303–321. Jun 2017. DOI. 10.1016/j.rse.2017.03.035.

YANG, S.; BAI, J.; ZHAO, C.; LOU, H.; ZHANG, C.; GUAN, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Z.; YU, X. The assessment of the changes of biomass and riparian buffer width in the terminal reservoir under the impact of the South-to-North water diversion project in China. **Ecol. Indic.**, Coimbra, v. 85, n.1, p.932–943, Feb 2018. DOI. 10.1016/j.ecolind.2017.11.011.

ZHANG, J.; LI, S.; DONG, R.; JIANG, C.; NI, M. Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: A case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China. **Journal of Cleaner Production**, [S.L.], v.206, n.1, p.76–85, Jan 2019. DOI. 10.1016/j.jclepro.2018.09.179.

ZHOU, F.; ZHONG, D. Kalman filter method for generating time-series synthetic Landsat images and their uncertainty from Landsat and MODIS observations. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 239, p. 111628-111653, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111628.

3 ARTIGO 2 - VARIAÇÕES SAZONAIS INTRA E INTERANUAL DA COBERTURA VEGETAL (NDVI E SAVI) NA MATA CILIAR DO BIOMA CAATINGA NO RESERVATÓRIO DE SERRINHA II, PE, BRASIL E SUA CORRELAÇÃO COM O SPI E O VOLUME HÍDRICO ACUMULADO

Intra and inter-annual seasonal variations of vegetation cover (NDVI and SAVI) in the riparian forest belt of the Caatinga Biome in Serrinha II reservoir, PE, Brazil and its correlation with SPI and accumulated water volume

RESUMO

As mudanças da cobertura vegetal na Caatinga, são influenciadas diretamente pelas condições climáticas sazonais. Este estudo tem como objetivo analisar as variações sazonais intra e interanual da cobertura vegetal no cenário de Caatinga na mata ciliar no entorno do Reservatório de Serrinha II - PE, Brasil. O conjunto de dados foi composto por imagens derivadas do sensor MSI – Sentinel 2 e uma série pluviométrica mensal, entre os anos de 2016 a 2020, em períodos chuvosos e secos. A metodologia consistiu em avaliar as respostas espectrais dos índices de vegetação (IVs): NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), a correlação com Índice de Precipitação Padronizado (SPI), nas escalas de 3, 12 e 24 meses e a variação volumétrica do reservatório. Com isso, as mudanças espaciais foram identificadas através de cartas imagem e classificação binária, validadas com o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Como resultado, os IVs indicaram um crescimento da cobertura vegetal no período chuvoso e uma redução no período seco. Em 2016 a 2018 foi identificado, ao correlacionar o SPI com os IVs, a redução da vegetação nos eventos de seca. E a partir de 2019 tem-se um estágio de regeneração da vegetação com um aumento positivo dos valores de SPI. Esses eventos também proporcionam a redução de volume acumulado do reservatório, que apresentou o menor valor em 2017 (11,66 hm³), e a presença de seca severa (SPI-3). A associação do SPI e dos IVs identificou mudanças nos cenários: da cobertura vegetal presente e no volume do reservatório, ocasionadas por eventos de déficit pluviométrico.

Palavras-chave: Caatinga. Índices espectrais. SPI. MLME.

ABSTRACT

The changes in vegetation cover in Caatinga, are directly influenced by seasonal climatic conditions. This study aims to analyze the intra and inter-annual seasonal variations of vegetation cover in the Caatinga scenario in the riparian forest around Serrinha II Reservoir - PE, Brazil. The dataset was composed of images derived from the MSI - Sentinel 2 sensor and a monthly rainfall series, between the years 2016 to 2020, in rainy and dry periods. The methodology consisted of evaluating the spectral responses of vegetation indices (IVs): NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), the correlation with Standardized Precipitation Index (SPI), on the scales of 3, 12 and 24 months and the volumetric variation of the reservoir. With this, spatial changes were identified through image maps and binary classification, validated with the Linear Model of Spectral Mixture (MLME). As a result, the IVs indicated a growth of vegetation cover in the rainy period and a reduction in the dry period. In 2016 to 2018 it was identified, when correlating the SPI with the IVs, the reduction of vegetation in the dry events. And from 2019 there is a stage of vegetation regeneration with a positive increase in SPI values. These events also provide the reduction of accumulated volume of the reservoir, which presented the lowest value in 2017 (11.66 hm³), and the presence of severe drought (SPI-3). The association of SPI and IVs identified changes in the scenarios: of the present vegetation cover and the volume of the reservoir, caused by rainfall deficit events.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version).

Keywords: Caatinga. Spectral Indices. SPI. MLME.

1 INTRODUÇÃO

As matas ciliares são fundamentais para os ecossistemas das bacias hidrográficas (BURDON et al., 2020; TÁVORA; KOIDE, 2020) bem como, para o desenvolvimento de biomas como a Caatinga (CUNHA et al., 2020). As mudanças hidrológicas e os eventos de secas, em regiões áridas e semiáridas proporcionam alterações: na cobertura vegetal das matas ciliares (ALBANO et al., 2018), nas propriedades térmicas e na carga de nutrientes dos rios (SURASINGHE et al. 2020). A Caatinga é considerada um dos ecossistemas brasileiros mais negligenciado e ameaçados devido ao uso inadequado e insustentável de seus recursos naturais nas últimas décadas (MORO et al., 2016). Extensas áreas com vegetação nativa foram e vem sendo desmatadas principalmente por causa do uso mal planejado da terra (GALVINCIO et al., 2013).

O Nordeste do Brasil, particularmente a região semiárida do Estado de Pernambuco, está geralmente sujeito às variabilidades de regimes hidrológicos (SILVA et al., 2012), o que pode proporcionar mudanças no cenário das áreas de mata ciliar. Esse fato ocorre com intensidade nestas áreas, devido principalmente as altas temperaturas e a elevada taxa de evapotranspiração (FRANÇA et al., 2019). Sob condições extremas de seca, a falta de água pode afetar o ecossistema de tal forma que proporciona uma mudança de regime (desertificação) (HUGHES et al., 2013), e a ausência de cobertura vegetal. Em reservatórios artificiais, como Serrinha II - PE, segundo maior do estado, construído para reduzir danos proporcionados por eventos de seca na região (FERREIRA, 2019), a investigação das relações entre a vegetação e os processos hidrológicos e climáticos em áreas de mata ciliar, a partir de padrões temporais, espaciais e diversidade da fenologia vegetal e variáveis climatológicas, fornecem informações importantes para entender como os ecossistemas interagem com o clima, avaliando a sensibilidade das matas ciliares frente às sazonalidades climáticas, derivadas de eventos de redução de precipitação, seca e estresse hídrico (NORRIS e WALKER, 2020).

Dados derivados de Sensoriamento Remoto tornam-se uma solução que possibilita o fornecimento de subsídios para detecção, monitoramento, modelagem e validação das informações de forma periódica e consistente a nível local e global da cobertura da terra (TAVORA; KOIDE, 2020; MERCIER et al., 2020; TONG e HE, 2017). Com os avanços significativos em modelagens computacionais, armazenamento e compartilhamento de informações em nuvem, mais estudos regionais e globais têm usado como fonte dados derivados de Sensoriamento Remoto (MONDAL et al., 2020). Como exemplo destaca-se os

índices espectrais de vegetação: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (ROUSE et al., 1973) e SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index) (HUETE, 1998), comumente usados para avaliar a resposta do sinal de seca na vegetação (BARBOSA et al., 2020), derivados de imagens MSI – Sentinel 2, bem como o caso de índices baseados em dados pluviométricos como o caso do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) (MCKEE et al., 1993), que tem sido amplamente aplicado à avaliação, monitoramento e previsão de chuvas (SPINONI et al., 2014).

As variações sazonais da Caatinga com base em imagens orbitais e precipitação têm sido foco de pesquisas atuais, a exemplo de: (i) Albano et al. (2020), analisando o comportamento da vegetação de áreas de mata ciliar no Estado de Nevada – EUA, integrando dados de SPI e o NDVI a partir de imagens Landsat entre 1985 à 2018; (ii) Barbosa et al. (2020) detectando o comportamento da vegetação da Caatinga mediante a eventos de Seca para o Nordeste brasileiro, através de dados NDVI Meteosat-SEVIRI e NDVI SPOT associados aos índices SPI e Índice de Evapotranspiração de Precipitação Padronizado (SPEI) (entre 2008 a 2016, (iii) Paloshi et al. (2021) investigaram a relação entre o uso da água pela vegetação e a fenologia para espécies lenhosas da Caatinga em nível de espécie e comunidade usando diferentes escalas: resolução espacial moderada do Sensoriamento Remoto, com sensores de alta resolução espacial e câmeras próximas à superfície e os produtos NDVI e SAVI derivados de imagens Sentinel-2A, no município de Serra Talhada em Pernambuco.

O estado da arte atual indica que a maioria dos estudos em biomas brasileiros (90%) são dedicados às florestas tropicais, e poucos a biomas formados por vegetação sazonalmente seca (TAVORA; KOIDE, 2020) como a Caatinga, este resultado torna-se ainda mais restrito quando se tem um cenário da vegetação pertencente às áreas de mata ciliar do bioma. A caracterização precisa da resposta da vegetação às condições de seca em regiões tropicais semiáridas é crítica para compreender a ligação entre as mudanças climáticas e a degradação da terra (IPCC, 2014) e, como a vegetação da Caatinga responde intimamente às flutuações de chuva, então a mudanças de biomassa proporcionadas por influências da ausência de chuvas precisam ser consideradas e analisadas antes de atribuir eventos de degradação da vegetação às atividades humanas (BARBOSA et al., 2020), principalmente em Reservatórios artificiais como Serrinha II, que possui elevado uso consultivo (SILVA JUNIOR et al., 2021; ROCHA e BARROS JUNIOR, 2020). Ainda, pesquisas anteriores (PALOSHI et al. 2021; SILVA JUNIOR et al., 2021; CUNHA et al., 2020), mostraram que existe uma relação linear entre a precipitação e a vegetação da Caatinga em uma escala de tempo interanual. Explorando essa relação esta contribuição faz uso de séries temporais mensais de precipitação

avaliadas através do SPI e a correlação com a resposta espectral dos IVs de forma intra e interanual, identificando os efeitos dos déficits hídricos em áreas de mata ciliar no entorno do Reservatório Serrinha II - PE.

Neste contexto, os objetivos deste estudo são: (i) Investigar as alterações sazonais intra e interanual no cenário da cobertura vegetal da mata ciliar do bioma Caatinga, no entorno do Reservatório Serrinha II - PE, através dos índices de vegetação: NDVI e SAVI derivados de imagens do satélite MSI – Sentinel 2 de 2016 a 2020, (ii) Analisar os efeitos de déficit hídrico na mata ciliar com o volume útil do reservatório através da integração entre os índices: NDVI, SAVI e o SPI, (iii) Identificar possíveis ações de degradação vegetal por efeitos de seca, e (iv) Mapear as mudanças temporais ocorridas em termos espaciais referente a mata ciliar do Reservatório.

2 MATERIAL E MÉTODOS

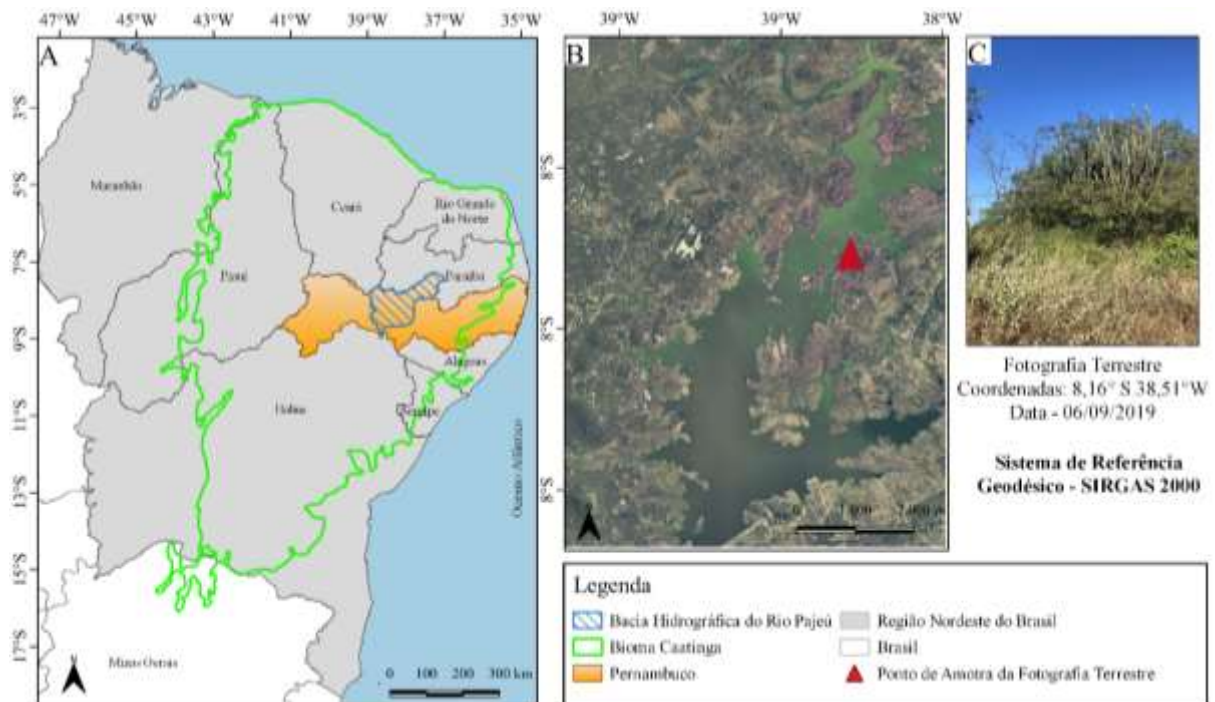
2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a mata ciliar no entorno do Reservatório de Serrinha II, inserido na Bacia Hidrográfica do Pajeú, entre as coordenadas aproximadas (39°W 09°S; 38°W 08°S), com média de altitude de 455m acima do nível do mar, no município de Serra Talha, região semiárida de Pernambuco, Nordeste brasileiro.

O clima segundo a classificação Köppen é do tipo BSs'h', o período chuvoso com precipitação média anual é de 431,8 mm (INMET, 2020). Com apenas duas estações distintas: a estação chuvosa muito quente (de fevereiro a maio) e a estação quente e seca (de junho a janeiro) (CUNHA et al., 2019). A temperatura média do ar é de 23,8 °C (CLIMATE-DATA.ORG, 2019) e os solos são predominantemente Aridisols Argid e Entisols orthents (SOIL-SURVEY-STAFF, 1986).

A Figura 1A apresenta a área de estudo inserida no Nordeste brasileiro. Na Figura 1B tem-se uma ortofoto do Reservatório de Serrinha II obtida gratuitamente através do Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), numa escala de 1:5000, com resolução espacial de 50 cm. E a Figura 1C mostra uma Fotografia Terrestre da vegetação obtida in situ (8,16°S; 38,51°W) no dia 06 de novembro de 2019.

Figura 1 - Área de Estudo. (A) Bacia Hidrográfica do Pajeú em Pernambuco, Nordeste brasileiro. (B) Ortofoto (PE3D) do Reservatório Serrinha II. (C) Fotografia Terrestre da vegetação local.

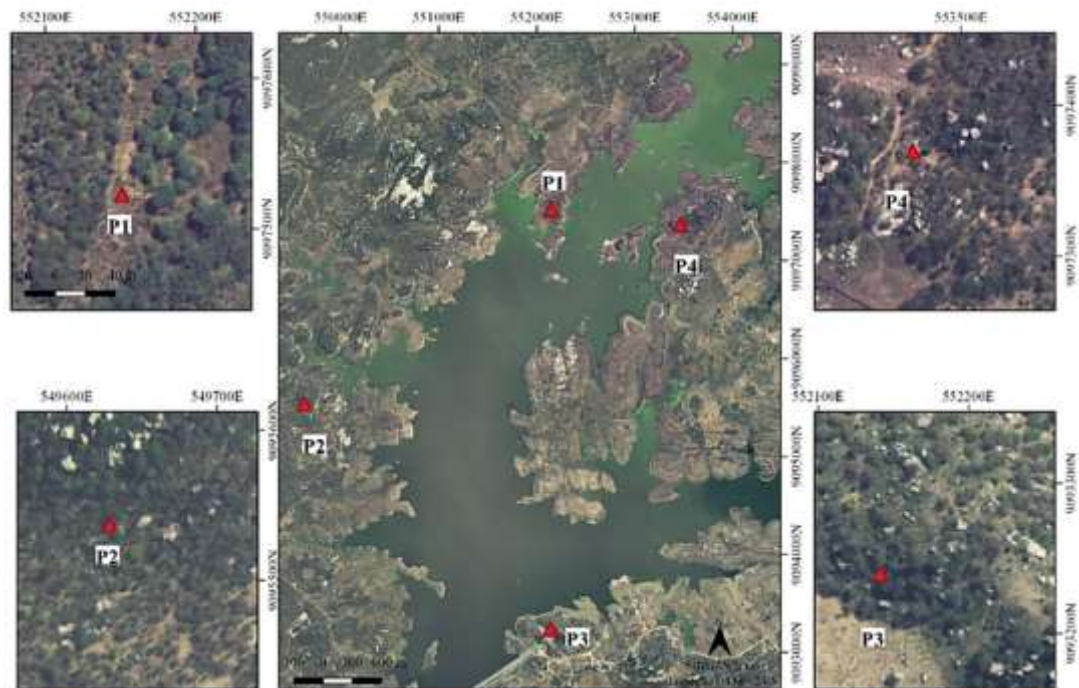


Fonte: O Autor (2021).

O Semiárido é caracterizado pela vegetação com árvores e arbustos baixos, ramificados, espinhosos, que emergem da folhagem microfílica e decídua na estação seca (MARIANO et al., 2018), componentes do bioma Caatinga, como mostra a Figura 1C. A camada do solo é rica em bromélias e geófitos. As espécies típicas incluem *Amburana cearensis*, *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Poincianella pyramidalis* e *Cnidoscolus quercifolius* (BARBOSA et al., 2019; PEREIRA et al., 2014). Relatos detalhados da vegetação da Caatinga são fornecidos por Ab'Saber, (1974) e, Santos et al., (2012). A Figura 2 apresenta imagens aéreas da cobertura vegetal em diferentes pontos do Reservatório na faixa da mata ciliar da área de estudo, obtidas através de ortofotos do PE3D.

A Figura 2 apresenta exemplos da mata ciliar presente em Serrinha II, esta é formada por uma vegetação arbustiva, cercada de afloramento rochosos e áreas de solos de exposto. Segundo Andrade-Lima (1981), o Planalto da Borborema possui uma grande diversidade vegetal, incluindo matas muito semelhantes às costeiras (definidas como Mata Atlântica), e as matas serranas dos brejos de altitude.

Figura 2 – Vegetação da Caatinga na área de estudo.



Fonte: O Autor (2021).

2.2 MATERIAL

2.2.1 Imagens Orbitais

Foram selecionadas dez imagens temporais dos satélites MSI - Sentinel 2 A e MSI – Sentinel 2 B, entre os anos de 2016 a 2020. O critério para seleção das imagens foi em utilizar os períodos de janeiro a julho (alta intensidade pluviométrica) e agosto a dezembro (baixa intensidade de precipitação), seguindo a mesma metodologia proposta por Barbosa et al. (2020) e Cunha et al. (2020) onde a variabilidade pluviométrica é levada em consideração na seleção das amostras, com a finalidade de identificar mudanças sazonais no cenário da mata ciliar, quer sejam por efeitos naturais ou ações antrópicas através da metodologia aplicada

Além da sazonalidade são considerados fatores como: ampla cobertura, ausência de nuvens, e disponibilidade de compartilhamento dos dados em nuvem. A Tabela 1 apresenta a data de aquisição das cenas, o período predominante conforme o regime pluviométrico e as características referentes aos satélites MSI – Sentinel 2 A e B.

Tabela 1 – Data de aquisição das cenas e características do MSI – Sentinel 2 A e B.

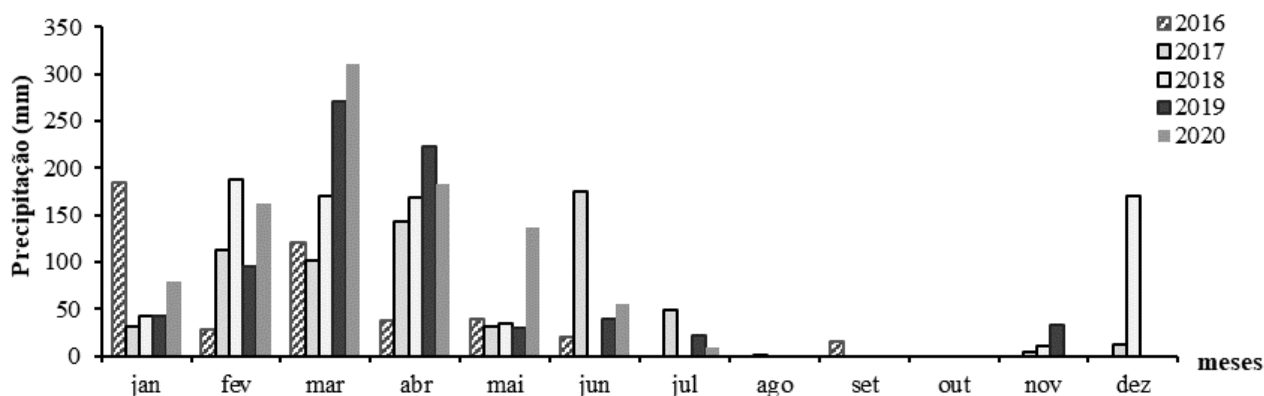
Data de Aquisição da Cena	Período de incidência pluviométrica	Características do MSI – Sentinel 2
14 /05/2016	Chuvoso (janeiro a julho)	Resolução Espectral: 0,443 a 2,190 (μm).
16/05/2017		Resolução Espacial: 10 e 20 (m).
20/07/2018		Resolução Temporal: 5 dias.
05/07/2019		Resolução Radiométrica: 12 (bits).
02/07/2020		Nível de Processamento: 1 C, valores de refletância do topo da atmosfera (TOA).
10/11/2016	Seco (agosto a dezembro)	Aquisição: Projeto <i>Copernicus</i> da Agência Espacial Europeia (ESA) (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home).
12/11/2017		
17/11/2018		
17/11/2019		
16/11/2020		

Fonte: ESA (2021).

2.2.2 Dados Hidrológicos

Os dados de precipitação foram obtidos no acervo da Estação (838031) de Monitoramento Pluviométrico do Sistema Integrado de Recursos Hídricos, gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), esta estação foi escolhida devido a proximidade com o reservatório e a ausência de falhas. A série histórica pluviométrica acumulada mensal foi avaliada de 2016 a 2020, possibilitando estimar os padrões de SPI e a correlação com o período de aquisição das imagens analisado no estudo. A Figura 3 apresenta a variação pluviométrica mensal acumulada (mm) compreendendo os períodos entre janeiro de 2016 a dezembro de 2020.

Figura 3 – Distribuição da precipitação mensal acumulada (mm) no Reservatório (Estação - 838015).



Fonte: O Autor (2021).

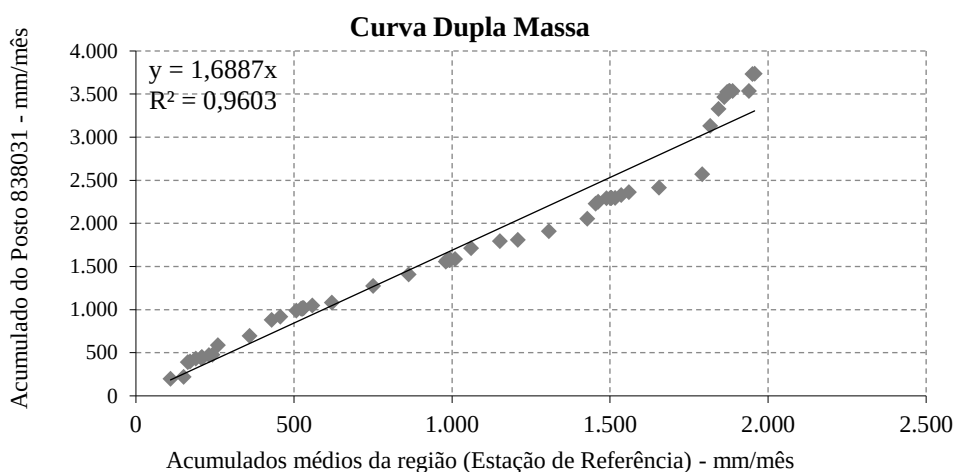
O ano de 2020 apresentou a maior média de precipitação no período chuvoso da série com 311,1 (mm) para o mês de maio e um total de 936,3 mm até o mês de agosto período de

início das baixas incidências pluviométricas. Por outro lado, o ano de 2018 obteve o maior valor para o período seco com 170 mm para o mês de dezembro e, 2016 o menor valor da série em ambos os períodos, com um total de 443,6 mm no ano.

A análise de consistência ou de homogeneização dos dados obtidos com a Estação (838015) foi realizada através do método de Curva Dupla Massa ou Curva Dupla Acumulativa, desenvolvido pela USGS. Segundo Bertoni e Tucci (2007), o método consiste em gerar em forma gráfica valores acumulados mensais de um posto nas ordenadas e de outro posto adotado como base de comparação nas abcissas. Haverá consistência dos dados da estação analisada quando houver uma tendência linear em relação às estações vizinhas. Para se verificar a linearidade entre os registros do posto analisado com relação aos demais avaliou-se o ajuste da equação da reta e do coeficiente de determinação (ABREL e TONELLO, 2017). Haverá homogeneidade regional dos dados quando o coeficiente de determinação (R^2) aproximar-se a 1 (BURIOL et al., 2006). Caso os pontos analisados desviem da reta padrão, deve-se corrigir os dados (ENDO et al., 2007).

Com isso, foram utilizadas como estações base: 838021, 838000 e 838002 disponíveis no arcevo de dados históricos da ANA. A Figura 4 apresenta o resultado do método dupla massa:

Figura 4 – Gráfico Método Dupla Massa.



Fonte: O Autor (2021).

Como pode ser visto na Figura 4 existe consistência nos dados da Estação Pluvimétrica utilizada, e os dados correlacionaram-se com um valor de R^2 igual a 0,98.

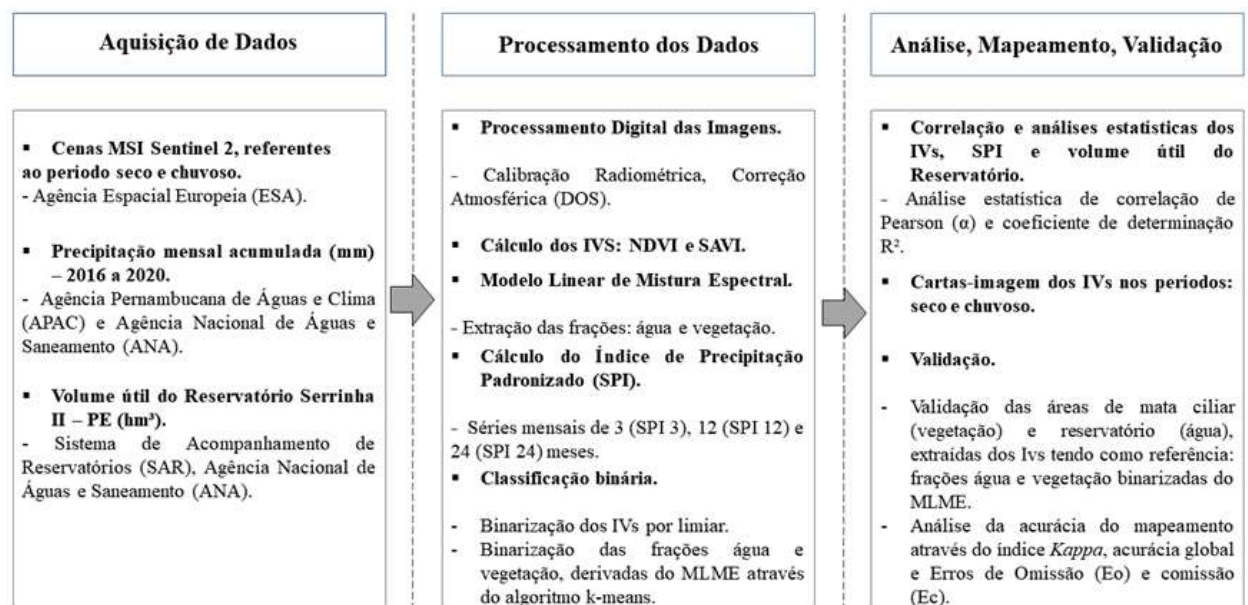
2.2.3 Volume útil do Reservatório

Os dados do volume útil do Reservatório foram obtidos através do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), disponibilizados gratuitamente através do portal eletrônico de dados dos Reservatórios do Norte, Nordeste e Semiárido da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), em que mais informações podem se encontradas em: <https://www.ana.gov.br/sarportal/nordeste-modulo-4.html?codigo=1243>. Foram utilizados dados mensais de volume útil em hectômetro cúbico (hm³), de 2016 a 2020.

2.3 MÉTODOS

A Figura 5 apresenta os tópicos metodológicos abordados divididos em 3 etapas, desenvolvidos para atingir os objetivos (i), (ii), (iii) e (iv) descritos na introdução.

Figura 5 - Etapas Metodológicas.



Fonte: O Autor (2021).

Na primeira etapa foi realizada a aquisição de dados, descritos no item 2.2. Na etapa 2, tem-se o processamento dos dados. E a terceira etapa refere-se as análises, mapeamento e validação. Os itens 2.3.1 a 2.3.5 detalham os processos metodológicos desenvolvidos.

2.3.1 Processamento digital das imagens

Para o processamento digital das imagens inicialmente executou-se o recorte da cena englobando a área de interesse. Em seguida a calibração radiométrica e correção atmosférica, foram processados utilizando o método de subtração de objetos escuros (Dark Object Subtraction – DOS), desenvolvido por Chavez (1988). Por fim, são calculados os IVs com a finalidade de analisar as mudanças sazonais da cobertura vegetal.

Os índices de vegetação baseiam-se nas diferenças de refletividade que a vegetação de cor verde apresenta nas regiões do visível e do infravermelho (JENSEN, 2011), com variação de -1 a 1. Os maiores valores dos índices de vegetação são encontrados em áreas com presença de vegetação, enquanto os menores valores ocorrem em áreas de solo descoberto (CUNHA et al., 2019; MARIANO et al., 2018; ZHAO et al., 2018). Dessa forma, para cada imagem MSI – Sentinel 2 foram processados os índices: NDVI (TUCKER, 1979) e SAVI (HUETE, 1998).

No intuito de comparar as respostas espectrais dos IVs a mudanças na paisagem a partir da variação da distribuição espacial dos pixels, para as classes: mata ciliar (vegetação) e reservatório (água), através de cartas imagens e análises estatísticas por representações gráficas, correlação de Pearson (α) e coeficiente de determinação (R^2).

2.3.1.1 NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Vários produtos NDVI derivados de satélite estão disponíveis para detecção de secas, também vários métodos e algoritmos foram desenvolvidos para avaliar a confiabilidade desses produtos para detectar secas emergentes (PETTORELLI et al., 2005, GHULAM et al., 2007). A Equação 1 apresenta a definição do NDVI:

$$NDVI = \frac{\rho_{\lambda(NIR)} - \rho_{\lambda(RED)}}{\rho_{\lambda(NIR)} + \rho_{\lambda(RED)}}, \quad (1)$$

onde, $\rho_{(\lambda_{NIR})}$ = banda do infravermelho próximo, $\rho_{(\lambda_{RED})}$ = banda do vermelho.

2.3.1.2 SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*)

O SAVI é um índice que busca amenizar os efeitos de *background* (interferência/ruído da refletividade) do solo (SILVA; GALVINCIO, 2012), conforme Equação 2:

$$SAVI = \frac{(1+L_S)(\rho_{\lambda(NIR)} - \rho_{\lambda(RED)})}{(L_S + \rho_{\lambda(NIR)} + \rho_{\lambda(RED)})}, \quad (2)$$

onde, $\rho_{\lambda(NIR)}$ = banda do infravermelho próximo, $\rho_{\lambda(RED)}$ = banda do vermelho, L_S = fator de ajuste ao solo. Adotou-se o valor de 0,50 para o período seco e 0,25 para o período chuvoso, conforme Huete (1998).

2.3.2 Modelo linear de Mistura Espectral (MLME)

Na análise de mistura espectral linear, um *pixel* misto é decomposto como uma combinação linear de membros finais e suas abundâncias fracionárias de *subpixel* (DEGERICK et al., 2019; ADAMS e GILLESPIE, 2006). Ao representar cada *pixel* como uma combinação de membros finais, as imagens de fração resultantes fornecem representações de campo contínuo das gradações espectralmente heterogêneas na cobertura da terra (SMALL e MILESI, 2013). Esta metodologia baseia-se em experimentos desenvolvidos por Mayes; Mustard e Melillo (2015), Xu, Liu e Xu (2018) e Penha et al. (2019). O MLME utilizado proposto por Ponzoni e Shimabukuro (1991) e discutido por Shimabukuro (2019), é extraído de cada cena MSI-Sentinel 2, em pixels referentes as frações: água e vegetação utilizadas para o processo de validação do mapeamento como referência.

2.3.3 Classificação binária

Um sistema de classificação binária é estabelecido por meio da atribuição de valores fixos para relacionar elementos a um conjunto, ou seja, baseado no princípio do terceiro excluído. Assim, são atribuídas as condições de pertinência (valor 1) e não pertinência (valor 0), indicando a presença e não presença do alvo a classe. Um sistema de classificação binária pode ser calculado conforme a Equação 3:

$$\beta: \Omega_{ij} \rightarrow \{0,1\}, \quad (3)$$

onde, Ω_{ij} = a imagem gerada através dos índices.

Para realizar a binarização dos índices, é analisada a variação dos histogramas das componentes espectrais geradas pelos índices, em seguida definido um limiar, ou seja, um intervalo de níveis de cinza, que corresponda à feição que se deseja extrair.

2.3.4 Índice de Precipitação Padronizado (SPI)

O SPI realiza análises estatísticas de dados temporais de precipitação e pode ser calculado para uma variedade de escalas de tempo (MCKEE et al., 1993). Essa versatilidade permite o uso do SPI para monitorar o abastecimento de água de curto prazo, como a umidade do solo, importante para a produção agrícola (BARBOSA et al., 2006).

O SPI foi avaliado em três escalas de tempo: 3, 12 e 24 meses, entre os anos de 2016 a 2020, através dos dados mensais de precipitação da Estação de monitoramento pluviométrico (838015) da ANA, obtidos numa série de 34 anos (1989 – 2020). Os dados de precipitação foram analisados através da análise de consistência ou homogeneização, conhecido como curva dupla massa ou acumulativa.

Essa variação de escala de SPI foi escolhida com o intuito de verificar o comportamento da vegetação a eventos de secas a curto e médio prazo (LIMA et al., 2020; BONACCORSO et al., 2003). Esses valores foram analisados através dos padrões de precipitação para valores de SPI descritos por Mckee et al. (1993), e apresentados através da Tabela 2:

Tabela 2 – Valores de Classificação do Índice de Precipitação Padronizado.

SPI	Classificação (Chuva)	SPI	Classificação (Seca)
$\geq 2,00$	Chuva Extrema	- 0,50 a -0,99	Seca Fraca
1,99 a 1,50	Chuva Forte	-1,00 a -1,49	Seca Moderada
1,49 a 1,00	Chuva Mediana	-1,50 a -1,99	Seca severa
0,99 a 0,50	Chuva Leve	$\leq -2,00$	Seca Extrema
0,49 a -0,49	Chuva Normal		

Fonte: Mckee et al. (1993).

Segundo Souza et al. (2021), a seca é dívida em: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. A seca meteorológica, está associada a déficits de precipitação. A seca agrícola é um reflexo do déficit de precipitação, que tem causado a redução da água no solo,

resultando no estresse da vegetação. A seca hidrológica ocorre com o déficit hídrico nos rios e reservatórios. E a seca socioeconômica ocorre quando a redução da disponibilidade de água afeta a população e o desenvolvimento das regiões impactadas. Segundo Awange et al. (2016) em aspectos temporais, secas agrícolas são consideradas de curto prazo e as secas hidrológicas de médio prazo, refletindo os níveis de armazenamento de reservatórios e rios.

Para modelagem da série temporal através do SPI utilizou-se software *SPI Generator* desenvolvido pelo Centro Nacional de Mitigação de Secas dos Estados Unidos (NDMC), utilizando em seu processamento o desenvolvimento de Equações para o SPI descritos por McKee et al. (1993). Os valores de SPI foram correlacionados com a resposta espectral dos IVs e o volume do reservatório obtido através do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) da ANA entre os anos de 2016 a 2020.

2.3.5 Análises, mapeamento e validação das áreas de mata ciliar

Os resultados foram analisados através do mapeamento e validação das áreas de mata ciliar (vegetação) e reservatório (água) e, da correlação entre as respostas espectrais dos IVs e o cálculo do SPI ao longo da série temporal.

O mapeamento das áreas de mata ciliar e do reservatório é feito através da classificação binária dos IVs, nas classes: mata ciliar (vegetação) e reservatório (água). Como validação do mapeamento utilizando o *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Qgis 3.6.1, para comparar as amostras de *pixels* derivadas da razão das bandas espectrais dos índices e sua resposta de reflectância aos limiares das binarizações com os *pixels* “puros” gerados pelas frações água e vegetação do MLME. Esses limiares foram gerados através de amostras de treinamento obtidas a partir das assinaturas espectrais dos alvos disponibilizadas através da USGS, considerando uma porcentagem de 95% de pureza. O mapa de referência é um produto da binarização das frações pelo algoritmo de classificação automática *K-means*, seguido por uma edição manual de imagem pós-classificação. A edição pós-classificação foi realizada, visando minimizar erros de omissão e de comissão produzidos pelos algoritmos de classificação automática (ALMEIDA-FILHO e SHIMABUKURO, 2002; CARDOZO et al., 2014; SHIMABUKURO et al., 2015; ANDERSON et al., 2015; PENHA et al., 2020).

Possibilitando identificar o grau de acurácia dos índices em caracterizar as feições: mata ciliar (vegetação) e reservatório (água), através dos elementos gerados pela matriz de confusão ou de erros: Índice Kappa, Acurácia Global e Omissão (Eo) e Comissão (Ec).

Os E_o relacionam-se a acurácia do produtor, ou seja, referem-se a erros de classificação de outras classes não são atribuídos a uma determinada classe, por outro lado, os E_c , estão associados a acurácia do usuário, referem-se a pixels atribuídos a uma determinada classe, oriundos de erros de classificação das outras classes (STEHRMAN et al., 2015).

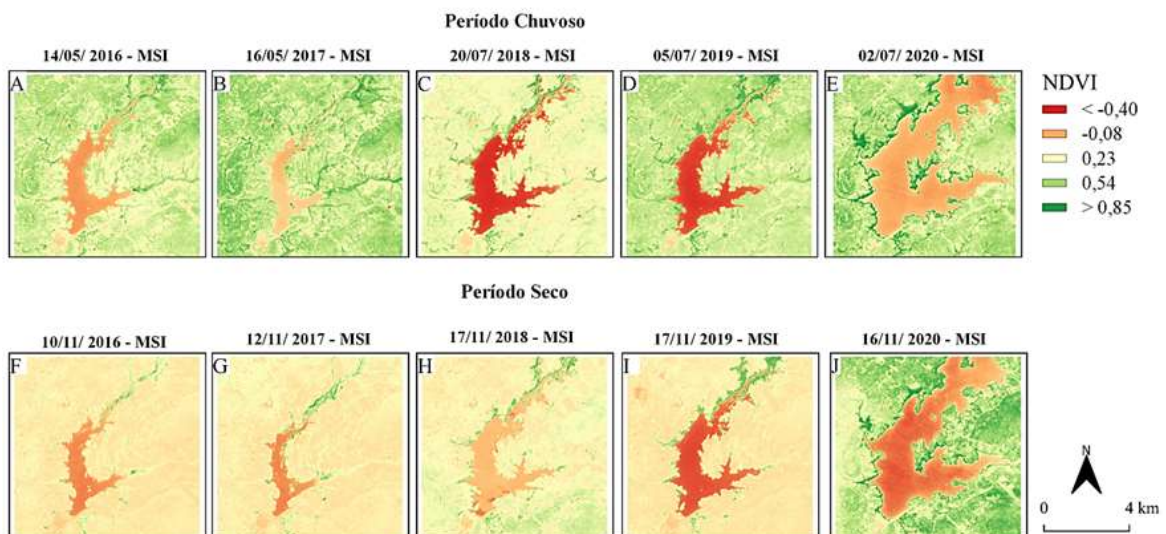
A acurácia do produtor, do usuário e a global representam as previsões corretas de acurácia do mapeamento e variam de 0 a 1, onde um valor próximo a 1 é considerado como uma relação perfeita. No entanto, não considera os acordos entre conjuntos de dados que são devidos apenas ao acaso (ACHARYA; SUBEDI; LEE, 2018). Portanto, o Kappa é uma ferramenta usada para controlar este fator de concordância aleatória, sendo analisado em associação a análises de E_o , E_c e Acurácia global. Segundo Landis e Koch (1977), para o Índice Kappa valores menores ou iguais a zero têm-se um desempenho péssimo; (0 – 0,2) ruim; (0,21 - 0,4) razoável; (0,41 - 0,6) bom; (0,61 - 0,8) muito bom e (0,81 - 1,0) excelente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE MATA CILIAR UTILIZANDO IVS: NDVI E SAVI

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados da distribuição espacial dos pixels, para os índices: NDVI (Figura 6) e SAVI (Figura 7) ao longo da área de estudo nos períodos chuvoso e seco.

Figura 6 – Cartas Imagem NDVI.



Fonte: O Autor (2021).

O NDVI (Figura 6) apresentou uma distribuição do índice variando de -0,40 a 0,85. Em que, os valores obtidos com pixels superiores a 0,54 concentraram-se no período chuvoso (Figuras 6A, 6B, 6D e 6E) formando grandes áreas de cobertura vegetal e para o período seco o índice apresentou uma queda de valores com amplitude entre -0,08 a 0,23, resultando numa baixa densidade de cobertura vegetal. Entretanto, em 2020 em ambos os regimes hidrológicos tem-se a presença de valores elevados entre 0,54 a 0,85.

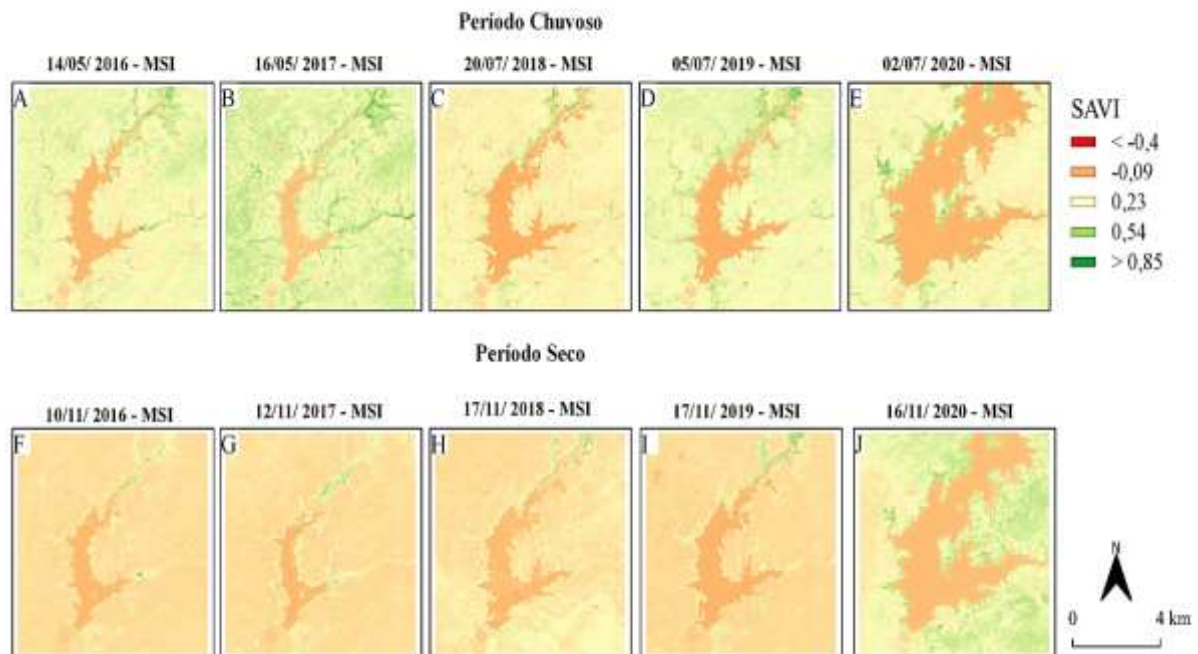
Durante o período chuvoso em 2017 (Figura 6B) apesar de ser encontrada uma redução considerável da área ocupada pelo reservatório com relação aos demais anos, o índice apresentou um aumento de altos valores de NDVI, com média de 0,71 que se reduz em 2018 (média = 0,58) (Figura 6C) e volta a apresentar um aumento considerável em 2020 (Figura 6E), com média igual a 0,86, período em que a espelho hídrico sofre um acúmulo de água, relativamente superior aos demais anos, com uma precipitação média de 1109,50 mm, entre janeiro a julho (Figura 3). No período seco, a vegetação sofre uma considerável redução em área (Figuras 6F, 6G, 6H e 6I) característica das mudanças sazonais da Caatinga, até mesmo em 2020 (Figura 6J) em que houve uma concentração elevada de volume de água no reservatório.

Esses resultados corroboram com Barbosa et al. (2019), que ao estudar mudanças na cobertura vegetal do bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro, encontraram uma variação de NDVI em média entre 0 e 0,4 para o período seco e entre 0 e 0,8 para o período chuvoso, este com maiores variações entre 0,6 - 0,8. Esses dados estão associados com capacidade do NDVI em apresentar respostas espectrais mais coerentes para biomassa em períodos de alta umidade, em relação aos demais IVs (WESTINGA et al., 2020).

Em resultados descritos por Prudnikova et al. (2019) o NDVI apresentou baixa influência da umidade do solo no dossel ao contrário do SAVI que foi fortemente influenciado. Isso pode ter ocorrido pois o NDVI utiliza as regiões do espectro eletromagnético mais associadas à alta absorção de clorofila na banda vermelha e alta refletância da banda NIR por camadas de mesófilo na biomassa de folhas verdes (JENSEN, 2011). No entanto, em florestas sazonalmente secas, o NDVI apresenta limitações em identificar a vegetação caducifólia do solo subjacente durante o período seco (JACQUES et al., 2014; MAYES et al., 2015), além de sofrer forte influência das mudanças climáticas (CUNHA et al., 2019). O que pode ter proporcionado um aumento de biomassa através do NDVI em ambos os períodos analisados em 2020, além da influência do aumento da incidência pluviométrica.

A Figura 7 apresenta os resultados obtidos com o SAVI, registrando de forma geral um decréscimo na concentração da vegetação na região em relação ao NDVI. Apresentando uma média de 0,48 com pixels distribuídos entre -0,11 a 0,72 para o período chuvoso (Figuras 7A, 7B, 7C, 7D e 7E) e -0,05 a 0,64 para o período seco (Figuras 7F, 7G, 7H, 7I e 7J), com média de 0,25.

Figura 7 – Cartas Imagem SAVI



Fonte: O Autor (2021).

Os anos de 2017 (Figura 7B), 2019 (Figura 7D) e 2020 (Figura 7E), apresentaram maior quantidade de pixels classificados entre 0,54 e 0,85 com valor médio de 0,51 no período chuvoso, resultando numa maior cobertura vegetal na mata ciliar da série. Em 2016 (Figura 7A) e 2018 (Figuras 7C) tem-se uma redução deste intervalo de distribuição com média de 0,43.

Para o período seco, tem-se uma variação média com valor de SAVI igual a 0,26. Em que, 2017 apresentou o menor valor médio da série (0,06), o que resultou numa redução considerável de pixels com valores superiores a 0,54 (presença de área vegetada). Em termos de classificação espacial, houve um crescimento de áreas de pixels de solo exposto e uma redução de áreas vegetadas. Ou seja, o SAVI apresentou uma mistura espectral de pixels entre os valores variando de 0,23 a 0,54, o que proporcionou uma perda de biomassa nas áreas de mata ciliar e aumento de solo exposto. Destaca-se que a redução de folhagem característica fenológica da vegetação do bioma é um atenuante, uma vez que houve uma redução de volume do dossel aliada a resolução espacial do sensor, considerando os pixels que deveriam

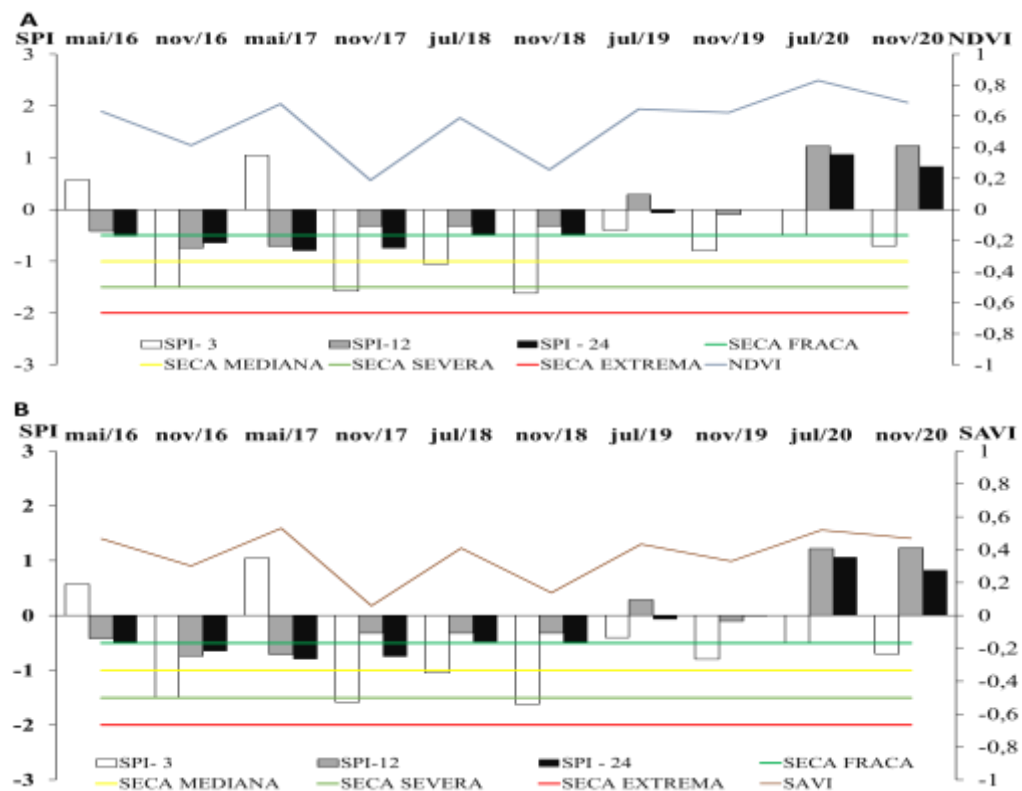
ter altos valores de SAVI referentes à mata ciliar, podem ser enquadrados como solo exposto, presente nas áreas de margem do reservatório.

Sob esse aspecto descrito no parágrafo anterior, o SAVI reflete melhor a rugosidade da superfície em relação ao NDVI, que afeta o momento, o calor e o vapor de água (BASTIAANSEN, 1998), e varia de acordo com os fluxos fenológicos estágios da Caatinga (TEIXEIRA et al., 2017), o que pode ter proporcionado uma maior distinção entre as classes solo exposto e vegetação, reduzindo o número de falsos negativos. Além disso, o fator de ajuste ao solo presente no SAVI faz com que os pixels relacionados à superfície aberta do solo formem uma linha no espaço espectral das regiões vermelha e infravermelha próxima do espectro.

3.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA MATA CILIAR ATRAVÉS DA CORRELAÇÃO TEMPORAL ENTRE O SPI E IVS: NDVI E SAVI

A Figura 8 A e B mostra a variação temporal entre o SPI e os IVs: NDVI e SAVI, para os períodos: seco e chuvoso, entre 2016 a 2020 no Reservatório de Serrinha II - PE.

Figura 8 – (A) Relação Temporal entre o SPI nas escalas 12 e 24 e o NDVI. (B) Correlação Temporal entre o SPI nas escalas 12 e 24 e o SAVI.



Fonte: O Autor (2021).

Com a redução dos valores de NDVI para o período seco, o SPI apresentou intervalos de seca variando entre fraca a severa. E um aumento dos valores para o período chuvoso, com um SPI classificando-se em presença de chuvas normais a moderadas.

A relação entre o SAVI e o SPI (Figura 8B) foi semelhante ao NDVI – SPI, em que, no período chuvoso houve um aumento dos valores de SAVI e do SPI, com ausência de secas medianas, severas ou extremas, e no período seco, em que foi identificada a presença de seca entre mediana a severa, houve a redução dos valores médios de SAVI e SPI. Entretanto, o SAVI em ambos os períodos hidrológicos apresentou valores médios inferiores ao NDVI. Essa disparidade entre os valores está associada à redução dos efeitos de saturação presentes no NDVI, reduzidos com o cálculo do SAVI. Além disso, correlacionado as análises dos IVs e a resposta do SPI, durante o período de regeneração da vegetação após ser exposta a eventos de estresse hídrico, secas, incêndio ou queimadas, a vegetação secundária inicial pode se recuperar rapidamente, o que leva a uma rápida saturação dos valores NIR / Red que respondem à presença de clorofila e área foliar. E este efeito pode reduzir a sensibilidade dos índices (CUNLIFFE et al., 2020), resultando num aumento da mistura de pixels e uma heterogeneidade entre a resposta espectral dos IVs.

O SPI até 3 meses reflete as condições de água no solo em curto e médio prazos e fornece a estimativa da precipitação sazonal sendo sensível às grandes variações na magnitude da chuva (DOMINGOS, 2006). Os valores médios de SPI – 3 ao longo da série, foram capazes de identificar eventos mais significativos ocorridos de forma genérica, ou seja, entre novembro de 2016 e novembro de 2018 tem-se a presença de uma seca variando entre severa a extrema, porém, de curto prazo, com maior valor encontrado para novembro de 2017 (-1,6) corroborando com uma queda dos valores médios de NDVI (0,19) e SAVI (0,06). A partir de 2019, o índice tem um aumento positivo de valores SPI-3 (-0,8) indicando a presença de um déficit hídrico presente na região neste período, corroborando com o aumento dos valores de NDVI (0,62) e SAVI (0,33), representando um estágio de regeneração da cobertura vegetal. Segundo Barbosa et al. (2019) os IVs possuem significativa correlação com a incidência de precipitação.

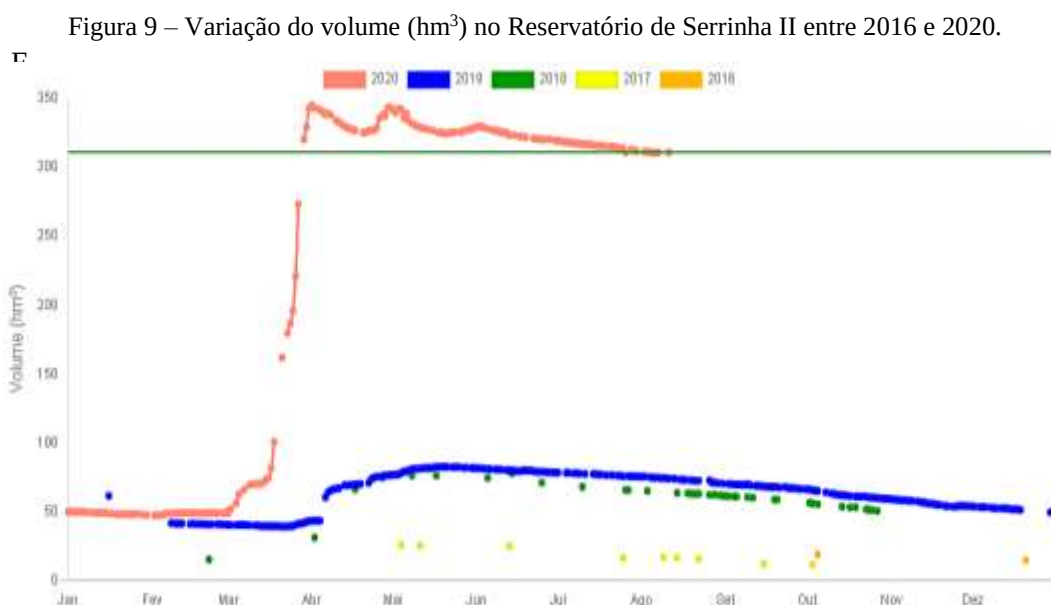
Sob escala anual, o SPI-12 torna-se mais completo por agregar todo o regime pluviométrico analisado. Segundo Guedes et al. (2012), o SPI-12 meses está diretamente associado à escassez de água em forma de vazão, e aos níveis de água dos lençóis subterrâneos. Ao longo da série em julho (SPI-12 = 1,22) e novembro de 2020 (SPI-12 = 1,23) o índice indicou a presença de chuvas medianas na região. E neste período o reservatório apresentou uma média de volume anual de 245,62 hm³. Além disso, ao longo da

série o índice indicou presença de seca de fraca a mediana apenas em maio de 2017 (-0,71) e em novembro de 2016 (-0,74), nos demais apenas uma tendência a seca fraca ou ausência de seca. A escala bienal representada pelo SPI de 24, seguiu padrões próximos a escala anual, porém com maiores valores indicativos de seca variando entre a mediana. Guedes et al. (2012) sob este aspecto afirmaram que as escalas maiores do SPI tendem a esconder algumas ocorrências de precipitação, pois valores positivos ficam inseridos na precipitação acumulada de cada período.

Em síntese é visto que ao longo dos anos, a escassez hídrica na região, proporcionada pela baixa precipitação, como os dados apresentados na Figura 3, foi um agente atenuante na redução da cobertura vegetal da mata ciliar, uma vez que em períodos em que ambas as estações chuvosas e seca, o cenário de SPI mantinha-se entre um intervalo de seca fraca a mediana, caracterizando uma seca meteorológica, formada pela variação pluviométrica característica da região. Ainda neste aspecto, para o período seco, momento em que os valores de pixels que representam a presença de cobertura vegetal sadia decrescem consideravelmente, o SPI teve uma variação de seca entre fraca a severa, o que resulta num quadro de estresse hídrico na área.

3.2.1 Relação entre os IVs, SPI e o volume acumulado do Reservatório

A Figura 9 mostra a variação do volume hm^3 do reservatório entre 2016 e 2020, por meio das estações de monitoramento do SAR da ANA.



Fonte: SAR (2021).

Os valores destacados na Figura 9 corroboram com os resultados obtidos com o NDVI e o SAVI, uma vez que mostra um aumento considerável no volume no ano de 2020 chegando a 300 hm³ e uma redução entre 2016 e 2017, com um volume de aproximadamente 25 hm³ para 2017 no período seco e 5 hm³ para 2016. A Tabela 3 mostra a relação entre a variação do volume do Reservatório e o SPI:

Tabela 3 – Relação entre o SPI e o Volume do Reservatório.

Mês	mai/16	mai/17	jul/18	jul/19	jul/20	nov/16	nov/17	nov/18	nov/19	nov/20
SPI-3	0,6	1,1	-1,1	-0,4	0,5	-1,5	-1,6	0,1	-0,8	-0,7
SPI-12	-0,42	-0,71	-0,32	0,29	1,22	-0,74	-0,32	0,2	-0,1	1,23
SPI-24	-0,52	-0,8	-0,48	-0,07	1,07	0,01	-0,74	-0,13	0,01	0,83
Volume (hm ³)	27,78	25,48	65,89	78,23	311,08	14,92	11,66	50,7	55,69	277,67

Fonte: SAR (2020); Autor (2021).

Os valores de SPI-12 e 24 foram diretamente proporcionais ao volume do reservatório. Em 2016 e 2017 anos em que o reservatório apresentou volume a 30 hm³ foi encontrada a presença de secas variando de leve a mediana e em 2020, cujo volume é superior a 200 hm³, tem-se a caracterização a partir dos valores de SPI, de chuvas medianas.

Foi possível afirmar que entre 2016 e 2018 o reservatório sofreu ações de uma seca hidrológica, uma vez que ao longo de todo o ano, houve uma redução acentuada do volume acumulado do reservatório. Entretanto, o SPI-3 não apresentou resultados homogêneos para o período chuvoso, quando correlacionado com o volume do reservatório. Para o período seco, apresentou os menores valores, em especial nos anos de 2016 (-1,5) e 2017 (-1,6), caracterizando esse período como um período de seca severa.

3.3 EXTRAÇÃO DAS ÁREAS DE MATA CILIAR E DO RESERVATÓRIO ATRAVÉS DOS IVS

A Tabela 4 apresenta os valores das áreas extraídas para as classes mata ciliar (vegetação) e reservatório (água), através da binarização dos IVs:

Tabela 4 – Áreas da Mata Ciliar e Reservatório, extraídas da matriz de confusão a partir da Classificação binária dos IVs.

Ano	Mata Ciliar (Vetação)		Reservatório (Água)	
	Índice	Área (km ²)	Índice	Área (km ²)
2016	NDVI	0,34	NDVI	4,97
	SAVI	0,28	SAVI	4,38
2017	NDVI	0,68	NDVI	3,15
	SAVI	0,47	SAVI	3,14
2018	NDVI	1,28	NDVI	7,67
	SAVI	0,71	SAVI	8,10
2019	NDVI	1,92	NDVI	8,09
	SAVI	1,44	SAVI	9,64
2020	NDVI	3,28	NDVI	17,36
	SAVI	6,27	SAVI	17,36

Fonte: Autor (2021).

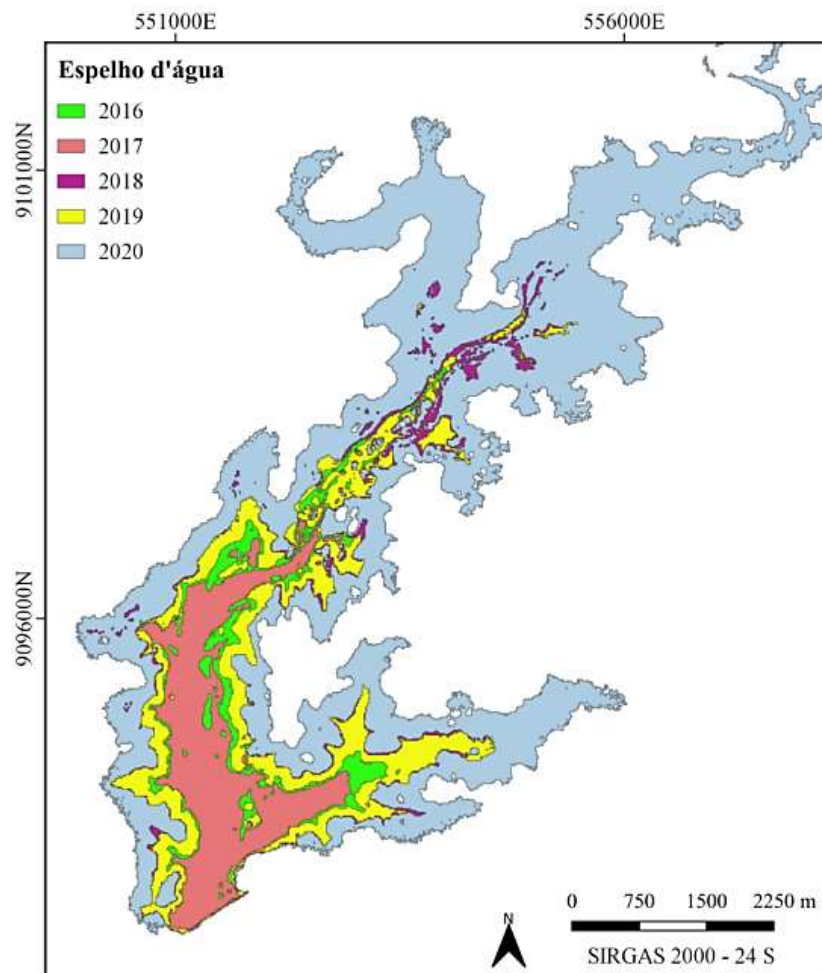
Entre 2016 e 2017 tem-se as menores áreas de mata ciliar entre 0,28 a 0,47 (SAVI) e 0,34 a 0,68 (NDVI), estes valores estão associados a presença de seca na região. Através dos valores obtidos com o SPI (Tabela 5), neste período a região passou por um período de seca de Fraca a mediana (SPI – 12 e SPI – 24) e mediana a severa (SPI – 3). Os anos de 2018 e 2019 tiveram uma proximidade entre seus resultados, com tendência de crescimento, o que indica um período de estabilidade da cobertura vegetal. Neste período tem-se um aumento dos valores de SPI, classificando-se em seca fraca, evento característico do déficit hídrico presente na região no período de baixa incidência pluviométrica. Corroborando com o aumento do volume do reservatório no mês de novembro ao longo dos anos. O ano de 2020 teve o maior valor em área da cobertura vegetal na mata ciliar, representando um aumento de 3,51% da área vegetal presente em 2016 e 8,6% da área total para o NDVI. Quando este quantitativo foi analisado as áreas de mata ciliar através das respostas dos índices de vegetação, o NDVI apresentou maior quantidade de pixels classificados para áreas de mata ciliar, e consequentemente maiores áreas que o SAVI.

Também foi possível afirmar que houve um aumento na área ocupada pelo Reservatório Serrinha II, identificado com valores em proximidade para ambos os IVs. 2020 apresentou maior área da série equivalente a 17, 36 (km²) o que equivale a aumento de 14,21% da área do reservatório presente em 2017 e 23,55% da área total, ano com menor área (3,14 km²).

Essa proximidade entre os valores obtidos com os IVs decorre da homogeneidade do alvo água, com isso, a condição de classificação de pixels ausentes de mistura é muito maior

que a vegetação, que possui uma maior heterogeneidade de distribuição espacial, principalmente em floresta sazonalmente secas como a Caatinga. A Figura 10 apresenta as mudanças ocorridas no corpo hídrico, a partir da extração da área superficial do corpo hídrico:

Figura 10 – Mudanças na área superficial através do NDVI do Reservatório Serrinha II ao longo dos anos.



Fonte: Autor (2021).

A extração das áreas do reservatório obtidas através dos índices apresentou uma correlação direta com o volume (Figura 10), com $\alpha = 0,98$; $R^2 = 0,95$ para o NDVI e $\alpha = 0,95$; $R^2 = 0,90$ para o SAVI. Esse resultado é refletido para as áreas de mata ciliar, em que, o $\alpha = 0,93$; $R^2 = 0,86$ para o NDVI e $\alpha = 0,99$; $R^2 = 0,98$. O que implica afirmar que o aumento do volume do reservatório favorece o crescimento da vegetação em termos espaciais.

3.4 VALIDAÇÃO E ACURÁCIA DO MAPEAMENTO

Devido à limitação de proximidade de datas dos dados MSI – Sentinel 2 e fatores climáticos como presença de nuvens nas cenas no período chuvoso, que podem influenciar na modelagem dos resultados e para avaliar possível presença de continuidade de seca e/ou degradação da cobertura vegetal (Barbosa et al., 2019), o processo de extração das áreas da mata ciliar e reservatório, bem como a validação dos dados a partir do MLME foi realizado apenas com dados referentes ao período de baixa incidência pluviométrica. Para validar esses resultados, foi utilizada como referência do mapeamento uma classificação automática através do algoritmo *K-means* das frações água e vegetação, resultantes do MLME.

Sendo assim, foi analisando a acurácia do mapeamento através dos parâmetros: índice Kappa, acurácia global e Erros de omissão (Eo) e comissão (Ec), extraídos da matriz de confusão, como mostra a Tabela 5:

Tabela 5 – Resultados de acurácia do mapeamento extraídos da matriz de confusão a partir da Classificação binária dos Índices.

Ano	Índice	Classe	Eo	Ec	Índice kappa	Acurácia Global (%)
2016	NDVI	MATA CILIAR	39,50	15,9	0,70	99,60
	SAVI		36,74	8,9	0,67	99,66
	NDVI	ÁGUA	0,81	19,51	0,88	98,63
	SAVI		2,02	9,73	0,93	99,30
2017	NDVI	MATA CILIAR	9,3	31,9	0,77	99,60
	SAVI		10,71	12,16	0,83	99,70
	NDVI	ÁGUA	2,20	6,47	0,95	99,63
	SAVI		2,2	6,47	0,95	99,63
2018	NDVI	MATA CILIAR	12,85	28,97	0,77	99,30
	SAVI		33,37	2,37	0,78	99,50
	NDVI	ÁGUA	6,06	8,14	0,92	98,5
	SAVI		2,36	20,74	0,86	97,15
2019	NDVI	MATA CILIAR	18,89	9,93	0,85	99,19
	SAVI		39,61	6,92	0,72	98,66
	NDVI	ÁGUA	0,71	10,74	0,93	98,75
	SAVI		0,75	10,82	0,93	98,74
2020	NDVI	MATA CILIAR	9,4	15,8	0,72	96,70
	SAVI		36,38	8,25	0,65	97,03
	NDVI	ÁGUA	11,85	22,97	0,87	99,50
	SAVI		25,37	2,37	0,88	99,40

Fonte: O Autor (2021).

Ao longo da série para a mata ciliar o SAVI apresentou maior quantidade de Eo por ano, sendo o ano de 2019 o maior valor (39,61), ou seja, houve certa confusão de classificação dos pixels dessa classe para outras classes, e 2017 o menor (10,71). Essa variação foi evidente também para classe água, com maior valor para 2016 (39,5) e menor para 2018 (0,50). Com relação ao Ec, para a classe mata ciliar o NDVI apresentou maiores valores em 2017 (31,90) e menor em 2018 (2,80) para o SAVI e para a classe água os erros de comissão foram inferiores a 15, sendo 2019, maior valor (14,4) e menor para 2016 (0,3).

Em 2017 com a redução da cobertura vegetal, as classes estiveram mais distintas. Segundo Silveira et al. (2018), as heterogeneidades na estrutura do dossel vertical e horizontal, decorrentes de mudanças na altura da vegetação e densidade de cobertura, criam dificuldades para o mapeamento por sensoriamento remoto da Caatinga. Para a classe mata ciliar, os IVs tiveram valores próximos de índice Kappa, variando entre 0,65 e 0,85, classificando como um desempenho muito bom. O NDVI teve valores superiores a 0,70 e o SAVI a 0,61 na maioria dos anos, incluindo 2016 e 2017, em que a redução das áreas de mata ciliar foi mais severa.

Em termos de acurácia global, em ambas as classes a variação foi superior a 92%, refletindo assim as respostas obtidas com o índice Kappa. Esses dados corroboram com os valores encontrados por Foody (2020), e Stehman (2015), que obtiveram valores de acurácia global para os IVs superiores a 90% e índice Kappa superiores a 0,61, assim como Feyisa et al. (2014) em que, para a classe água através do (*Normalize Difference Water Index*) NDWI, 81% dos pixels de borda mista foram classificados corretamente, ou seja, pixels que incluíram superfícies de água e não d'água.

4 CONCLUSÃO

Neste estudo, o comportamento sazonal da biomassa em áreas de mata ciliar do bioma Caatinga, no entorno do Reservatório de Serrinha II, foi investigado a partir da análise da sensibilidade dos índices espectrais: NDVI e SAVI, correlacionados ao Índice de Precipitação Padronizado. O conjunto de dados derivado de imagens dos satélites MSI - Sentinel 2A e B compreendeu um intervalo de 2016 a 2020. Foi possível determinar a área ocupada pelas classes: mata ciliar e reservatório (água) bem como uma validação dos dados através do MLME para verificar a qualidade espacial do mapeamento. Em que foram extraídas as seguintes conclusões:

Os IVs foram capazes de identificar mudanças no cenário da cobertura vegetal da mata ciliar e do reservatório ao longo dos anos, em diferentes intervalos interanuais e condições hídricas, com um aumento positivo de valores para o período chuvoso indicando a presença vegetativa e um decréscimo para o período seco. Entretanto, o SAVI quando comparado ao NDVI apresentou uma tendência de mistura espectral dos pixels, corroborando num decréscimo da presença de cobertura vegetal em ambos os regimes hídricos.

Em termos espaciais, as áreas de mata ciliar apresentaram um aumento apesar da condição de perda de folhagem da Caatinga em intervalos de redução pluviométrica, com média de crescimento de 92,58% em novembro de 2020 em relação a novembro de 2016. Com relação ao reservatório, também houve um aumento de área e volume. Em que, em 2020 houve um aumento considerável da série, resultante da alta incidência pluviométrica ocorrida na região. A análise associada do SPI com os IVs possibilitou identificar que entre 2016 e 2017 ocorreram perdas de áreas vegetadas ocasionada pela presença de secas medianas a severas, e que a partir de 2019 a região passa a ter uma redução desses efeitos, sendo apenas detectada secas fracas, o que proporciona um estado de regeneração vegetativa.

O SAVI apresentou maiores valores de erros de omissão em 2019 e o NDVI em 2017 erros de comissão. Essa variabilidade do SAVI ocorreu devido a presença de mistura espectral de pixels em períodos de crescimento e regeneração da vegetação e do NDVI devido as condições de saturação do índice. Para a classe água os índices apresentaram baixos valores de Eo. Entretanto, os IVs obtiveram um mapeamento classificado como muito bom para a mata ciliar e excelente para o reservatório (água). A acurácia global foi superior a 96%, o que proporcionou resultados satisfatórios para o mapa de referência através da modelagem obtida com a binarização pelo algoritmo k-means das frações: água e vegetação derivadas do MLME.

REFERÊNCIAS

ABREU, Marcio Costa; TONELLO, Kelly Cristina. Avaliação dos Parâmetros Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 99-109, mar. 2017. DOI. 10.1590/0102-778632120150164.

ACHARYA, T.; SUBEDI, A.; LEE, D. Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensors*, [S.L.], v. 18, n. 8, p. 2580-2595, 7 ago. 2018. MDPI AG. DOI. 10.3390/s18082580.

ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. **Remote sensing of landscapes with spectral images a physical modeling approach**. Cambridge, England: Cambridge University, 2006. 362 p

ALBANO, C. M.; MCGWIRE, K. C.; HAUSNER, M. B.; MCEVOY, D. J.; MORTON, C. G.; HUNTINGTON, J. L. Drought Sensitivity and Trends of Riparian Vegetation Vigor in Nevada, USA (1985–2018). **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 1362-1416, abr. 2020.

ALMEIDA, C.L., CARVALHO, T.R.ADE, ARAÚJO, J.C. Leaf area index of Caatinga biome and its relationship with hydrological and spectral variables. **Agric. For. Meteorol.** [S.L.], V.279, p.107705. DOI.10.1016/j.agrformet.2019.107705. 2019.

ALMEIDA-FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], vol. 79, n. 1, p. 42–50, 2002. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00237-1.

ALLEN, R., TASUMI, M., TREZZA, R. **Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and User’s Manual – Idaho Implementation, version 1.0**, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862010000300010. Acesso em: 21 de março de 2021.

AWANGE, J. L., MPELASOKA, F., GONCALVES, R. M. When every drop count: Analysis of Droughts in Brazil for the 1901–2013 period. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 566, p. 1472-1488. 2016.

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GLOOR, M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SAATCHI, S. S.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; DUARTE, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, [S.L.], vol. 29, n. 10, p. 1739–1753, 2015. DOI: 10.1002/2014GB005008.

BAKAR, S.B.A. – PRADHAN, B. – LAY, U.S., ABDULLAHI, S. (2016): Spatial assessment of land surface temperature and land use/land cover in Langkawi Island. In: 8th IGRSM International Conference and Exhibition on Remote Sensing & GIS (IGRSM 2016) IOP Publishing IOP. **Anais... Conf. Series: Earth and Environmental Science**. v.37, p.012064. 2016. DOI.10.1088/1755-1315/37/1/012064

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J.G.. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 148, p. 235-252, Feb 2019. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014.

BARBOSA, H.A.; BARBOSA, A.R. HUETE, W.E. Baethgen A 20-year study of NDVI variability over the Northeast region of Brazil. **J. Arid Environ.**, [S.L.], v. 67, p. 288-307, 2006.

BASTIAANSEN W.G.M; MENENTI M.; FEDDES R.A.; HOLTSLAG A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. formulation. **J Hydrol.**, [S.L.], v.212–213, p.198–212.1998.

BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177-241.

- BONACCORSO, B., BORDI, I., CANCELLIERE, A. Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management*, [S.L.], V.17, p.273–296. 2003. DOI. 10.1023/A:1024716530289
- BURDON, F. J.; RAMBERG, E.; SARGAC, J.; FORIO, M. A. E.; SAEYER, N.; MUTINOVA, P. T.; MOE, T. F.; PAVELESCU, M. O.; DINU, V.; CAZACU, C. Assessing the Benefits of Forested Riparian Zones: a qualitative index of riparian integrity is positively associated with ecological status in european streams. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 1178-1186, abr. 2020. DOI.10.3390/w12041178.
- BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V., SWAROWSKY, A., D'AVILA, R. F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.
- CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Analysis and assessment of the spatial and temporal distribution of burned areas in the amazon forest. **Remote Sensing**, [S.L.], vol. 6, n. 9, p. 8002–8025, 2014. DOI. 10.3390/rs6098002.
- CARMO, M. V. N. S.; LIMA, C. H. R. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 233-242, jun. 2020. DOI. 10.1590/0102-7786352016.
- CASTRO TEIXEIRA, A.H.; LEIVAS, J.F.; HERNANDEZ, T.B.F.; FRANCO, M.A.R. Balanços de radiação e energia em larga escala com imagens Landsat 8 e dados agrometeorológicos no semiárido brasileiro **J. Appl. Remote Sens.**, [S.L.], v.11, n.1. 2017.
- CHAVEZ JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v.24, n.3, p. 459-479, Apr 1988. DOI. 10.1016/0034-4257(88)90019-3.
- CHEN, F.; CHEN, X.; VOORDE, T.; ROBERTS, D.; JIANG, H.; XU, W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 242, p. 111706-111730, jun. 2020. DOI.10.1016/j.rse.2020.111706.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Serra Talhada**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/peernambuco/serra-talhada-42488/>. Acesso em: Setembro, 2019. RELATÓRIO TÉCNICO.
- CLINTON, BD Respostas da água do córrego à colheita de madeira: Eficácia da largura do tampão ribeirinho. **Para. Ecol. Manag.** [S.L.], v. 261, p. 979–988. 2011.
- CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: Evidence from the Brazilian Caatinga. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 238, p. 111250-111263, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111250.
- CUNLIFFE, A. M.; ASSMANN, J. J.; DASKALOVA, G. N.; KERBY, J. T.; MYERS-SMITH, I. H. Aboveground biomass corresponds strongly with drone-derived canopy height but weakly with greenness (NDVI) in a shrub tundra landscape. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 15, n. 12, p. 125004-125015, dez. 2020. DOI.10.1088/1748-9326/aba470.

CUNHA, A., ALVALÁ, R., NOBRE, C., CARVALHO, M., 2015. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agric. For. Meteorol.**, [S.L.], v.214-215, p.494–505. DOI. 10.1016/j.agrformet.2015.09.010.

DEGERICKX, J., ROBERTS, D.A., SOMERS, B. Enhancing the performance of Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) for urban land cover mapping using airborne lidar data and band selection. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v.221, p.260-273. 2019. DOI.10.1016/j.rse.2018.11.026

DOMINGOS, S. I. S. Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI). Tese de licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, julho de 2006.

ENDO, C. K.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. CONSISTÊNCIA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ. **Revista Varia Scientia**, Paraná, v. 7, n. 13, p.95-100, Jan/Jul 2007.

EUROPEAN SPATIAL AGENCY (ESA). **Copernicus: Sentinel-2 — The Optical Imaging Mission for Land Services. 2020.** Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2#sensors>. Acesso em: 22 mai. 2020.

FEYISA, G. L.; MEILBY, H.; FENSHOLT, R.; PROUD, S. R. Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water mapping using landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 140, p. 23-35, jan. 2014. DOI. 10.1016/j.rse.2013.08.029.

FOODY, G. M. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 239, n.1, p. 11- 11, 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111630

FERREIRA, N. C. F.; MELLO DUARTE, J. R.; OLIVEIRA, L. A. B.; SILVA, E. C.; CARVALHO, I. A. “O PAPEL DAS MATAS CILIARES NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA”. **Biodiversidade**. [S.L.], v. 18, n.3, p.171-179. 2019

FRANÇA, A.M.L.; DIAZ, F.C.C; DOS REIS, V.J.; COSTA, O.S.V.; GALVINCIO, D.J.; Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v.12, n.6, p.2377-2391. 2019.

GALVÍNCIO, J.D., MOURA, M.S.B., SILVA, T.G., SILVA, B.B., NAUE, C.R., LAI improved to dry forest in Semiarid of Brazil. **Int. J. Remote Sens.**, [S.L.], v.3, p.193-215. 2013. DOI.10.14355/ijrsa.2013.0304.04.

GHOLIZADEH, A.; Žižalaa, D.; SABERIOON, M.; BORŏVKA, L. Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 218, p. 89-103, Dec 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.09.015.

GHULAM, A.; QUIN, Q.; ZHAN, Z. Designing of the perpendicular drought index. **Environmental Geology**, [S.L.], v. 52, n.6, p.1045-1052. May 2007. DOI. 10.1007/s00254-006-0544-2.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [S.L.], n. 23, p. 55 – 65. 2012.

HUGHES, T.P.; KERRY, J.T.; ÁLVAREZ-NORIEGA, M.; ÁLVAREZ-ROMERO, J.G.; ANDERSON, K.D.; BAIRD, A.H.; BRIDGE, T.C. GLOBAL WARMING AND RECURRENT MASS BLEACHING OF CORALS. **NATURE**, [S.L.], V. 543, P. 373–377, 2017.

HUETE, A.R. A SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI). **Remote sensing of environment**, [S.L.], v. 25, p. 295-309. 1988.

IPPC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR5 Mudanças Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/full-report-global-aspects/>. Acesso em: 21 de março de 2021.

JACQUES, D. C.; KERGOAT, L.; HIERNAUX, P.; MOUGIN, E.; DEFOURNY, P. Monitoring dry vegetation masses in semi-arid areas with MODIS SWIR bands. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 153, p. 40-49, out. 2014. DOI. 10.1016/j.rse.2014.07.027.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

KOZLOWSKI, T. T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. **Wetlands**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 550-561, set. 2002. DOI. 10.1672/0277-5212(2002)022[0550: peiofo]2.0.co;2.

LIMA, A.; SILVA, T. S. F.; ARAGÃO, L. E. O. C. FEITAS, R. M.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, [S.L.], vol. 34, p. 239–246, 2012. DOI: 10.1016/j.apgeog.2011.10.013.

LIU, L.; LI, N.; LU, D.; CHEN, Y. Mapping Moso bamboo forest and its on-year and off-year distribution in a subtropical region using time-series Sentinel-2 and Landsat 8 data. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 231, p. 111265-111274, set. 2019. DOI.10.1016/j.rse.2019.111265.

LIU, W.; LU, L.; YE, C.; LIU, Y. Relating urban surface temperature to surface characteristics in Beijing area of China. **Mippr 2009: Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications**, [S.L.], p. 214-232, 30 out. 2009. DOI.10.1117/12.833679.

LOPES, I.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. de. Performance of Conservation Techniques for Semiarid Environments: field observations with Caatinga, mulch, and cactus forage Palma. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 792-800, abr. 2019. DOI.10.3390/w11040792.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on Applied Climatology, 8., 1993, Boston. **Anais...** American Meteorological Society. Boston: Preprints, 1993. p.179-184.

MAYES, M. T.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J. M. Forest cover change in Miombo Woodlands: modeling land cover of african dry tropical forests with linear spectral mixture analysis. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 165, p. 203-215, ago. 2015. DOI.10.1016/j.rse.2015.05.006.

MARIANO, D.A.; SANTOS, C.A.C. dos; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 213, p. 129-143, ago. 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.04.048.

MARTINS D.S., RAZIEI T, PAULO A.A., PEREIRA L.S. Spatial and temporal variability of precipitation and drought in Portugal. **Nat Hazards Earth Syst Sci.** [S.L.], v.12, p.1493–1150. 2012.

MERCIER, A.; BETBEDER, J.; BAUDRY, J.; LE ROUX, V.; SPICHER, F.; LACOUX, J.; ROGER, D.; HUBERT-MOY, L. Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.L.], v. 163, p. 231-256, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.009

MONDAL, P.; MCDERMID, S. S.; QADIR, A. A reporting framework for Sustainable Development Goal 15: multi-scale monitoring of forest degradation using MODIS, Landsat and Sentinel data. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 237, p. 111592-111600, fev. 2020. DOI.10.1016/j.rse.2019.111592.

MORO M.F., LUGHADHA E.N., ARAUJO F.S.; MARTINS F.R. A Phytogeographical metaanalysis of the semi-arid caatinga domain in Brazil. **The botanical review**, [S.L.], V. 82, N. 2, P. 91-148, 2016.

NORRIS, J. R.; WALKER, J. J.. Solar and sensor geometry, not vegetation response, drive satellite NDVI phenology in widespread ecosystems of the western United States. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 249, p. 112013-112020, nov. 2020. DOI.10.1016/j.rse.2020.112013.

PALOSCHI, R. A.; RAMOS, D. M.; VENTURA, D. J.; SOUZA, R.; SOUZA, E.; MORELLATO, L. P. C.; NÓBREGA, R. L. B.; COUTINHO, Í. A. C.; VERHOEF, A.; KÖRTING, T. S. Environmental Drivers of Water Use for Caatinga Woody Plant Species: combining remote sensing phenology and sap flow measurements. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 75-85, dez. 2020. DOI: 10.3390/rs13010075.

PAREDES-TREJO, F.J.; BARBOSA, H.A.; LAKSHMI KUMAR, T.V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environment**, [S.L.], v. 139, pp. 26-40, 2017. DOI.10.1016/j.jaridenv.2016.12.009

PE3D. **Pernambuco Tridimensional – Mapeamento do Estado de Pernambuco.** Disponível em: <http://pe3d.pe.gov.br/>. Acesso em: 21 de março de 2021.

PENHA, T. V.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; SILVA JÚNIOR, C. H. L.; PLETSCHE, M. A. J. S.; ANDERSON, L. O.; MORELLI, F. Detecção de Áreas Queimadas na Amazônia Brasileira usando Índices Espectrais e GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 72, n. 2, p. 253-269, jun. 2020. DOI. 10.14393/rbcv72n2-48726

PETTORELLI, N.; VIK, O.J.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.M.; TUCKER, J.C.; STEN, C.N.; Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends Ecol Evol**. [S.L.], v. 20, n. 9, p.503-10. Sep 2005. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.

PRUDNIKOVA, E; SAVIN, I; VINDEKER, G.; GRUBINA, P.; SHISHKONAKOVA, E.; SHARYCHEV, D. Influence of Soil Background on Spectral Reflectance of Winter Wheat Crop Canopy. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 16, p. 1932-1945, 19 ago. 2019. DOI.10.3390/rs11161932.

ROCHA, A. K. P.; BARROS JUNIOR, G. Condições operacionais de barragens destinadas ao armazenamento de água no Vale do Rio Pajeú, Brasil. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 156-170, out. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8829.

ROUSE JR., J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D. W. Monitoramento de sistemas de vegetação nas Grandes Planícies com ERTS SC Freden, EP Mercanti, M. Becker (Eds.), **Anais...** In: Simpósio do Third Earth Resources Technology Satellite-1, apresentações técnicas, seção A , vol. I , National Aeronautics and Space Administration , Washington, DC (1973) , pp. 309 – 317 NASA SP-351.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; CAMPOS, T. L. O. B.; SANTOS, A. P. P. Frequências dos Eventos Extremos de Seca e Chuva na Amazônia Utilizando Diferentes Bancos de Dados de Precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, p.468-478, 2017.

SZABÓ, S.; GÁCSI, Z.; BALÁZS, B. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. **Landscape & Environment**, [S.L.], v. 10, n. 3-4, p. 194-202, 15 set. 2016. DOI.10.21120/le/10/3-4/13.

SANTOS, E. P.; JESUS, T. B.; CARNEIRO, A. S. R.; SANTOS, R. L.; SANTOS, R. A. Images and Spectroradiometry Applied to Degraded Grassland Study. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 141-151, 20 ago. 2018. **Instituto de Geociências - UFRJ**. DOI.10.11137/2018_2_141_151.

SHIMABUKURO, Y. E.; MIETTINEN, J.; BEUCHLE, RENE; GRECCHI, R. C.; SIMONETTI, D.; ACHARD, F. Estimating burned area in Mato Grosso, Brazil, using an object-based classification method on a systematic sample of medium resolution satellite images. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [S.L.], vol. 8, n.9, p. 4502–4508, 2015.DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2464097.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. 2019. **Spectral Mixture for Remote Sensing: Linear Model and Applications**. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. São Paulo: Oficina de Textos. 77 p.

SILVA, L. G.; GALVINCIO, J. D.; Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**. [S.L.], v.06, p.1446-1456. 2012.

SILVA JUNIOR, J. A. ; PACHECO, A. P.. Análise do Modelo Linear de Mistura Espectral na Avaliação de Incêndios Florestais no Parque Nacional do Araguaia, Tocantins, Brasil: imagens eo-1/hyperion e landsat-7/etm+. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 320-335, dez. 2020. **Instituto de Geociências - UFRJ**. DOI. 10.11137/2020_4_440_450

SILVA, B.; MONTENEGRO S.M.G.L.; SILVA, F.B.D.; ARAÚJO FILHO, P.F.D.A. Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 135-147, 2012. DOI.10.21168/rbrh. v17n3.p135-147.

SILVEIRA H.L.F.; GALVÃO L.S.; SANCHES I.D.; SÁ, I.B.; TAURA T.A. Use of MSI/Sentinel-2 and airborne LiDAR data for mapping vegetation and studying there lation ships with soil attributes in the Brazilian semi-arid region. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p.179–190. 2018. DOI. 10.1016/j.jag.2018.06.016

SMALL, C.; MILESI, C. Multi-scale standardized spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 136, p. 442-454, set. 2013. DOI. 10.1016/j.rse.2013.05.024. Soil-Survey-Staff. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification of Making and Interpreting Soil Surveys; USDA**. Agriculture Handbook, 436; Natural Resources Conservation Service: Washington, DC, USA, 1999; p. 869.

SOUZA, A. G. S. S.; RIBEIRO NETO, A.; SOUZA, L. L. Soil moisture-based index for agricultural drought assessment: smadi application in pernambuco state-brazil. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 252, p. 112124-112135, jan. 2021. DOI.10.1016/j.rse.2020.112124.

SPINONI, J.; VOGT, V.J.; NAUMANN, G.; BARBOSA, P.; DOSIO, A. Will drought events become more frequent and severe in Europe? **Int. J. Climatol.**, [S.L.]. 2017. DOI: 10.1002/joc.5291

SURASINGHE, T.; KARIYAWASAM, R.; SUDASINGHE, H.; KARUNARATHNA, S. Challenges in Biodiversity Conservation in a Highly Modified Tropical River Basin in Sri Lanka. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 26-44, 19 dez. 2019. DOI. 10.3390/w12010026.

TÁVORA, B. E.; KOIDE, S. Event-Based Rainfall Interception Modeling in a Cerrado Riparian Forest—Central Brazil: an alternative approach to the is method for parameterization of the gash model. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 2128-2145, 27 jul. 2020. DOI.10.3390/w12082128.

TONG, A.; HE, Y. Estimating and mapping chlorophyll content for a heterogeneous grassland: comparing prediction power of a suite of vegetation indices across scales between years. **ISPRS Journal of Photogrammetry And Remote Sensing**, [S.L.], v. 126, p. 146-167, Apr 2017. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2017.02.010. 16/j.jag.2017.08.006

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.

Remote Sensing of Environment, v.8, pp. 127-150, 1979.

SILVA JUNIOR, U. J. DA; GONÇALVES, R. M.; OLIVEIRA, L. M. M. DE; SILVA JÚNIOR, J. A. DA. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 17-35, 19 fev. 2021.

VALERA, C.A.; PISSARRA, T.C.T.; FILHO, M.V.M.; VALLE JÚNIOR, R.F.; OLIVEIRA, C.F.; MOURA, J.P.; SANCHES FERNANDES, L.F.; PACHECO, F.A.L. The Buffer Capacity of Riparian Vegetation to Control Water Quality in Anthropogenic Catchments from a Legally Protected Area: A Critical View over the Brazilian New Forest Code. **Water**, [S.L.], v. 11, n. 3, p.549-565, Mar 2019. DOI. 10.3390/w11030549.

WALLACE, C.; MCCARTY, G.; LEE, S.; BROOKS, R.; VEITH, T.; KLEINMAN, P.; SADEGHI, A. Evaluating Concentrated Flowpaths in Riparian Forest Buffer Contributing Areas Using LiDAR Imagery and Topographic Metrics. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 614-620, 17 abr. 2018. DOI.10.3390/rs10040614.

WESTINGA, E.; BELTRAN, A. P. R.; BIE, C.A.J.M.; VAN GILS, H. A.M.J. A novel approach to optimize hierarchical vegetation mapping from hyper-temporal NDVI imagery, demonstrated at national level for Namibia. **International Journal of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.L.], v. 91, p. 102152-102164, set. 2020.

YANG, S.; BAI, J.; ZHAO, C. ; LOU, H. ; ZHANG, C. ; GUAN, Y. ; ZHANG, Y. ; WANG, Z. ; YU, X. The evaluation of the changes in the biomass and width of the riparian buffer in the terminal reservoir under the impact of the South to North water detour project in China. **Ecol. Índico**, v.85, p.932–943. 2018.

XU, R.; LIU, J.; XU, J. Extração de superfícies impermeáveis urbanas de alta precisão a partir de imagens multiespectrais Sentinel-2 via análise de mistura espectral linear modificada. **Sensors**. V. 8, n. 9, p. 2873. 2018.

ZHANG, J.; LI, S.; DONG, R.; JIANG, C.; NI, M. Influências das métricas de uso da terra em escalas multi-espaciais na qualidade sazonal da água: Um estudo de caso de sistemas fluviais na área do reservatório das Três Gargantas, China.J. **Clean. Prod.** v.206, p.76–85, 2019.

ZHAO, H.; HUANG, F.; QI, H. Generating High Resolution LAI Based on a Modified FSDAF Model. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 150-165, 2 jan. 2020.DOI.10.3390/rs12010150.

ZARCO-TEJADA, P.J.; HORNERO, A.; BECK, P.s.A.; KATTENBORN, T.; KEMPENEERS, P.; HERNÁNDEZ-CLEMENTE, R. Chlorophyll content estimation in an open-canopy conifer forest with Sentinel-2A and hyperspectral imagery in the context of forest decline. **Remote Sensing of Environment**, [S.L.], v. 223, p. 320-335, mar. 2019. DOI.10.1016/j.rse.2019.01.031.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir são apresentadas as principais conclusões e recomendações encontradas através dos ARTIGO 1 e ARTIGO 2.

4.1 CONCLUSÃO

Neste estudo, o comportamento da vegetação das áreas de mata ciliar do bioma Caatinga, no entorno do Reservatório de Serrinha II - PE, foram investigados a partir da análise da sensibilidade dos IVs: GNDVI, NDVI, EVI e SAVI e do Índice de Precipitação Padronizado (SPI). O conjunto de dados derivado de imagens dos satélites Landsat 5 – TM, Landsat 8 – OLI e Sentinel 2 - MSI compreendeu um intervalo de 34 anos, de 1985 a 2020. Foi possível determinar a área ocupada pelas classes: mata ciliar (vegetação) e reservatório (água) em períodos de sazonalidade (baixa e alta intensidade) pluviométrica ao longo dos anos, validados através de processos de classificação binária, considerando imagens MSI - SENTINEL 2 como referência (Artigo 1) e as frações da água e vegetação extraídas do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), proposto por Ponzoni e Shimabukuro (1991). Com uma abordagem estatística baseada num modelo de correlação de Person e coeficiente R^2 . Em que foram extraídas as seguintes conclusões:

(1) Os IVs do infravermelho: NDVI, SAVI e GNDVI apresentaram maior quantidade de pixels classificados para o vigor vegetativo (próximos a 1), destacando visualmente maiores áreas de mata ciliar e consequentemente maior sensibilidade para este alvo, esses resultados se também são refletidos para pixels referentes ao alvo água (reservatório), devido a sua homogeneidade eventos como: mistura espectral de pixels e presença de falsos negativos foram mínimos em relação as áreas de mata ciliar, em que esses elementos foram atenuantes aos resultados encontrados.

(2) Através das análises estatísticas e perfis adotados foi identificado que houve uma correlação direta entre os IVs. Os IVs do infravermelho: SAVI, NDVI e GNDVI apresentaram maior correlação entre si. Ou seja, para os IVs do infravermelho o valor de R^2 foi diretamente proporcional a quantidade de pixels de alto vigor vegetal classificados, quando correlacionados. O EVI por sua vez apresentou baixo R^2 com o GNDVI, ($R^2 = 0,52$ para o sensor OLI e $R^2 = 0,78$ para o MSI), resultado que não se reflete quando o índice é correlacionado com o NDVI, isto ocorreu devido à baixa reflectância das folhas na região do

visível, decorrente da absorção da radiação solar pela ação de pigmentos fotossintetizantes, que possui influência no índice atmosférico.

(3) Ao analisar a aplicação dos sensores MSI (Sentinel 2), TM (Landsat 5) e OLI (Landsat 8), a resolução espacial de 10 metros presente nas faixas do MSI utilizadas no artigo 2, proporcionaram uma redução da presença de mistura espectral de pixels, com isso assegurou um detalhamento das áreas de percas de vegetação proporcionadas pela ausência hídrica. Em contrapartida, devido a resolução espacial (30 m) presentes nos sensores a bordo dos satélites Landsat 5 e 8, a presença de mistura espectral proporcionou um acréscimo de erros de omissão, reduzindo a acurácia do produtor para as áreas de mata ciliar mapeadas.

(3) Em termos espaciais considerando a ocupação por classe em km², as áreas de mata ciliar entre os anos de 1985 e 1996 tem um crescimento de 6,36% da área total e 79,87% da mata ciliar formada, isso ocorreu devido à umidade proporcionada pela presença da massa d'água do reservatório, associada a eventos chuvosos. Em 2019, quando comparado a 1996 a variação é de aproximadamente 2 km², ou seja, ocorrendo uma redução de 55,40% da cobertura vegetal presente em 1996 e 3,5% da área total para o GNDVI. Por sua vez, o espelho d'água do reservatório apresentou uma variabilidade espacial ao longo dos anos, o EVI resultou numa área de 8,09 km² em 2019, próximo à área de início das operações em 1996, porém quando comparado com o valor medido pelo INPE em 2012 para o mesmo sensor tem-se uma perda de 32,36% em área, em sete anos, proporcionando ganhos e percas de área do espelho d'água. Em 2020 houve um aumento considerável da área do espelho d'água chegando a 28,29 km². Estes resultados confirmam que as áreas formadas pela mata ciliar e o reservatório, sofreram modificações no cenário original dos elementos da paisagem ao longo dos anos.

(4) Ao correlacionar os IVs com o SPI, foi identificada a presença de secas medianas a severas entre os anos de 2016 a 2018, com reduções de áreas vegetadas, que apresentam um estágio de regeneração a partir de 2019, com um crescimento dos valores dos IVs e do SPI. Ao longo dos anos, também houve mudanças na cobertura vegetal proporcionada por eventos de redução pluviométrica característica do semiárido, caracterizando a presença de seca meteorológica. O SPI também possibilitou correlacionar as mudanças de área do reservatório entre (2016 – 2020), que foram ocasionadas por eventos de déficit hídrico e secas medianas e severas (2016

e 2017), como em novembro de 2017, em que o volume do reservatório foi de 11,66 hm³.

(5) Com relação as metodologias de validação, é possível inferir que o processo de classificação binária e os modelos de referência da validação, apresentaram níveis elevados de acurácia. Com índice kappa variando entre muito bom (0,61 - 0,8) e excelente (0,81 - 1,0), e uma acurácia global superior a 95%, o que implica afirmar que os elementos mapeados condizem com a realidade espacial da área analisada. Entretanto, em ambos os métodos houve a presença de erros de omissão e comissão consideráveis para as áreas de mata ciliar, possivelmente ocasionados por eventos de mistura espectral de pixels, proporcionado pela ausência de homogeneidade da cobertura vegetal.

Contudo, os resultados indicaram que ao longo dos anos a presença da seca na região, quer sejam moderadas, severas ou proporcionadas por eventos de déficit hídrico habituais influenciou na reserva hídrica de Serrinha II e nas mudanças da cobertura vegetal ao longo dos anos. Proporcionando redução de área da cobertura vegetal e do reservatório, assim como no volume útil do reservatório. Por fim, destaca-se a importância e a capacidade dos sensores e modelagens de mapeamento utilizadas nesta pesquisa em possibilitar com níveis de acurácia elevados o monitoramento das variações na cobertura vegetação das áreas de mata ciliar em cenários de Caatinga. É ressaltado também que a utilização de ferramentas e índices hidrológicos como o SPI, possibilitaram a compreensão de integradas dos fenômenos climáticos e geomorfológicos que influenciaram nas respostas espectrais dos índices e consequentemente nos mapeamentos, gerando um processo de informação assertiva, tendo em vista a sensibilidade da Caatinga a mudanças pluviométricas e geomorfológicas.

REFERÊNCIAS

- ABADE, N.A.; JÚNIOR, O.A.C.; GUIMARÃES, R.F.; DE OLIVEIRA, S.N. Comparative Analysis of MODIS Time-Series Classification Using Support Vector Machines and Methods Based upon Distance and Similarity Measures in the Brazilian Cerrado-Caatinga Boundary. **Remote Sensing**, [S.L.], v.7, n.1, p.12160-12191, Sep 2015. DOI. 10.3390/rs70912160
- ABREU, Marcio Costa; TONELLO, Kelly Cristina. Avaliação dos Parâmetro Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 99-109, mar. 2017. DOI. 10.1590/0102-778632120150164.
- ACHARYA, T.; SUBEDI, A.; LEE, D. Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. **Sensors**, [S.L.], v. 18, n. 8, p. 2580-2595, 7 ago. 2018. MDPI AG. DOI. 10.3390/s18082580.
- ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. **Remote sensing of landscapes with spectral images a physical modeling approach**. Cambridge, England: Cambridge University, 2006. 362 p.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Boletim de Monitoramento Pluvio**. Recife, 2020. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 5 mai. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). **Portal HidroWeb – Séries Históricas**. Recife, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb> . Acesso em: 10 mai. 2020.
- ALBANO, C. M.; MCGWIRE, K. C.; HAUSNER, M. B.; MCEVOY, D. J.; MORTON, C. G.; HUNTINGTON, J. L. Drought Sensitivity and Trends of Riparian Vegetation Vigor in Nevada, USA (1985–2018). **Remote Sensing**, [S.L.], v. 12, n. 9, p. 1362-1416, abr. 2020.
- ALI, A.; MARTELLI, R.; LUPIA, F.; BARBANTI, L. Assessing Multiple Years' Spatial Variability of Crop Yields Using Satellite Vegetation Indices. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 20, p. 2384-2406, 15 out. 2019. DOI. 10.3390/rs11202384.
- ALLEN, R., TASUMI, M., TREZZA, R. **Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and User's Manual – Idaho Implementation, version 1.0**, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862010000300010. Acesso em: 21 de março de 2021.
- ALMEIDA, C.L., CARVALHO, T.R.ADE, ARAÚJO, J.C. Leaf area index of Caatinga biome and its relationship with hydrological and spectral variables. **Agric. For. Meteorol.** V.279, p.107705. DOI.10.1016/j.agrformet.2019.107705. 2019.
- ALMEIDA-FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, vol. 79, n. 1, p. 42–50, 2002. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00237-1.
- ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; GLOOR, M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SAATCHI, S. S.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.;

DUARTE, V. Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought. **Global Biogeochemical Cycles**, vol. 29, n. 10, p. 1739–1753, 2015. DOI: 10.1002/2014GB005008.

AREKHI, M.; GOKSEL, C.; SANLI, F. B.; SENEL, G. Comparative Evaluation of the Spectral and Spatial Consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI Data for Igneada Longos Forest. **ISPRS International Journal Of Geo-information**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 56-73, 28 Jan 2019. DOI. 10.3390/ijgi8020056.

AWANGE, J. L., MPELASOKA, F., GONCALVES, R. M. When every drop count: Analysis of Droughts in Brazil for the 1901-2013 period. **Science of The Total Environment**, v. 566, p. 1472-1488. 2016.

BAKAR, S.B.A. – PRADHAN, B. – LAY, U.S., ABDULLAHI, S. (2016): Spatial assessment of land surface temperature and land use/land cover in Langkawi Island. In: 8th IGRSM International Conference and Exhibition on Remote Sensing & GIS (IGRSM 2016) IOP Publishing IOP. **Anais... Conf. Series: Earth and Environmental Science**. v.37, p.012064. 2016. DOI.10.1088/1755-1315/37/1/012064

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J.G.. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 148, p. 235-252, Feb 2019. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014.

BARBOSA, H.A.; BARBOSA, A.R. HUETE, W.E. Baethgen A 20-year study of NDVI variability over the Northeast region of Brazil. **J. Arid Environ.**, [s.l.], v. 67, p. 288-307, 2006.

BASTIAANSEN W.G.M; MENENTI M.; FEDDES R.A.; HOLTSAG A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. formulation. **J Hydrol.**, [s.l.], v.212–213, p.198–212.1998.

BATISTA, J. F.; FRANCEZ, B.M.L.; ELISIANE ALBA, E.; SCHUH, S.M.; FAVARIN, S.A.J.; SILVA, O.J.; HOFIÇO, S.N.; PEREIRA, S. R.;SEBEM, E. Comportamento Espectral de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke Barneby) em Plantios com Diferentes Idades. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Rio de Janeiro, Vol. 41, n.3, p. 82-95, Sep 2018. DOI. 10.11137/2018_3_82_95.

BECK, P.S.A., ATZBERGER, C., HOGDA, K.A., JOHANSEN, B., SKIDMORE, A.K. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI. **Remote Sensing Environ**, [s.l.], V. 100, n.3, p.321–334, Feb 2006. DOI. 10.1016/j.rse.2005.10.021.

BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. p.177-241.

BISPO P. C.; VALERIANO, M. M.; DUPLICI, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v.14, n.5, p.523-530, May 2010. DOI. 10.1590/S1415-43662010000500010

BONACCORSO, B., BORDI, I., CANCELLIERE, A. Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily. **Water Resources Management**, [s.l.], V.17, p.273–296. 2003. DOI. 10.1023/A:1024716530289

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. **Institui o Novo Código Florestal Brasileiro**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 227, 18 Oct 2012. Seção 1, p. 1. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm. Acesso em: 21 de março de 2021.

BURDON, F. J.; RAMBERG, E.; SARGAC, J.; FORIO, M. A. E.; SAEYER, N.; MUTINOVA, P. T.; MOE, T. F.; PAVELESCU, M. O.; DINU, V.; CAZACU, C. Assessing the Benefits of Forested Riparian Zones: a qualitative index of riparian integrity is positively associated with ecological status in european streams. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 1178-1186, abr. 2020. DOI.10.3390/w12041178.

BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V., SWAROWSKY, A., D'AVILA, R. F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.

CANDIAGO, S.; REMONDINO, F.; DE GIGLIO, MICHAELA; DUBBINI, M.; GATTELLI, M. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 7, n.4, p. 4026-4047, Apr 2015. DOI. 10.3390/rs70404026

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Analysis and assessment of the spatial and temporal distribution of burned areas in the amazon forest. **Remote Sensing**, [S.L.], vol. 6, n. 9, p. 8002–8025, 2014. DOI. 10.3390/rs6098002.

CARMO, M. V. N. S.; LIMA, C. H. R. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do índice SPI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 233-242, jun. 2020. DOI. 10.1590/0102-7786352016.

CASTRO TEIXEIRA, A.H.; LEIVAS, J.F.; HERNANDEZ, T.B.F.; FRANCO, M.A.R. Balanços de radiação e energia em larga escala com imagens Landsat 8 e dados agrometeorológicos no semiárido brasileiro **J. Appl. Remote Sens.**, [s.l.], v.11, n.1. 2017.

CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FFOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.2, p.204-213, Jun 2008. ISSN. 0100-316X.

CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA; BRANDAO, Z.N.; CHAVES, L. H. G. **Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB**. Embrapa Algodão. Relatório Técnico. 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes>. Acesso em: 06 março 2020.

CHAVEZ JR., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v.24, n.3, p. 459-479, Apr 1988. DOI. 10.1016/0034-4257(88)90019-3.

CLAVERIE, M., MASEK, J.G., JU, J., DUNGAN, J.L., **Harmonized Landsat-8 Sentinel-2 (HLS) Product User's Guide. National Aeronautics and Space Administration (NASA).** Washington. Disponível em: https://hls.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2017/08/HLS.v1.3.UserGuide_v2.pdf. Acesso em: 11 Jul 2020.

CHEN, F.; CHEN, X.; VOORDE, T.; ROBERTS, D.; JIANG, H.; XU, W. Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 242, p. 111706-111730, jun. 2020. DOI.10.1016/j.rse.2020.111706.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Serra Talhada.** Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/peernambuco/serra-talhada-42488/>. Acesso em: Setembro, 2019. RELATÓRIO TÉCNICO.

CLINTON, BD Respostas da água do córrego à colheita de madeira: Eficácia da largura do tampão ribeirinho. **Para. Ecol. Manag.** [s.l.], v. 261, p. 979–988. 2011.

COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 104-117, 2011. DOI. 10.4136/1980-993X.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: principles and practices.** 2 ed. New York, CRC Press. 2008.

CRESPO-MENDES, N.; LAURENT, A.; HENRIKBRUUNB, H.; HAUSCHILDA, Z. M. Relationships between plant species richness and soil pH at the level of biome and ecoregion in Brazil. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 98, n.0, p. 266–275, Mar 2019. DOI. 10.1016/j.ecolind.2018.11.004.

CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: Evidence from the Brazilian Caatinga. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 238, p. 111250-111263, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111250.

CUNLIFFE, A. M.; ASSMANN, J. J.; DASKALOVA, G. N.; KERBY, J. T.; MYERS-SMITH, I. H. Aboveground biomass corresponds strongly with drone-derived canopy height but weakly with greenness (NDVI) in a shrub tundra landscape. **Environmental Research Letters**, [s.l.], v. 15, n. 12, p. 125004-125015, dez. 2020. DOI.10.1088/1748-9326/aba470.

CUNHA, A., ALVALÁ, R., NOBRE, C., CARVALHO, M., 2015. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agric. For. Meteorol.**, [S.L.], v.214-215, p.494–505. DOI. 10.1016/j.agrformet.2015.09.010.

DEGERICKX, J., ROBERTS, D.A., SOMERS, B. Enhancing the performance of Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (MESMA) for urban land cover mapping using airborne lidar data and band selection. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v.221, p.260-273. 2019. DOI.10.1016/j.rse.2018.11.026

DOMINGOS, S. I. S. **Análise do índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index**

(PDSI). Tese de licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, julho de 2006.

DRUSCH, M.; BELLO, U. del; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services.: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing Of Environment*, [s.l.], v. 120, p. 25-36, May 2012. DOI. 10.1016/j.rse.2011.11.026.

ENDO, C. K.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M. CONSISTÊNCIA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA REGIÃO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ. *Revista Varia Scientia, Paraná*, v. 7, n. 13, p.95-100, Jan/Jul 2007.

EUROPEAN SPATIAL AGENCY (ESA). **Copernicus: Sentinel-2 — The Optical Imaging Mission for Land Services**. 2020. Disponível em: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2#sensors>. Acesso em: 22 mai. 2020.

FEYISA, G. L.; MEILBY, H.; FENSHOLT, R.; PROUD, S. R. Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water mapping using landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 140, p. 23-35, jan. 2014. DOI. 10.1016/j.rse.2013.08.029.

FERREIRA, N. C. F.; MELLO DUARTE, J. R.; OLIVEIRA, L. A. B.; SILVA, E. C.; CARVALHO, I. A. “O PAPEL DAS MATAS CILIARES NA CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA”. **Biodiversidade**. [s.l.], v. 18, n.3, p.171-179. 2019

FERREIRA, G. L.; FERREIRA, C. N.; FERREIRA, E. M. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Goiás, v. 30, n.4 p. 379-390, Nov 2008. DOI. 10.4025/actascibiolsci.v30i4.5868.

FOODY, G. M. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 239, n.1, p. 11- 11, 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111630

FRANCISCO, P. R. M. **Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB**. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

FRANÇA, A.M.L.; DIAZ, F.C.C; DOS REIS, V.J.; COSTA, O.S.V.; GALVINCIO, D.J.; Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v.12, n.6, p.2377-2391. 2019.

FREIRES, E. V.; SILVA, C. Â.; CUNHA, D. S. R.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M.. Comparison of OLI/ Landsat 8 and MSI/Sentinel-2 Images in Cover and Land Use Mapping in the Uruburetama Massif, Ceará. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [s.l.], v. 42, n. 4, p. 427-442, 12 Dec 2019. DOI. 10.11137/2019_4_427_442.

FU-MIN, W.; JING-FENG, H.; YAN-LIN, T.; XIU-ZHEN, W. New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. **Rice Science**, [s.l.], v.14, n.3, Sep 2007. DOI. 10.1016/S1672- 6308(07)60027-4.

FU, P., WENG, Q. Consistent land surface temperature data generation from irregularly spaced Landsat imagery. **Remote Sensing Environment**, [s.l.], v.184, p.175–187. Oct 2016. DOI. 10.1016/j.rse.2016.06.019.

GALVÍNCIO, J.D., MOURA, M.S.B., SILVA, T.G., SILVA, B.B., NAUE, C.R., LAI improved to dry forest in Semiarid of Brazil. **Int. J. Remote Sens.**, [s.l.], v.3, p.193-215. 2013. DOI.10.14355/ijrsa.2013.0304.04.

GHOLIZADEH, A.; ŽIŽALAA, D.; SABERIOON, M.; BORŏVKA, L. Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 218, p. 89-103, Dec 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.09.015.

GHULAM, A.; QUIN, Q.; ZHAN, Z. Designing of the perpendicular drought index. **Environmental Geology**., [s.l.], v. 52, n.6, p.1045-1052. May 2007. DOI. 10.1007/s00254-006-0544-2.

GIBSON, R.; DANAHER, T.; HEHIR, W.; COLLINS, L. A remote sensing approach to mapping fire severity in south-eastern Australia using sentinel 2 and random forest. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 240, p. 111702-111714, Apr 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2020.111702.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v.58, n.3, p.289-298, Dec 1996. DOI. 10.1016/S0034-4257(96)00072-7.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. J. H.; SOUSA, F. A. S. Análise espacial de eventos de secas com base no índice padronizado de precipitação e análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [s.l.], n. 23, p. 55 – 65. 2012.

GUIMARÃES, A. P. **Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.

HELMAN, D.; BAHAT, I.; NETZER, Y.; BEN-GAL, A.; ALCHANATIS, V.; PEETERS, A.; COHEN, Y. Using Time Series of High-Resolution Planet Satellite Images to Monitor Grapevine Stem Water Potential in Commercial Vineyards. **Remote Sensing**, [s.l.], v.10, n.10, p.1010-1615, Oct 2018. DOI. 10.3390/rs10101615.

HÉNAULT-ETHIER, L.; DUSSAULT, M.; CABRERA, P.; LEFEBVRE, B.; TAILLEFER, S.; DESCHAMPS, M.; VANDENBERG, G. **Les insectes au service de l'humain pour la gestion des résidus organiques**. Paris. **Vecteur Environnement**. Relatório técnico 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/_. Acesso em: 26 março 2020.

HUGHES, T.P.; KERRY, J.T.; ÁLVAREZ-NORIEGA, M.; ÁLVAREZ-ROMERO, J.G.; ANDERSON, K.D.; BAIRD, A.H.; BRIDGE, T.C. GLOBAL WARMING AND RECURRENT MASS BLEACHING OF CORALS. **NATURE**, [s.l.], V. 543, P. 373–377, 2017.

HUETE, A.R. A SOIL-ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI). **Remote sensing of**

environment, [s.l.], v. 25, p. 295-309. 1988.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environment**, [s.l.], v.25, n.3, p.295- 309, Aug 1988. DOI. 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing Environment**, [s.l.], v. 83, n.1-2, p.195–213, Nov 2002. DOI. 10.1016/S0034-4257(02)00096-2.

HUETE, A. R.; KAMEL, D.; SHIMABUKURO, Y. E.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, [s.l.], v. 33, N. 6405, p.1-4, Mar 2006. DOI. 10.1029/2005GL025583.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Recursos Hídricos e Reservatórios – Mapa do Reservatório de Serrinha II**. São José dos Campos, 2020. Disponível em: http://geopro.crn.inpe.br/RH_reser_PE_serrinhaII.htm . Acesso em: 10 May. 2020.

IPPC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR5 Mudanças Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/full-report-global-aspects/>. Acesso em: 21 de março de 2021.

JACQUES, D. C.; KERGOAT, L.; HIERNAUX, P.; MOUGIN, E.; DEFOURNY, P. Monitoring dry vegetation masses in semi-arid areas with MODIS SWIR bands. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 153, p. 40-49, out. 2014. DOI. 10.1016/j.rse.2014.07.027.

JARCHOW, J.C.; DIDAN, K.; BARRETO-MUÑOZ, A.; NAGLER, L. P.; GLENN, P.E.; Application and Comparison of the MODIS-Derived Enhanced Vegetation Index to VIIRS, Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI Platforms: A Case Study in the Arid Colorado River Delta, Mexico. **Sensors**, [s.l.], v.18, n.5, p.1546, May 2018. DOI. 10.3390/s18051546.

JENSEN, J.R. Sensoriamento Remoto do Ambiente – **Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

Jl, M.; LIU, L.; BUCHROITHNER, M. Identifying Collapsed Buildings Using Post-Earthquake Satellite Imagery and Convolutional Neural Networks: A Case Study of the 2010 Haiti Earthquake. **Remote Sensing**, [s.l.], v.10, 11, p.1-20, Oct 2018. DOI. 10.3390/rs10111689.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; CUNHA, C. Nunes da; MALTCHIK, L.. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 5-22, 15 ago. 2013. DOI.10.1002/aqc.2386.

KIMM, H.; GUAN, K.; JIANG, C.; PENG, B.; GENTRY, L. F.; WILKIN, SCOTT C.; WANG, S.; CAI, Y.; BERNACCHI, C. J.; PENG, JIAN. Deriving high-spatiotemporal-

resolution leaf area index for agroecosystems in the U.S. Corn Belt using Planet Labs CubeSat and STAIR fusion data. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 239, p. 111615-111627, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111615.

KOZLOWSKI, T. T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. **Wetlands**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 550-561, set. 2002. DOI. 10.1672/0277-5212(2002)022[0550: peiofo]2.0.co;2.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 159-174, Mar 1977. DOI. 10.2307/2529310.

LIMA, A.; SILVA, T. S. F.; ARAGÃO, L. E. O. C. FEITAS, R. M.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. **Applied Geography**, [s.l.], vol. 34, p. 239–246, 2012. DOI: 10.1016/j.apgeog.2011.10.013.

LIU, W.; HUANG, J.; WEI, C.; WANG, X.; MANSARAY, L. R.; HAN, J.; ZHANG, D.; CHEN, Y. Mapping water-logging damage on winter wheat at parcel level using high spatial resolution satellite data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 142, p. 243-256, Aug 2018. Elsevier BV. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2018.05.024.

LIU, W.; LU, L.; YE, C.; LIU, Y. Relating urban surface temperature to surface characteristics in Beijing area of China. Mippr 2009: **Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications**, [s.l.], p. 214-232, 30 out. 2009. DOI.10.1117/12.833679.

LIU, L.; XIAO, X.; QIN, Y.; WANG, J.; XU, X.; HU, Y.; QIAO, Z. Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 239, p. 111624-111636, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111624.

LOPES, I.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. de. Performance of Conservation Techniques for Semiarid Environments: field observations with Caatinga, mulch, and cactus forage Palma. **Water**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 792-800, abr. 2019. DOI.10.3390/w11040792.

LORANTY, M. M.; DAVYDOV, P.S.; HEATHER KROPP, H.; ALEXANDER, D. H.; MACK, C. M.; NATALI, M.S.; NIKITA, Z. S. Vegetation Indices Do Not Capture Forest Cover Variation in Upland Siberian Larch Forests. **Remote Sensing**, [s.l.], V.10, n.0, p.1686, Oct 2018. DOI. 10.3390/rs10111686.

LUIZ, P. G.; MARTINS, R. P.; COUTO JUNIOR, F. A. variação interanual da cobertura da terra de uma ottobacia no médio curso do Rio Araguaia. In: Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 19, 2019, Santos. **Anais...** São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019, p. 1426-1429.

MACINTYRE, P.; NIEKERK, V. A.; MUCINA, L; Efficacy of multi-season Sentinel-2 imagery for compositional vegetation classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Gangtok, V. 85, n.1, p. 0303-2434, Marc 2020. DOI. 10.1016/j.jag.2019.101980.

MAYES, M. T.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J. M. Forest cover change in Miombo Woodlands: modeling land cover of african dry tropical forests with linear spectral mixture analysis. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 165, p. 203-215, ago. 2015. DOI.10.1016/j.rse.2015.05.006.

MARIANO, D.A.; SANTOS, C.A.C. dos; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 213, p. 129-143, ago. 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.04.048.

MARIANO, D. A.; DOS SANTOS, C. A. C.; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A.V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M. D.. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 213, p. 129-143, Aug 2018. DOI. 10.1016/j.rse.2018.04.048.

MARTINS D.S., RAZIEI T, PAULO A.A., PEREIRA L.S. Spatial and temporal variability of precipitation and drought in Portugal. **Nat Hazards Earth Syst Sci.** [s.l.], v.12, p.1493–1150. 2012.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to times scale. In: Conference on Applied Climatology, 8.,1993, Boston. **Anais...** American Meteorological Society. Boston: Preprints, 1993. p.179-184.

MELAAS, E.K., FRIEDL, M.A., ZHU, Z. Detecting interannual variation in deciduous broadleaf forest, phenology using Landsat TM/ETM+ data. **Remote Sensing Environment**, [s.l.], v.132, p.176–185. May 2013. DOI. 10.1016/j.rse.2013.01.011.

MELO, B. D. M.; MIRANDA, S. R.P.; GONÇALVES, S.T.; DE ASSIS, L. A.; CHRISTIAN DIAS CABACINHA, D.C.; MARCATTI, E. G.; CASTRO, O.V.R.; ARAUJO JUNIOR, A.C. Análise temporal do NDVI como ferramenta para o planejamento do ecoturismo na APA do Rio Pandeiros, norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências agrárias**, Minas Gerais, v.11, n.0, p.01-08, Sep 2019. ISSN. 2447-6218.

MERCIER, A.; BETBEDER, J.; BAUDRY, J.; LE ROUX, V.; SPICHER, F.; LACOUX, J.; ROGER, D.; HUBERT-MOY, L. Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 163, p. 231- 256, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.009.

MERRICK, T.; PAU, S.; JORGE, P. S. L. M.; SILVA, F.S.T.; BENNARTZ, R. Spatiotemporal Patterns and Phenology of Tropical Vegetation Solar-Induced Chlorophyll Fluorescence across Brazilian Biomes Using Satellite Observations. **Remote Sensing**, [s.l.], v.11, n.1746, p.1-26, Jul 2019. DOI. 10.3390/rs11151746.

MEYER, Lorenz Hans; HEURICH, Marco; BEUDERT, Burkhard; PREMIER, Joseph; PFLUGMACHER, Dirk. Comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 Data for Estimation of Leaf Area Index in Temperate Forests. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 1160-1176, May 2019. DOI. 10.3390/rs11101160.

MONDAL, P.; MCDERMID, S. S.; QADIR, A. A reporting framework for Sustainable Development Goal 15: multi-scale monitoring of forest degradation using modis, landsat and sentinel data.: Multi-scale monitoring of forest degradation using MODIS, Landsat and Sentinel data. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 237, p. 111592-111606, Feb 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111592.

MORO M.F., LUGHADHA E.N., ARAUJO F.S.; MARTINS F.R. A Phytogeographical metaanalysis of the semi-arid caatinga domain in Brazil. **The botanical review**, [s.l.], V. 82, N. 2, P. 91-148, 2016.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta, PE – Brasil, utilizando o NDVI. In: Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019, p. 2128-2134.

MYNENI, R.B; HOFFMAN, S; KNYAZIKHIN, Y; PRIVETTE, J.L; GLASSY, J; TIAN, Y; WANG, Y; SONG, X; ZHANG, Y; SMITH, G.R. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 83, n. 1-2, p. 214-231, Nov 2002. DOI. 10.1016/s0034-4257(02)00074-3.

NAVARRO, G.; ISABEL CABALLERO, I.; SILVA, G.; PEDRO-CECILIO PARRA, P.; VÁZQUEZD, A.; CALDEIRA, R. Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 58, p. 97–106, Jun 2017. DOI. 10.1016/j.jag.2017.02.003.

NORRIS, J. R.; WALKER, J. J.. Solar and sensor geometry, not vegetation response, drive satellite NDVI phenology in widespread ecosystems of the western United States. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 249, p. 112013-112020, nov. 2020. DOI.10.1016/j.rse.2020.112013.

PALOSCHI, R. A.; RAMOS, D. M.; VENTURA, D. J.; SOUZA, R.; SOUZA, E.; MORELLATO, L. P. C.; NÓBREGA, R. L. B.; COUTINHO, Í. A. C.; VERHOEF, A.; KÖRTING, T. S. Environmental Drivers of Water Use for Caatinga Woody Plant Species: combining remote sensing phenology and sap flow measurements. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 75-85, dez. 2020. DOI: 10.3390/rs13010075.

PASTOR-GUZMAN, J.; DASH, J.; ATKINSON, P. M. Remote sensing of mangrove forest phenology and its environmental drivers. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 205, p. 71-84, Feb 2018. Elsevier BV. DOI. 10.1016/j.rse.2017.11.009.

PAREDES-TREJO, F.; BARBOSA, A. H.; SPATAFORA, R. L. Assessment of SM2RAIN-Derived and State-of-the-Art Satellite Rainfall Products over Northeastern Brazil. **Remote Sensing**, [s.l.], v.10, n.1093, p. 1– 29, Jul 2018. DOI. 10.3390/rs10071093

PENHA, T. V.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; SILVA JÚNIOR, C. H. L.; PLETSCHE, M. A. J. S.; ANDERSON, L. O.; MORELLI, F. Detecção de Áreas Queimadas na Amazônia Brasileira usando Índices Espectrais e GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 2, p. 253-269, jun. 2020. DOI. 10.14393/rbcv72n2-48726

PE3D. **Pernambuco Tridimensional – Mapeamento do Estado de Pernambuco.**

Disponível em: <http://pe3d.pe.gov.br/>. Acesso em: 21 de março de 2021.

PEREIRA, M. P. S.; JUSTINO, F.; MALHADO, A. C. M.; BARBOSA, H.; MARENGO, J. The influence of oceanic basins on drought and ecosystem dynamics in Northeast Brazil.

Environmental Research Letters, [s.l.], v. 9, n. 12, p. 124013-124020, Dec 2014. DOI. 10.1088/1748-9326/9/12/124013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: INPE, 2007. 127 p.

PRUDNIKOVA, E.; SAVIN, I.; VINDEKER, G.; GRUBINA, P.; SHISHKONAKOVA, E.; SHARYCHEV, D. Influence of Soil Background on Spectral Reflectance of Winter Wheat Crop Canopy. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 16, p. 1932-1945, 19 ago. 2019. DOI.10.3390/rs11161932.

PETTORELLI, N.; VIK, O.J.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.M.; TUCKER, J.C.; STEN, C.N.; Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends Ecol Evol**. [s.l.], v. 20, n. 9, p.503-10. Sep 2005. DOI: 10.1016/j.tree.2005.05.011.

QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE, A.R.; KERR, Y.H.; SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 48, n. 2, p. 119-126, May 1994. DOI. 10.1016/0034-4257(94)90134-1.

RAMBO, L.; MA, B. L.; XIONG, Y.; SILVIA, P. R. F. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N- status indicators for field nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v. 173, n.3, p. 434-443, Jun 2010. DOI. 10.1002/jpln.200900022.

ROCHA, A. K. P.; BARROS JUNIOR, G. Condições operacionais de barragens destinadas ao armazenamento de água no Vale do Rio Pajeú, Brasil. **Research, Society And Development**, [s.l.], v. 9, n. 10, p. 156-170, out. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8829.

ROUSE JR., J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D. W. Monitoramento de sistemas de vegetação nas Grandes Planícies com ERTS SC Freden, EP Mercanti, M. Becker (Eds.), **Anais...** In: Simpósio do Third Earth Resources Technology Satellite-1, apresentações técnicas, seção A , vol. I , National Aeronautics and Space Administration , Washington, DC (1973) , pp. 309 – 317 NASA SP-351.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; CAMPOS, T. L. O. B.; SANTOS, A. P. P. Frequências dos Eventos Extremos de Seca e Chuva na Amazônia Utilizando Diferentes Bancos de Dados de Precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, p.468-478, 2017.

SANTOS, E. P.; JESUS, T. B.; CARNEIRO, A. S. R.; SANTOS, R. L.; SANTOS, R. A. Images and Spectroradiometry Applied to Degraded Grassland Study. Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj, [s.l.], v. 41, n. 2, p. 141-151, 20 ago. 2018. **Instituto de Geociências - UFRJ**. DOI.10.11137/2018_2_141_151.

SHAO, Z.; CAI, J.; FU, P.; HU, L.; LIU, T. Deep learning-based fusion of Landsat-8 and Sentinel-2 images for a harmonized surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 235, p.111425- 111442, Sept 2019. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111425.

SHIMABUKURO, Y. E.; MIETTINEN, J.; BEUCHLE, RENE; GRECCHI, R. C.; SIMONETTI, D.; ACHARD, F. Estimating burned area in Mato Grosso, Brazil, using an object-based classification method on a systematic sample of medium resolution satellite images. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [s.l.], vol. 8, n.9, p. 4502–4508, 2015.DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2464097.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. 2019. **Spectral Mixture for Remote Sensing: Linear Model and Applications**. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. São Paulo: Oficina de Textos. 77 p.

SKAKUN, S., KUSSUL, N., SHELESTOV, A., KUSSUL, O., Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: a case study in Namibia. **Risk Anal.**, [s.l.], v. 3, n.8, p.1521–1537. Aug 2014. DOI. 10.1111/risa.12156.

SILVA, M. T.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. K. N.; MARIANO, E. B.; AMORIM, M. R. B. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio Rio São Francisco. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 2, p. 203 – 211, Jun 2017. DOI. 10.24221/jeap.2.3.2017.1430.203-211.

SILVA, L. G.; GALVINCIO, J. D.; Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**. [s.l.], v.06, p.1446-1456. 2012.

SILVA JUNIOR, U. J. DA; GONÇALVES, R. M.; OLIVEIRA, L. M. M. DE; SILVA JÚNIOR, J. A. DA. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 17-35, 19 fev. 2021.

SILVA JUNIOR, J. A. ; PACHECO, A. P.. Análise do Modelo Linear de Mistura Espectral na Avaliação de Incêndios Florestais no Parque Nacional do Araguaia, Tocantins, Brasil: imagens eo-1/hyperion e landsat-7/etm+. Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj, [s.l.], v. 43, n. 4, p. 320-335, dez. 2020. **Instituto de Geociências - UFRJ**. DOI. 10.11137/2020_4_440_450

SILVA, B.; MONTENEGRO S.M.G.L.; SILVA, F.B.D.; ARAÚJO FILHO, P.F.D.A. Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 17, n. 3, p. 135-147, 2012. DOI.10.21168/rbrh. v17n3.p135-147.

SILVEIRA H.L.F.; GALVÃO L.S.; SANCHES I.D.; SÁ, I.B.; TAURA T.A. Use of MSI/Sentinel-2 and airborne LiDAR data for mapping vegetation and studying there lation ships with soil attributes in the Brazilian semi-arid region. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p.179–190. 2018. DOI. 10.1016/j.jag.2018.06.016

SMALL, C.; MILESI, C. Multi-scale standardized spectral mixture models. **Remote Sensing**

of Environment, [s.l.], v. 136, p. 442-454, set. 2013. DOI. 10.1016/j.rse.2013.05.024.

Soil-Survey-Staff. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification of Making and Interpreting Soil Surveys; USDA**. Agriculture Handbook, 436; Natural Resources Conservation Service: Washington, DC, USA, 1999; p. 869.

SOUZA, A. G. S. S.; RIBEIRO NETO, A.; SOUZA, L. L. Soil moisture-based index for agricultural drought assessment: smadi application in pernambuco state-brazil. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 252, p. 112124-112135, jan. 2021. DOI.10.1016/j.rse.2020.112124.

SPINONI, J.; VOGT, V.J.; NAUMANN, G.; BARBOSA, P.; DOSIO, A. Will drought events become more frequent and severe in Europe? **Int. J. Climatol.**, [s.l.]. 2017. DOI: 10.1002/joc.5291

SURASINGHE, T.; KARIYAWASAM, R.; SUDASINGHE, H.; KARUNARATHNA, S. Challenges in Biodiversity Conservation in a Highly Modified Tropical River Basin in Sri Lanka. **Water**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 26-44, 19 dez. 2019. DOI. 10.3390/w12010026.

SZABÓ, S.; GÁCSI, Z.; BALÁZS, B. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. **Landscape & Environment**, [s.l.], v. 10, n. 3-4, p. 194-202, 15 set. 2016. DOI.10.21120/le/10/3-4/13.

TÁVORA, B. E.; KOIDE, S. Event-Based Rainfall Interception Modeling in a Cerrado Riparian Forest—Central Brazil: an alternative approach to the is method for parameterization of the gash model. **Water**, [s.l.], v. 12, n. 8, p. 2128-2145, 27 jul. 2020. DOI.10.3390/w12082128.

TESTA, S.; SOUDANI, K.; BOSCHETTI, L.; MONDINO, B. E. MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [s.l.], v. 64, n.1 p.132-144, Aug 2018. DOI.10.1016/j.jag.2017.08.006.

TONG, A.; HE, Y. Estimating and mapping chlorophyll content for a heterogeneous grassland: comparing prediction power of a suite of vegetation indices across scales between years. **ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, [s.l.], v. 126, p. 146-167, Apr 2017. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2017.02.010. 16/j.jag.2017.08.006

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.8, pp. 127-150, 1979.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **The Earth Explore**. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 5 mai. 2020.

VALERA, C.A.; PISSARRA, T.C.T.; FILHO, M.V.M.; VALLE JÚNIOR, R.F.; OLIVEIRA, C.F.; MOURA, J.P.; SANCHES FERNANDES, L.F.; PACHECO, F.A.L. The Buffer Capacity of Riparian Vegetation to Control Water Quality in Anthropogenic Catchments from a Legally Protected Area: A Critical View over the Brazilian New Forest Code. **Water**, [s.l.], v. 11, n. 3, p.549-565, Mar 2019. DOI. 10.3390/w11030549.

WALLACE, C.; MCCARTY, G.; LEE, S.; BROOKS, R.; VEITH, T.; KLEINMAN, P.; SADEGHI, A. Evaluating Concentrated Flowpaths in Riparian Forest Buffer Contributing Areas Using LiDAR Imagery and Topographic Metrics. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 614-620, 17 abr. 2018. DOI.10.3390/rs10040614.

WARDLOW, B.D.; EGBERT, S.L. A comparison of MODIS 250-m EVI and NDVI data for crop mapping: A case study for southwest Kansas. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v.31, n.3, p.805– 830, Feb 2010. DOI. 10.1080/01431160902897858.

WESTINGA, E.; BELTRAN, A. P. R.; BIE, C.A.J.M.; VAN GILS, H. A.M.J.. A novel approach to optimize hierarchical vegetation mapping from hyper-temporal NDVI imagery, demonstrated at national level for Namibia. **International Journal of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [s.l.], v. 91, p. 102152-102164, set. 2020.

WHITE, J.C., WULDER, M.A., HERMOSILLA, T., COOPS, N.C., HOBART, G.W. A nationwide annual characterization of 25 years of forest disturbance and recovery for Canada using Landsat time series. **Remote Sensing Environment**, [s.l.], v.194, p.303–321. Jun 2017. DOI. 10.1016/j.rse.2017.03.035.

YANG, S.; BAI, J.; ZHAO, C.; LOU, H.; ZHANG, C.; GUAN, Y.; ZHANG, Y.; WANG, Z.; YU, X. The assessment of the changes of biomass and riparian buffer width in the terminal reservoir under the impact of the South-to-North water diversion project in China. **Ecol. Indic.**, Coimbra, v. 85, n.1, p.932–943, Feb 2018. DOI. 10.1016/j.ecolind.2017.11.011.

XU, R.; LIU, J.; XU, J. Extração de superfícies impermeáveis urbanas de alta precisão a partir de imagens multiespectrais Sentinel-2 via análise de mistura espectral linear modificada. **Sensors**. V. 8, n. 9, p. 2873. 2018.

ZHANG, J.; LI, S .; DONG, R .; JIANG, C .; NI, M. Influências das métricas de uso da terra em escalas multi-espaciais na qualidade sazonal da água: Um estudo de caso de sistemas fluviais na área do reservatório das Três Gargantas, China.J. Clean. Prod. 2019 , 206 , 76–85.

ZHAO, H.; HUANG, F.; QI, H. Generating High Resolution LAI Based on a Modified FSDAF Model. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 1, p. 150-165, 2 jan. 2020.DOI.10.3390/rs12010150.

ZARCO-TEJADA, P.J.; HORNERO, A.; BECK, P.s.A.; KATTENBORN, T.; KEMPENEERS, P.; HERNÁNDEZ-CLEMENTE, R. Chlorophyll content estimation in an open-canopy conifer forest with Sentinel-2A and hyperspectral imagery in the context of forest decline. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 223, p. 320-335, mar. 2019. DOI.10.1016/j.rse.2019.01.031.

ZHOU, F.; ZHONG, D. Kalman filter method for generating time-series synthetic Landsat images and their uncertainty from Landsat and MODIS observations. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 239, p. 111628-111653, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.rse.2019.111628.