

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL**

**ADAILTON DOMINGOS SALUSTIANO DA SILVA**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UM PLANTIO  
DE *EUCALYPTUS SPP.* UTILIZANDO IMAGENS DO SENTINEL-2A**

**RECIFE - PE**

**2022**

**ADAILTON DOMINGOS SALUSTIANO DA SILVA**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UM PLANTIO  
DE *EUCALYPTUS SPP.* UTILIZANDO IMAGENS DO SENTINEL-2A**

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

Orientador: Dr. Emanuel Araújo Silva

Coorientadora: Dra. Vânia Aparecida de Sá

**RECIFE - PE**

**2023**

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

---

S586a Silva, Adailton Domingos Salustiano

Análise das características dos índices de vegetação em um Plantio de Eucalyptus spp. utilizando imagens do Sentinel 2A / Adailton Domingos Salustiano Silva. - 2023.  
49 f. : il.

Orientador: Emanuel Araujo .

Coorientadora: Vania Aparecida  
de Sa. Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Florestal, Recife, 2023.

1. eucalyptus. 2. plantios. 3. floresta. 4. sensoriamento. I. , Emanuel Araujo, orient. II. Sa, Vania Aparecida de, coorient. III. Título

CDD 634.9

---

**ADAILTON DOMINGOS SALUSTIANO DA SILVA**

**ANÁLISE DAS CARATERÍSTICAS DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM UM PLANTIO  
DE EUCALYPTUS SPP. UTILIZANDO IMAGENS DO SENTINEL-2A**

Aprovado em: 14 de setembro de 2023

Banca Examinadora:

---

M.Sc Géssyca Fernanda de Sena Oliveira Mergulhão  
Departamento Ciências Florestais/ UFRPE

---

Doutoranda Sthéfany Carolina de Melo Nobre  
Departamento Ciências Florestais/ UFRPE

Orientador:

---

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva  
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

**RECIFE-PE**

**2023**

“A força da alienação vem dessa fragilidade dos indivíduos, quando apenas conseguem identificar o que os separa e não o que os une.”

Milton Santos

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a minha mãe, Sonia Domingos, que foi fundamental para minha permanência no curso apesar dos percalços apresentados no decorrer do meu avanço no Curso. Ela também foi um dos pilares principais, que do seu modo sempre incentivou os estudos, para que eu pudesse me destacar e ter boas oportunidades para meu contexto socioeconômico e trabalhou arduamente para me auxiliar financeiramente e emocionalmente. Sou grato também a meu pai Ademar Salustiano que na medida do possível auxiliou também na minha estadia na graduação, financeiramente e emocionalmente.

Demonstro meus agradecimentos também a meu irmão Adeilton Domingos, que foi a peça fundamental na construção da ideia de que a graduação seria algo possível para mim e como quebrar vertentes contrárias, pregadas por outras pessoas que diziam que não era possível.

Sou muito grato ao Dr. Emanuel Araújo, no papel de orientação me auxiliou na construção da ideia deste projeto me apresentado literaturas para basear a construção da metodologia, tirando dúvidas pertinentes e o mais importante me apresentando o sensoriamento remoto de forma simples e de fácil entendimento, que estimulou meu interesse em aprofundar nesta temática.

Terço meus agradecimentos a Marcio Faustino que é um grande amigo, que me ajudou de diversas formas, desde questões atreladas a construção do trabalho em questão, a questões que sobressaiam os limites acadêmicos.

Agradeço ao Programa Educação Tutorial do curso de Engenharia Florestal da UFRPE por me proporcionar ferramentas para amadurecer habilidades já existentes e desenvolver novas, dentre essas destaco a capacidade de trabalhar em equipe, o aprimoramento da oratória somada à melhora na apresentação de trabalho seja de forma escrita ou em slides.

Agradeço a UFRPE que me possibilitou várias experiências que contribuíram para minha construção como profissional e pesquisador.

De modo geral, estou grato a todos que contribuíram no processo de avanço no curso.

## Resumo

A tendência de crescimento apresentada pelo Setor Florestal no Brasil ocorre em parte acompanhada com uso de geotecnologias como o sensoriamento remoto, que contribui e otimiza a obtenção de dados de uma floresta. Diante deste cenário, o gênero *Eucalyptus* possui um maior destaque devido ao grau avançado de estudos desenvolvidos com as espécies do gênero no território nacional sobre seu uso na obtenção de diversos produtos. O Sensoriamento Remoto é aplicado por meio do uso de imagens de sensores orbitais para medir a radiação eletromagnética – REM, refletida de um alvo. Dessa forma, o presente trabalho visa analisar as características espectrais e a dinâmica dos índices de um plantio de eucalipto por meio de imagens de média resolução, oriundas do satélite *Sentinel 2A*. O plantio é composto por híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (*E. urograndis*), especificamente os clones TP361, VCC865, I144 e VE41, implantado no ano de 2017, nas dependências do Centro de Ciências Agrárias – CECA, da UFAL, localizado no município de Rio Largo em Alagoas. As imagens usadas possuem resolução de 10 m e 20 m, que contempla as bandas B02 a B11. Posteriormente, foram processadas pelo software gratuito *Google Earth Engine* e os dados de precipitação obtidos no portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Os índices utilizados no estudo foram o ARVI, DVI, GNDVI, MVI, NDVI, SR, SAVI e EVI2 para construção de série temporal de 2017 a 2022, e, a partir disso, foram obtidos os valores médios anuais dos índices, e os valores médios anuais de precipitação a fim de correlacioná-los e obter o valor do coeficiente de Pearson para cada índice. O teste para verificação de normalidade de Shapiro-Wilk e a verificação de *outliers* foram realizados no software R. As séries temporais demonstraram, para os índices de vegetação, comportamento constante de 2019 em diante, no contexto dos valores máximos anuais que foram próximos entre si, ou seja, para o intervalo de 2019 a 2022, o valor máximo de cada ano é próximo ao valor máximo geral, com exceção do SR que somente nos anos de 2019 e 2020 atingiu valores máximos aproximados. Nesse contexto, o SR também apresentou o maior coeficiente de variação dentre todos, porém no geral não houve diferença discrepante nos valores do coeficiente de variação para os índices. Os índices ARVI, DVI, GNDVI, NDVI, SAVI e EVI 2 obtiveram correlação forte enquanto o MVI teve correlação fraca e o SR correlação moderada. Isso demonstra que o Sentinel 2A é eficaz para a obtenção da dinâmica dos índices de vegetação e que a forte correlação dos índices ARVI, DVI, GNDVI, NDVI, SAVI e EVI2 foi claramente influenciada pela precipitação, posto que se configurou imprescindível nos valores encontrados.

**Palavras chaves:** *Eucalyptus*, plantios, floresta, sensoriamento.

## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
2.1. Objetivos Específicos.....	14
<b>3. Revisão de Literatura .....</b>	<b>14</b>
3.1. Gênero <i>Eucalyptus</i> .....	14
3.2. Sensoriamento Remoto no Contexto Florestal.....	15
3.3. Índices de vegetação .....	16
3.3.1. <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> - NDVI.....	16
3.3.2. <i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i> - GNDVI.....	17
3.3.3. <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> - SAVI.....	17
3.3.4. <i>Atmospherically resistant vegetation index</i> - ARVI .....	18
3.3.5. <i>Moisture Vegetation Index</i> - MVI.....	19
3.3.6. <i>Enhanced vegetation index 2</i> - EVI2.....	19
3.3.7. <i>Difference Vegetation Index</i> - DVI .....	20
3.3.8. <i>Simple Ratio</i> - SR.....	21
3.4. <i>Google Earth Engine</i> - GEE .....	21
3.5. Coeficiente de Pearson.....	22
<b>4. Materiais e Métodos .....</b>	<b>23</b>
4.1. Local de estudo .....	23
4.2. Materiais.....	25
4.2.1. Imagens Orbitais, Dados de precipitação e Software de análise.....	25
4.3. Métodos.....	25
4.3.1. Processamento da coleção de imagens.....	25
4.3.2. Correção radiométrica e os Índices de vegetação .....	26
<b>5. Resultados e Discussões .....</b>	<b>27</b>
5.1. Séries Temporais dos índices de vegetação.....	27
5.2. Análise estatística dos dados espectrais .....	35
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>39</b>
<b>7. Recomendações para Trabalhos Futuros.....</b>	<b>40</b>
<b>Referências .....</b>	<b>41</b>



## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

API – *Application Programming Interface*

GEE – *Google Earth Engine*

ARVI – *Atmospherically resistant vegetation index*

DVI – *Difference vegetation index*

GNDVI – *Green Normalized difference vegetation index*

MVI – *Moisture vegetation index*

NDVI – *Normalized difference vegetation index*

SR – *Simple ratio vegetation index*

SAVI – *Soil adjusted vegetation index*

EVI 2 – *Enhanced vegetation index 2*

REM – Radiação eletromagnética

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da metodologia aplicada no estudo.....	23
Figura 2 – Mapa de Localização.....	25
Figura 3 – Série temporal (2017-2022) do ARVI.....	28
Figura 4 – Série temporal (2017-2022) do DVI.....	29
Figura 5 – Série temporal (2017-2022) do GNDVI.....	29
Figura 6 – Série temporal (2017-2022) do MVI.....	30
Figura 7 – Série temporal (2017-2022) do NDVI.....	31
Figura 8 – Série temporal (2017-2022) do SR.....	31
Figura 9 – Série temporal (2017-2022) do SAVI.....	32
Figura 10 – Série temporal (2017-2022) do EVI 2.....	33
Figura 11 – Mapas dos índices ARVI, DVI, GNDVI e MVI para o <i>E. urograndis</i> .....	33
Figura 12 – Mapas dos índices ARVI, DVI, GNDVI e MVI para o <i>E. urograndis</i> .....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson .....	22
Tabela 2 – Informações sobre a disposição do Plantio de <i>E. urograndis</i> .....	24
Tabela 3 – Dados referente ao Sentinel 2 com 10 m de resolução.....	25
Tabela 4 – Índices de Vegetação empregados no estudo.....	26
Tabela 5 – Estatística descritiva dos índices de vegetação obtidos com o Sentinel 2A para o Plantio .....	35
Tabela 6 – Resultados do teste de Shapiro – Wilk.....	36
Tabela 7 – Dados referente a análise de regressão.....	37

## 1. Introdução

O gênero *Eucalyptus* possui grande importância no contexto econômico brasileiro com um dos primeiros registros de plantios do gênero, ocorrendo no ano de 1868, no Rio Grande do Sul (Andrade, 1961). Esses movimentos iniciais de introdução do gênero foram extremamente importantes para o Brasil. Atualmente, os plantios de eucaliptos ocupam 7,53 milhões de hectares do território nacional, que equivale a 75,8% dos 9,93 milhões de hectares de toda área de floresta plantada do Brasil, de acordo com o relatório referente ao ano de 2021 (IBÁ, 2022).

O Setor de base florestal segue se destacando dentro do território nacional, esta tendência resulta da alta produtividade das florestas plantadas, em resposta às boas práticas de manejo aplicadas atualmente a esses plantios e um vasto acúmulo de conhecimentos de muitos anos de pesquisa, somado a isso temos o crescente uso de tecnologias, para otimizar atividades operacionais. Essa realidade está intimamente atrelada aos fundamentos do Inventário florestal, que é uma ferramenta útil para a compreensão de um povoamento florestal.

O Inventário florestal é caracterizado como um processo que faz uso de conceitos estatísticos de amostragem, com o fim de obter informações sobre coberturas florestais. (Scolforo; Mello, 2006). Em áreas de grandes extensões, esta atividade se torna onerosa devido a obtenção de dados dendrométricos em campo demanda mão-de-obra e tempo. Atualmente, parte do processo pode ser realizado via técnicas que incluem uso de geotecnologias, por meio do qual são obtidos parâmetros biofísicos remotamente, o que reduz custo e tempo na execução do inventário florestal.

O Sensoriamento remoto tem contribuição positivamente no Setor florestal, e vem expandindo seu uso em vegetação, atrelada aos fundamentos do geoprocessamento, por meio de imagens de sensores orbitais, analisando a Radiação eletromagnética - REM emitida ou refletida por alvos na superfície, com uso de algoritmos matemáticos e estatísticos (Jensen, 2009; Formaggio; Sanches, 2017). Os sensores atuantes no estudo da REM, podem ser classificados como passivos e ativos, com os primeiros sendo aqueles que detectam energias naturais emitida ou refletida por um objeto (Lobo; Ramalho; Sinotti, 2020). Nesse âmbito os sensores ativos, emitem a própria fonte de energia sobre os alvos, e o retorno da energia para o sensor e o que é estudado (Lobo; Ramalho; Sinotti, 2020).

A aquisição destas informações se torna possível graças às análises dos comportamentos das reflectâncias para cada alvo, nas regiões do espectro eletromagnético, tornando possível as estimativas dos parâmetros biofísicos, por meio de monitoramento vegetal (FORMAGGIO;

SANCHES, 2017). A refletância, e uma propriedade do alvo que é obtida por meios de artifício matemático, conhecido como fator de reflectância e nesse contexto o alvo terá um comportamento espectral (ou assinatura espectral), sendo assim cada alvo irá refletir ou absorver valores diferentes de energia (Moraes, E. C.; Fiorio. 2002).

Os parâmetros biofísicos citados anteriormente podem ser obtidos por meio da análise temporal do comportamento espectral para obter o conhecimento sobre a dinâmica e distribuição de florestas com análise das variações ocorrentes no espaço e tempo, pois auxilia no entendimento das relações das mudanças nas condições do meio, com o comportamento da vegetação (Bezerra, 2014). O uso do sensoriamento remoto com essa aplicabilidade vem crescendo Setor florestal, com sua aplicação na otimização de atividades florestais, com uso de imagens de sensores orbitais.

Atualmente entre a diversidade operante de satélites temos o Sentinel 2 com sensor MSI, que se trata de uma missão imaginadora da Agência Espacial Europeia (ESA – *European Space Agency*). Esse sensor possui resolução espacial de 10, 20, e 60 m, caracterizado por dois satélites idênticos operando em fases a 180°, entre si, posicionados de forma sincronizada com o Sol, com capacidade de revisita de 5 dias (ESA, 2015).

Dessa forma a aplicação do Sensoriamento remoto no acompanhamento de uma floresta natural ou implantada, principalmente em consórcio com as técnicas de Inventário Florestal, nos possibilita a gerar com alta precisão de estimativas dos parâmetros biofísicos de uma população manejada, por meios das respostas espectrais dos indivíduos da floresta. Nisto a REM refletida por um povoamento florestal possui uma influência direta, com a idade dos indivíduos pertencentes a esta população (Alba, 2016). Onde a reflectância nos espectros do Azul, Vermelho, Verde e Infravermelho são influenciados diretamente pela atividade fotossintética.

Diante disto o trabalho em questão visou avaliar a eficácia do uso dos índices ARVI, DVI, GNDVI, MVI, NDVI, SR, SAVI e o EVI2 para o entendimento do comportamento espectral do plantio com o passar dos anos, a partir da implantação do povoamento experimental. Nesse âmbito a aplicação dos índices citados anteriores, viabilizara o entendimento preciso da atividade fotossintética do *E. urograndis*. Em virtude da sensibilidade dos índices as alterações no espectro do vermelho, verde, azul e infravermelho. E nesse sentido a implementação destes índices otimizara o monitoramento do povoamento.

## 2. Objetivo Geral

Analisar as características espectrais de um plantio de eucalipto por meio de imagens de média resolução, oriundas do satélite Sentinel 2A.

### 2.1. Objetivos Específicos

1. Caracterizar as respostas espectrais do plantio experimental de eucaliptos, nas faixas do infravermelho e do vermelho do espectro eletromagnético;
2. Usar de índices de vegetação (ARVI, DVI, GNDVI, MVI, NDVI, SAVI, SR, e EVI 2) para correlacionar com os valores de precipitação; e
3. Gerar mapas da dinâmica de índices de vegetação de espécies de eucaliptos.

## 3. Revisão de Literatura

### 3.1. Gênero *Eucalyptus*.

As espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus* e família *Myrtaceae* são originais da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. E nesse sentido no Brasil foi introduzido com o propósito decorativo, para obtenção de seu óleo essencial e como quebra-ventos, porém não se sabe o momento exato de sua introdução no Brasil, e nesse contexto um dos primeiros registros de seu cultivo deu no ano 1868 no Rio Grande do Sul (Embrapa, 2019; Foelkel, 2005; Andrade, 1961).

No contexto Brasileiro os estudos científicos com espécies do gênero *Eucalyptus* tiveram início no ano de 1904, conduzido pelo Eng. Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, realizado no Horto Florestal localizado município de Rio Claro no estado de São Paulo, e pertenciam a ex-Companhia Paulista de Estradas de Ferro (Embrapa, 2022).

Esses estudos iniciais desenvolvidos no território nacional por Edmundo Navarro com espécies de eucaliptos foram extremamente importantes para o Brasil. A Indústria Brasileira de Árvores (2022) registrou para o ano de 2021 uma ocupação de 7,53 milhões de hectares do território nacional com plantios de eucaliptos, que equivale a 75,8% dos 9,93 milhões de hectares de toda área de floresta plantada do Brasil.

De acordo com a Embrapa (2019) são reconhecidas mais de 700 espécies para o gênero, que diferem entre si no que tange as propriedades físicas e químicas. Essas diferenças possibilita

a obtenção de diversos produtos oriundos do *Eucalyptus*, como lenha, estacas, carvão vegetal, celulose, geração de energia, chapas de fibras e de partículas entre outros.

A vista disso o avanço das pesquisas no setor florestal, possibilitou que atualmente seja possível realizar cruzamentos entre duas espécies diferentes do mesmo gênero para criação de híbridos. O intuito disso é criar indivíduos que possuam características desejáveis de ambas as espécies parentais (Pereira, 2019). Nesse contexto temos o híbrido de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com importância econômica devido a sua característica madeireira (Embrapa, 2019).

### 3.2. Sensoriamento Remoto no Contexto Florestal

O Sensoriamento remoto é uma ciência que apresenta crescimento dentro do setor florestal, atrelada aos preceitos do geoprocessamento, fazendo o uso de imagens dos sensores orbitais. Nesse sentido o Sensoriamento remoto possui potencialidades, que contribui com a expansão no Setor florestal. Sua aplicação na prática ocorre por meio da captura de informações da Radiação eletromagnética - REM emitida ou refletida por objetos na superfície, isso é possível com uso de imagens de satélites, e as informações são extraídas com uso de algoritmos matemáticos e estatísticos (Jensen, 2009; Formaggio; Sanches, 2017). As aquisições de dados são realizadas por instrumentos sensores, que possibilitam a obtenção das informações *in situ*, com coleta dos dados espectrais em campo, ou a partir de sensores imageadores acoplados aos satélites (Jensen, 2009).

Esta Radiação Eletromagnética - REM é emitida pelo Sol ou artificialmente com uso de equipamento específico. No caso da REM proveniente do Sol a captação ocorre por meio de diversos sensores orbitais, que são classificados em passivos e ativos. Nesse sentido os sensores passivos são compreendidos como aqueles que têm a capacidade de detectar as energias naturais refletida ou emitida por um alvo na superfície terrestre, e estes sensores sofrem interferência de nuvens, que podem comprometer a análise, ocasionando o espalhamento ou absorção da REM (Lobo; Ramalho; Sinotti, 2020). Já os sensores enquadrados como ativos são aqueles que emitem energia de fonte luminosa própria, para a realização de análises de alvos, e com isso, a energia emitida retorna para o sensor (Lobo; Ramalho; Sinotti, 2020).

Nesse contexto temos o estudo apresentado por Almeida *et al.* (2015) com uso de dados orbitais do Landsat 5 onde obteve índice de área foliar por meio dos índices NDVI, SAVI e SR, obtidos por meio da REM refletida do povoamento de *Eucalyptus*, localizado na bacia

hidrográfica do Rio Doce, onde aplicou-se regressão linear entre os valores medidos em campo de área foliar os índices.

No estudo feito por Leite *et al.* (2017) na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga – SP, constituída por plantios comerciais de *Eucalyptus sp.*, plantio experimental de *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp.* e *Acaciamangium Willd.*, e somado a isso a presença de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual e Cerrado *sensu lato*, onde foram obtidos os índices NDVI e SAVI, com a REM refletida no local no período de 2013 a 2015, obtida por meio do Landsat 8.

### 3.3. Índices de vegetação

Os Índices de Vegetação (IVs), podem ser entendidos como formulações matemáticas concebidas por meio dos dados espectrais obtidos de uma população vegetal, desempenhando um papel extremamente fundamental na caracterização da dinâmica temporal e o vigor de uma população vegetal, normalmente usando dados espectrais obtidos nas bandas do vermelho e infravermelho próximo, possibilitando a estimativas da cobertura vegetal de uma área, atividade fotossintética, fitomassas entre outros (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

#### 3.3.1. *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI

O Índice de vegetação NDVI apresenta resultados que variam entre -1 a 1, diante disso quanto mais alto for o valor do NDVI para uma amostra, podemos afirmar que a vegetação está refletindo valores altos na faixa do infravermelho próximo -  $\rho_{IVP}$  (Kshetri, 2018). Esse índice é fundamental na avaliação da fenologia sazonal ou na produtividade de uma vegetação, devido a sua modificação gradual com o crescimento da vegetação (Gamon *et al.*, 2015). A Equação 1 apresentada a seguir foi proposta por Rouse *et al.* (1974).

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Reflectância na faixa do Vermelho.

De acordo com Kshetri (2018), o NDVI apresenta as seguintes interpretações dos resultados: entre os valores de -1 a 0 sugere a presença de corpos de água; de - 0,1 a 0,1 corresponde a rochas estéreis, areia ou neve; de 0,2 a 0,5 indica a existência de arbustos e



pastagens ou culturas senescentes; e para o intervalo de 0,6 a 1,0 corresponde a presença de floresta tropicais úmidas ou vegetação densa.

### 3.3.2. *Green Normalized Difference Vegetation Index - GNDVI*

Diferente do Índice anterior o GNDVI é calculado utilizando o espectro verde no lugar do espectro vermelho, possibilitando maior sensibilidade às mudanças nas concentrações de clorofila nas plantas neste espectro, sobre uma larga faixa de variações de clorofila, em comparação com NDVI “Vermelho” e tornado a avaliação da concentração do pigmento precisa (Gitelson, Merzlyak, 1998). Nesse sentido o índice é apresentado na Equação 2 a seguir, que foi desenvolvida por Sousa e Ponzoni (1998).

$$GNDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{VERDE}}{\rho_{IVP} + \rho_{VERDE}} \quad (2)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_{VERDE}$  = Reflectância na faixa do Verde.

Sergieieva (2022) afirma que o GNDVI pode ser útil no processo que visa verificar a presença de culturas murchas ou envelhecidas, com intuito de averiguar teores de nitrogênio presentes nas folhas na ocasião em que não é possível avaliar por meio do espectro vermelho extremo, no monitoramento de copas densas ou em estágios de maturidade.

### 3.3.3. *Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI*

O SAVI foi criado a partir de um ajuste do NDVI, em virtude de sua alta sensibilidade às condições de fundo de solo, por Huete (1988). Nesse sentido, o desenvolvimento do SAVI por ele visou minimizar o efeito do solo sobre o índice, essa redução do efeito ocorre de forma algébrica com o ajuste da equação do NDVI, com o acréscimo do fator de correção L de acordo com a Equação 3.

$$SAVI = \left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V + L} \right) \times (1 + L) \quad (3)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Reflectância na faixa do Vermelho;

L = Fator de correção.

Huete (1988) acrescenta o termo L na equação e somando aos valores de Infravermelho e Vermelho do divisor e também no fator multiplicativo (1+L), visando a manutenção dos limites -1 e 1 do NDVI expresso na equação (1). O fator de correção L varia sua aplicação de acordo com as diferentes densidades de vegetação, nesse sentido conforme ocorre o aumento do fator de correção é perceptível a diminuição nas variações condicionadas pelo fundo do solo para baixas densidades de vegetação (Huete, 1988). Complementando temos que o L = 1 ocorrerá baixa influência do solo sobre baixa densidade de vegetação, o L = 0,5 sendo usual para uma vasta gama de ambientes, por ser aplicada a densidade média de vegetação e o L = 0,25 aplicado para vegetação com alta densidade (Huete, 1988).

### 3.3.4. *Atmospherically resistant vegetation index - ARVI*

O ARVI visa suprir as limitações sob os efeitos atmosférico apresentado pelo NDVI. Este Índice foi proposto por Kaufman e Tanre (1992) e emprega o espectro azul apresentado na Equação 4, com intuito de reduzir os efeitos atmosféricos aos resultados. Fundamentado pelo conhecimento da influência significativa da atmosfera no espectro vermelho, em relação ao espectro infravermelho próximo.

$$ARVI = \frac{\rho_{IVP} - (\rho_V - I(\rho_{azul} - \rho_V))}{\rho_{IVP} + (\rho_V - I(\rho_{azul} - \rho_V))} \quad (4)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Reflectância na faixa do Vermelho.

A redução do efeito é expressa matematicamente por meio da subtração da diferença entre valores do azul e vermelho, do vermelho (Kaufman e Tanre, 1992). Nesse contexto temos também o fator “y” que é uma função de ponderação, e seu valor varia com o tamanho do aerossol. Porém Kaufman e Tanre (1992) definiram o fator y = 1 para a situação em que não sabemos o tipo de aerossol que está influenciando nos resultados.

Essa adaptação da equação do NDVI ocorre devido a banda azul e vermelha se dissipar muito facilmente nas partículas presentes na atmosfera. Por isso geralmente o céu possui tonalidade azul, devido a banda azul ter comprimento de onda mais curto que o vermelho, causando mais suscetibilidade a dispersão atmosférica (Liu *et al.* 2004).

### 3.3.5. *Moisture Vegetation Index - MVI*

O Moisture Vegetation Index ou Normalized Difference Moisture Index, é um índice responsável para detectar níveis de umidade na vegetação, que ocorre por meio da razão entre as bandas do infravermelho próximo e o infravermelho de ondas curtas, conforme Equação 5 (Gao, 1996).

$$MVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{IVC}}{\rho_{IVP} + \rho_{IVC}} \quad (5)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_{IVC}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho de ondas curtas.

Essa detecção se dá com a associação do Near Infrared – NIR (Infravermelho próximo) e o Short Wave Infrared – SWIR (Infravermelho de ondas curtas), e retira variações instigada por estrutura interna de uma folha e pelo seu teor de matéria seca, e possibilitando a melhora na precisão no processo de recuperação do teor de umidade da vegetação (Concejal, 2022). No contexto em que a vegetação se encontra em condições severas de seca, o MVI/NDMI tem a capacidade de identificar estresse hídrico nos instantes iniciais, antes de se tornar algo mais grave (Gao, 1996).

O espectro do infravermelho de onda curta transmite bem as mudanças apresentadas no teor de água no mesófilo esponjoso no dossel de uma vegetação, e o infravermelho próximo é influenciado pela estrutura interna da folha, e nenhuma influência no teor de água da vegetação (Concejal, 2022). McFeeters (1996) afirma que valores do MVI igual a zero ou maior, são para regiões cobertas com água e menor ou igual a zero, como não sendo água.

### 3.3.6. *Enhanced vegetation index 2 - EVI2*

Huete *et al.* (1997) apresentaram o índice de vegetação EVI (Equação 6), com o propósito de realizar ajustes aos valores obtidos com o NDVI, no que diz respeito aos ruídos atmosféricos e do solo, sobretudo nos ambientes que apresentam vegetação densa e assim atenuar a saturação em maior parte das ocorrências. Assim como o NDVI a faixa dos dados é de -1 a +1, e no caso de vegetação saudável, temos uma variação entre 0,2 e 0,8 (Sergieieva, 2022).

$$EVI2 = G \times \left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + c1 \times \rho_V - c2 \times \rho_{Azul} + L} \right) \quad (6)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_{Azul}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho de ondas curtas;

C1 = Coeficiente de correção atmosférica 1;

C2 = Coeficiente de correção atmosférica 2;

G = Fator de ganho = 2,5;

L = Parâmetro de correção do efeito do fundo do solo.

EVI tem em sua equação os coeficientes C1 e C2 com intuito de corrigir os efeitos da dispersão de aerossóis na atmosfera e temos o L que assim como no SAVI é útil para harmonizar os efeitos do fundo do solo e do dossel. Os coeficientes para o sensor MODIS da NASA são o C1 = 6, o C2 = 7,5 e o L = 1 (Sergieieva, 2022).

Proposto por Huete *et al.* (2002) o índice EVI 2 (Equação 7) deixa de fazer uso da reflectância no espectro azul, com o intuito de minimizar distorções condicionadas pela atmosfera, por a banda ser altamente sensível a variações atmosférica, e assim possibilitando uma melhora nos resultados fornecidos pelo índice.

$$EVI2 = 2,4 \times \left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V + 1} \right) \quad (7)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Reflectância na faixa do Vermelho.

### 3.3.7. Difference Vegetation Index - DVI

Definido por Clevers (1988), o índice DVI (Equação 8) é obtido por meio da subtração da reflectância do vermelho sobre a reflectância do infravermelho próximo deste índice. Esse índice é mais simples em comparação com NDVI, e isso o torna mais suscetível a medições erradas nas bandas do vermelho e infravermelho por não ser normalizado em decorrência de uma soma (Haji, 2018).

$$DVI = \rho_{IVP} - \rho_V \quad (8)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Reflectância na faixa do Vermelho.

O Índice citado anteriormente podemos interpretar da seguinte forma: DVI = 0 para solo expostos, DVI menores que zero indicam a presença de água, e DVI maiores que zero nos indica a presença de vegetação (MRÓZ, SOBIERAJ, 2004).

### 3.3.8. Simple Ratio - SR

Galvanin *et al.* (2014) define o índice SR (Equação 9), incluindo dentre os que possui alta sensibilidade à presença de vegetação, sendo fundamentado pela razão das bandas do infravermelho próximo e o vermelho. A reflectância na faixa do infravermelho próximo aumenta de forma expressiva com o aumento da vegetação e contrapartida na faixa do vermelho a reflectância decresce com aumento da vegetação.

$$SR = \frac{\rho_{IVP}}{\rho_V} \quad (9)$$

Em que:

$\rho_{IVP}$  = Reflectância na faixa do Infravermelho próximo;

$\rho_V$  = Reflectância na faixa do Vermelho.

Com medição precisa na faixa do vermelho, o SR é muito sensível às alterações apresentadas por vegetação densa ao longo do pico de crescimento, e possui baixa sensibilidade à vegetação esparsa (Jackson; Huete, 1991).

Deering (1978) constatou a forma de contornar a baixa sensibilidade apresentada pelo SR em vegetação esparsa, por meio da razão entre a diferença das bandas infravermelho próximo e vermelho, e a soma das mesmas bandas. Esta disposição na equação é a que conhecemos para o índice NDVI.

### 3.4. Google Earth Engine - GEE

A plataforma *Google Earth Engine - GEE*, possui um catálogo multi-petabyte de imagens de satélite e conjuntos de dados geoespaciais em escala planetária, possibilitando realizar análise para a obtenção de dados da imagem, com uso de linguagem computacional para realizar análises na “nuvem”, ou seja, com o processamento ocorrendo em servidores (Google, 2021).

A plataforma possui uma Interface de Programação de Aplicação vasta de informações, escrita em *JavaScript* e *Python*, que tem a função de auxiliar pesquisadores a realizarem suas análises da superfície da Terra. O processamento computacional em “nuvem” atua positivamente no Geoprocessamento, por diminuir drasticamente o tempo da análise, evitando a necessidade de baixar imagens dos catálogos, feito no modo convencional que leva horas ou dias (Lobo; Ramalho; Sinotti, 2020).

Pamungkas (2023) em seu estudo com uso do GEE, para avaliar a densidade de florestas de mangue na Baía de Lembar, Ilha de Lombok, por meio da análise dos índices NDVI, EVI-2 e SAVI, obtidos com uso das imagens do Sentinel 2A para o ano de 2021.

### 3.5. Coeficiente de Pearson

A correlação amostral de Pearson, representado por um  $r$ , permite compreender a direção e o grau de associabilidade que duas variáveis distintas possuem linearmente onde as alterações apresentadas na magnitude de uma variável, está associada as alterações percebidas na magnitude de outra variável, ocorrendo na mesma direção ou em direção oposta. (Schober, Boer, Schwarte, 2018; Martins, 2014).

O Coeficiente de Pearson varia de -1 a 1, e quanto mais próximo dos extremos, maior o grau de associação linear das variáveis, com isso o valor positivo para o coeficiente representa uma associação linear positiva, indicando que o aumento de uma variável, a outra variável tende a aumentar também e valor negativo representa associação negativa, e diferente do exemplo anterior o aumento de uma variável, implica em uma tendência da outra variável diminuir.

**Tabela 1** – Interpretação do Coeficiente de Correlação de Pearson

<b>Amplitude do Coeficiente (r)</b>	<b>Interpretação</b>
0,00 a 0,10	Correlação insignificante
0,10 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

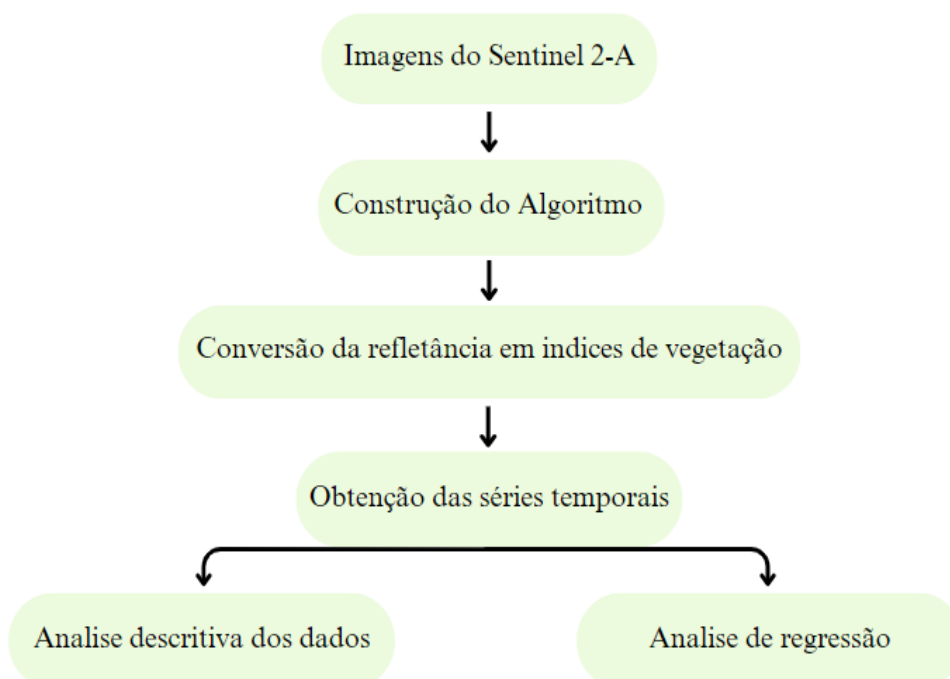
Adaptado de Schober, Boer, Schwarte (2018).

Nesse contexto temos que o coeficiente pode sofrer influência de valores discrepantes, chamados de outliers, que compreende valores que são muito maiores ou menores que os valores restantes. Isso é averiguado antes por meio de diagrama de dispersão, antes de calcular o Coeficiente de Pearson, para permitir detectar os *outliers*.

#### 4. Materiais e Métodos

Os processos que contemplaram o desenvolvimento do estudo com uso do Google Earth Engine, estão dispostos no fluxograma explicitado na Figura 1. Nesse quesito a metodologia foi fundamentada por atividades que possibilitaram realizar análise dos dados orbitais.

**Figura 1** – Fluxograma da metodologia aplicada no estudo

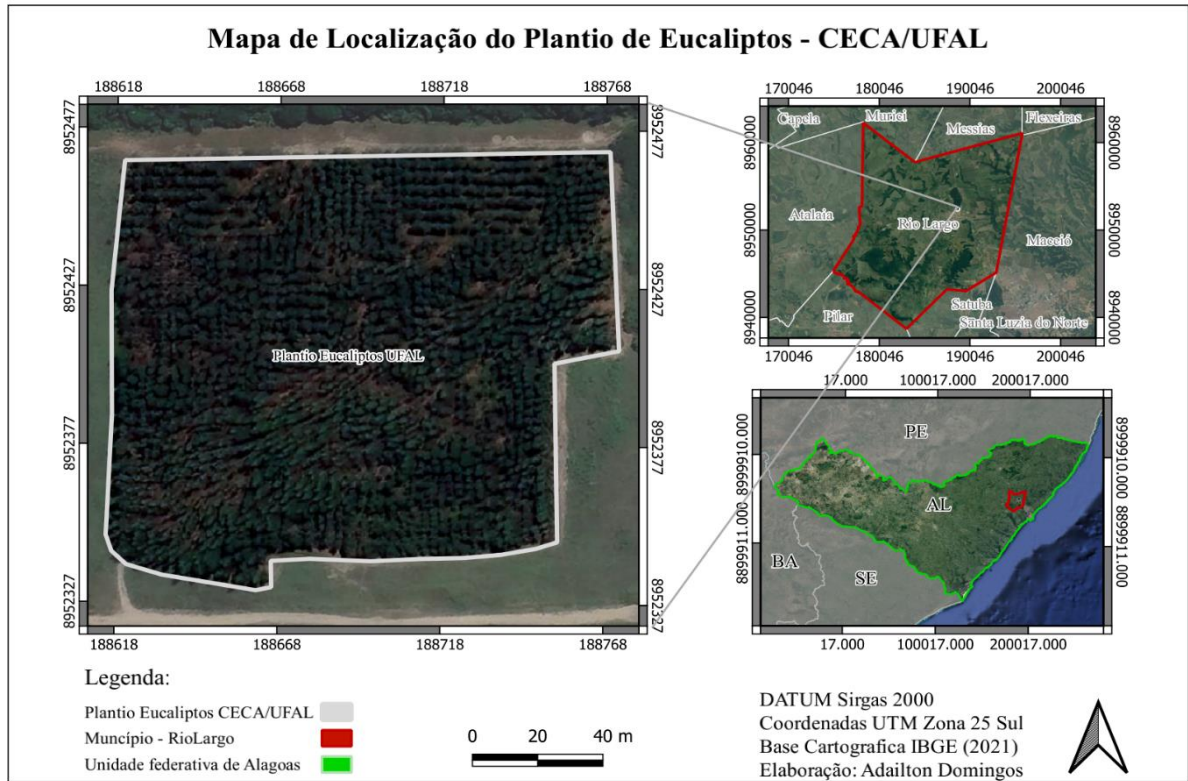


Fonte: Autor

##### 4.1. Local de estudo

O estudo foi realizado em um plantio experimental de clones de eucaliptos, situado nas dependências do Centro de Ciências Agrárias – CECA, da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, localizado no município de Rio Largo, em região Ambiental da Zona da Mata do estado de Alagoas e de acordo com a classificação de Köppen se enquadra em “As”, com o clima presente na localidade sendo o tropical chuvoso, com ocorrência de verão seco e inverno chuvoso (CRUZ et al., 2008)

**Figura 2 – Mapa de Localização**



Fonte: Autor

O povoamento florestal, implantado em agosto de 2017, compõe-se por híbridos de *E. grandis* e *E. urophylla* (*E. urograndis*), sendo especificamente os clones TP361, VCC865, I144 e VE41, distribuído em duas áreas de experimento conforme apresentado na Tabela 2 Ocupa uma Área aproximada de 2,5 ha, as coordenadas UTM do local em relação a Latitude 8952405.61 m Sul e Longitude 188690.05 m Leste, e altitude de 130m.

**Tabela 2 – Informações sobre a disposição do Plantio de *E. urograndis***

Parâmetros	Experimento 1	Experimento 2
Clones	VE41	VE41
	I144	I144
		TP 361
Espaçamento	3 x 3	3 x 2
	3 x 4	
	3 x 2	
Idade (anos)	5	5
Parcelas	18	27

Adaptado de Nobre (2022)



## 4.2. Materiais

### 4.2.1. Imagens Orbitais, Dados de precipitação e Software de análise

Para realização do estudo na área de interesse foram usadas imagens do Sentinel 2A, com resolução espacial de 10 m e 20 m (Tabela 3). Para isso a análise se deu com uso das respostas espectrais das bandas B04, B05 e B11, por apresentarem grande influência na REM refletida para os plantios. E diante disto por meio do portal da HidroWeb pertencente a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA foram obtidos os dados mensais de precipitação da Estação Fazenda Boa Fortuna (Código. 935056). As imagens foram utilizadas do banco de dados do *Google Earth Engine*.

## 4.3. Métodos

### 4.3.1. Processamento da coleção de imagens

A plataforma utilizada no estudo foi o *Google Earth Engine* - GEE, que possibilitou o processamento dos dados nos servidores *Google*, em linguagem *Javascript* acessada por meio do navegador. Nisso foi utilizado o banco de dados do Sentinel 2A no intervalo de 01 de agosto de 2017 a 31 de dezembro de 2022.

Logo após foi delimitada a área total do plantio por meio da ferramenta de geometria para criação de polígonos, que foi útil para obtenção das respostas espectrais dos clones TP361, VCC865, I144 e VE41, como um plantio único e para as bandas B02, B03, B04, B08 e B11 (Tabela 2).

**Tabela 3** – Dados referente ao Sentinel 2 com 10 m e 20 m usados no estudo.

<b>Resolução</b>	<b>Banda</b>	<b>Nome da Banda</b>	<b>Comprimento (nm)</b>
<b>10 m</b>	B02	Azul (Blue)	490
	B03	Verde (Green)	560
	B04	Vermelho (Red)	665
	B08	Infrav. Próximo (NIR)	842
<b>20 m</b>	B11	Infrav. de onda curta 1 (SWIR1)	1610

### 4.3.2. Correção radiométrica e os Índices de vegetação

O estudo desenvolvido no plantio experimental de clones de eucaliptos, foi possível por meio da criação algoritmo que objetivou a obtenção de informações provenientes das bandas da imagem do Sentinel 2A para área de interesse, e para isto não foi necessário realizar a correção radiométrica na coleção de imagens do GEE. Em seguida foi acrescentado no algoritmo uma máscara para exclusão de nuvens, e as equações da Tabela 4, que possibilitou a criação dos índices de vegetação índices ARVI, DVI, GNDVI, MVI, NDVI, SAVI (L=0,5), SR, e EVI 2, por meio da reflectância captada pelo Sentinel 2A para o plantio experimental.

**Tabela 4** – Índices de Vegetação que serão empregados no estudo

Índice de Vegetação	Fórmula	Referência
Atmospherically resistant vegetation index	$\frac{\rho_{IVP} - (\rho_V - 1(\rho_{Azul} - \rho_V))}{\rho_{IVP} + (\rho_V - 1(\rho_{Azul} - \rho_V))}$	Kaufman e Tanré (1992)
Difference vegetation index	$\rho_{IVP} - \rho_V$	Clevers (1988)
Green Normalized difference vegetation index	$\frac{\rho_{IVP} - \rho_{Verde}}{\rho_{IVP} + \rho_{Verde}}$	Sousa e Ponzoni (1998)
Moisture vegetation index	$\frac{\rho_{IVP} - \rho_{IVC}}{\rho_{IVP} + \rho_{IVC}}$	Sousa e Ponzoni (1998)
Normalized difference vegetation index	$\frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V}$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
Soil adjusted vegetation index	$\left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V + L} \right) \times (1 + L)$	Huete <i>et al.</i> (1985)
Simple ratio vegetation index	$\frac{\rho_{IVP}}{\rho_V}$	Jordan (1969)
Enhanced vegetation index 2	$2,4 \times \left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V + 1} \right)$	Huete <i>et al.</i> (2002)

Onde:  $\rho_{IVP}$  = Reflectância da banda do infravermelho próximo,  $\rho_{IVC}$  = Reflectância da banda do infravermelho de onda curta,  $\rho_V$  = Reflectância da banda do vermelho,  $\rho_{Azul}$  = Reflectância da banda do Azul,  $\rho_{Verde}$  = Reflectância da banda do verde, L = Constante que diminui os efeitos do solo, usada no estudo 0,50

### 4.3.3. Análise de regressão e Correlação

A avaliação dos índices de vegetação se deu por meio do de regressão linear, com obtenção do coeficiente de determinação -  $r^2$ , coeficiente de Pearson -  $r$ , e valores mínimo, máximo e desvio padrão. A correlação de Pearson ( $r$ ) só foi possível por meio do teste de Shapiro - Wilk e averiguação da presença de outliers nos dados dos índices, com isso os valores identificados como *outliers* foram retirados da amostra, para uma análise mais precisa com os coeficientes de Pearson. Nesse âmbito foi feita a correlação dos valores médios anuais de precipitação com os obtidos por meio dos índices.

## 5. Resultados e Discussões

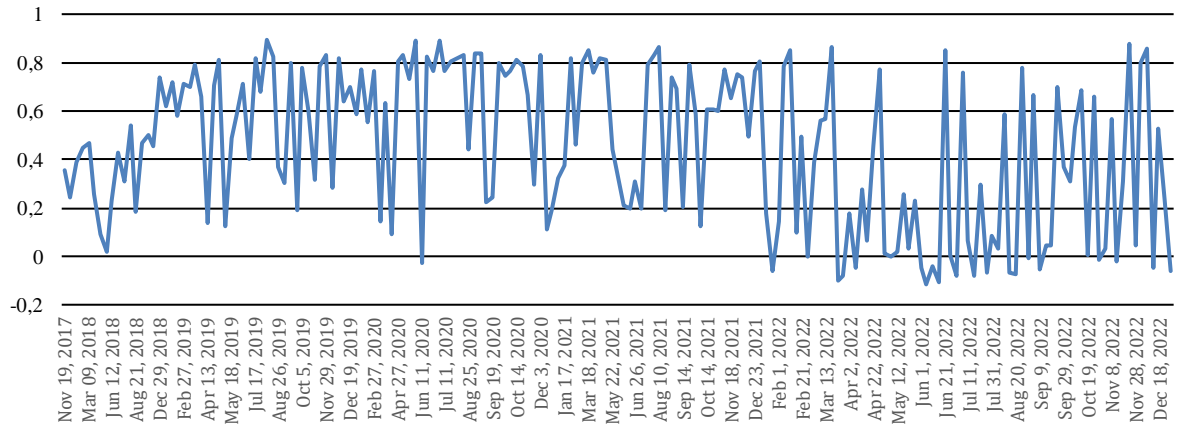
### 5.1. Séries Temporais dos índices de vegetação

A análise dos dados resultou nas séries temporais, apresentadas em forma de gráficos, que mostra o comportamento dos índices calculados por meio das respostas espectrais do plantio de *E. urograndis* no intervalo de 2017 a 2022 em Alagoas. Diante disto a maior parte dos índices gerados por meio do plantio experimental, demonstraram um comportamento satisfatório, percebido por meio dos valores máximos observados anualmente por cada índice.

Nesse contexto foi identificada um comportamento constante dos valores máximos, de 2019 em diante, para os índices ARVI, DVI, GNDVI, MVI, NDVI, SAVI e EVI 2, com variação mínima entre os valores máximos, independente da estação climática vigente, no momento que foi feita a observação. Com exceção do SR que somente nos anos de 2019 e 2020 atingiu valores máximos de aproximadamente 19, que não se repetiu nos anos subsequentes. Nesse contexto podemos compreender que se trata de um comportamento esperado para plantio jovem de Eucalipto, especificamente de 2 a 5 anos de idade.

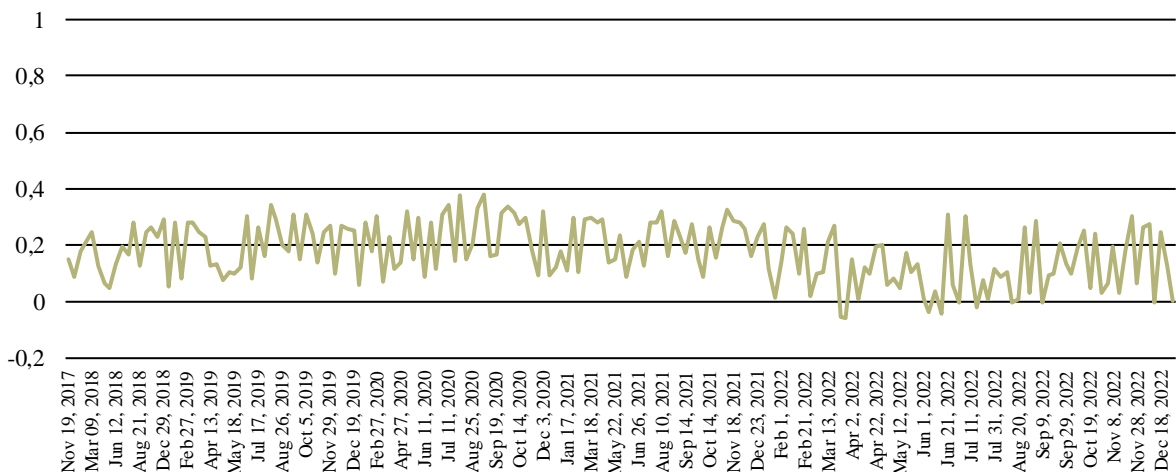
O índice de vegetação ARVI teve seus valores variando de -0,116 a 0,894 (Figura 3), com os valores máximos indicando alta atividade metabólica do plantio relacionada a fotossíntese, que implica em um plantio saldável, com os valores máximos próximos a 0,8 constante no intervalo de 2019 até 2022, e somado a isso os valores negativos ocorreram por influência de nuvens. Esses valores altos apresentados no estudo e um indicativo de plantio jovem como apresentado por Alba (2016) que obteve os valores entre 0,853 a 0,914 para *Eucalyptus Grandis* com 4 anos.

**Figura 3 – Série temporal (2017-2022) do ARVI**



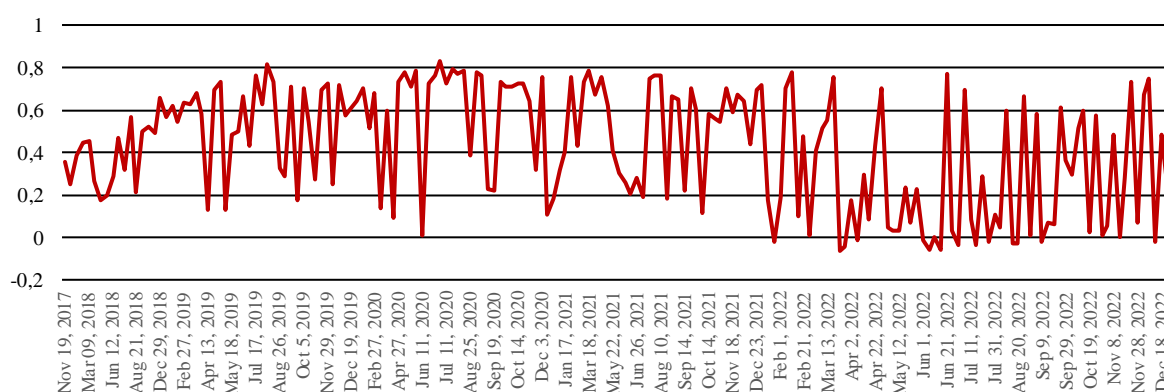
Para o índice DVI, os valores obtidos no estudo variaram de -0,058 a 0,38 (Figura 4) com os valores abaixo de zero devido a interferência de nuvens na imagem, e os valores máximos sendo o indicativo de um plantio saldável e com alta atividade fotossintética, que é perceptível pela incidência constante dos valores próximos a 0,3 de 2019 a 2022, com os valores acima de zero implicando em valores estritos do plantio experimental. Isso é comprovado por Ferreira (2019) onde as espécies de arbóreas com composição e estrutura variada de Pinheiro-bravo e Pinheiro-manso, em 17 parcelas, obteve variação de 0,08 até 0,16. O estudo de Alba (2016), com uso do índice para *E. Grandis* com 4 anos valores de 0,339 à 0,411 corrobora com os valores máximos obtidos no estudo em questão de 2019 a 2022.

**Figura 4 – Série temporal (2017-2022) do DVI**



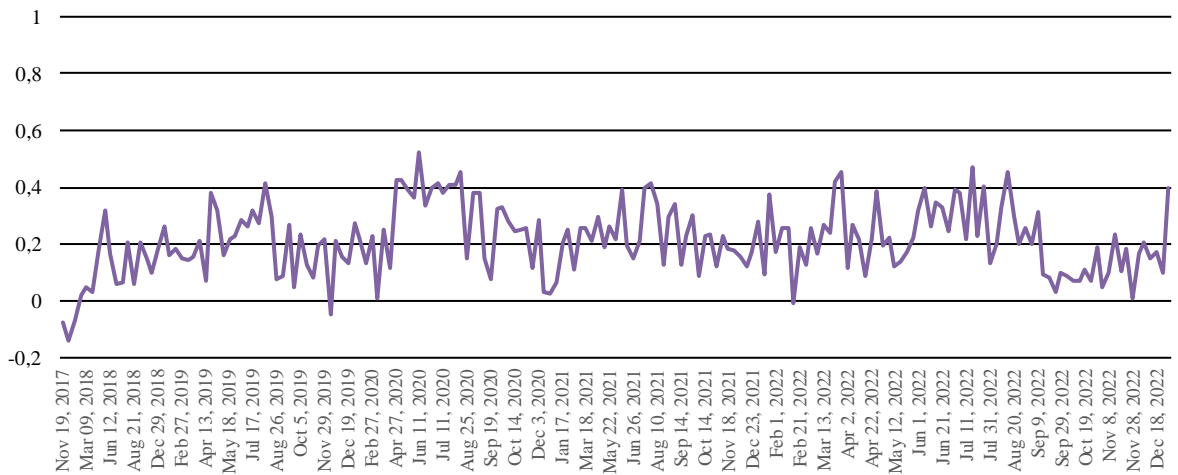
A série temporal do GNDVI variou entre -0,064 e 0,83 (Figura 5), com os valores máximos indicando alta taxa metabólica do plantio durante os anos observados. Os picos do índice foram constantes de 2019 a 2022, com valores próximos de 0,8. O estudo em questão corrobora com Junior *et al.* (2021) que obteve valores de 0,251 a > 0,800 para mata ciliar situada na Caatinga. Com isso podemos compreender que as nuvens interferiram nos valores negativos e abaixo de 0,2 obtidos no estudo em questão. O estudo de Alba (2016) obteve para o *E. Grandis* valores entre 0,902 e 0,938 para 4 anos, que corrobora com o estudo em questão com *E. urograndis*, com valores máximos bem parecidos com os obtidos de 2 a 5 anos.

**Figura 5 – Série temporal (2017-2022) do GNDVI**



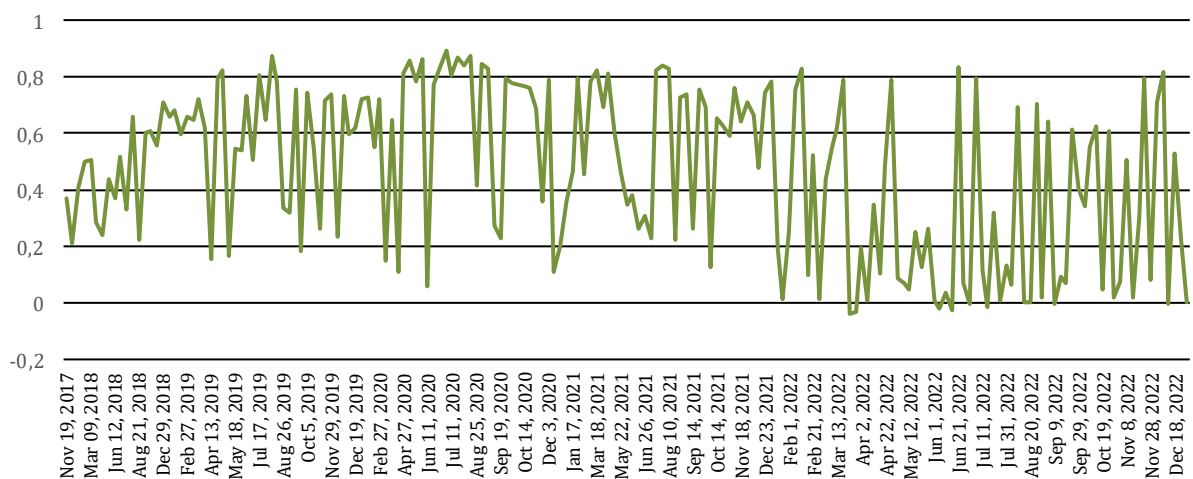
O MVI apresentou valores dentro do intervalo de -0,140 a 0,523 conforme a Figura 6, com interferência de nuvens que ocasionou valores negativos, e avaliando os picos para o índice entre 0,4 a 0,5 aproximadamente, nos possibilita entender que plantio apresenta desenvolvimento saldável durante o período analisado, com alta taxa metabólica indicando que o plantio não sofreu com déficit hídrico severo durante as observações. Os valores máximos corroboram com estudo desenvolvido por Alba (2016) onde foi obtido valores entre 0,573 a 0,656 para povoamento de *E. grandis*, isso demonstra que o MVI do estudo em questão obteve valores esperados. Já para Cunha *et al.* (2019), obteve comportamento semelhante ao plantio, para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria, no Estado do Rio Grande do Sul com presença de regiões com silvicultura, pastagem e áreas urbanas. Valores para o índice entre -6,984 a 0,694.

**Figura 6 – Série temporal (2017-2022) do MVI**



Nota-se para o NDVI os valores resultantes entre -0,039 a 0,892 (Figura 7), com os valores abaixo de 0,2 devido a interferência de nuvens nos pixels da imagem conforme afirma Kshetri (2018). Os valores máximos tiveram comportamento constante entre 2019 a 2022 com valores próximos a 0,8, e os picos do índice indicaram alta taxa metabólica e consequentemente uma alta taxa fotossintética para o Plantio de 2 a 5 anos aproximadamente. Isso corrobora com o estudo de Alba (2016), obteve valores para o NDVI entre 0,920 a 0,955 em um plantio *E. Grandis* com 4 anos. Em comparação com o trabalho de Ramos *et al.* (2023) que obteve o valor máximo de 0,78 para o *E. urophylla*, com aplicação do índice, condiz com o estudo em questão por ser um valor próximo e condizente ao obtido no estudo em questão.

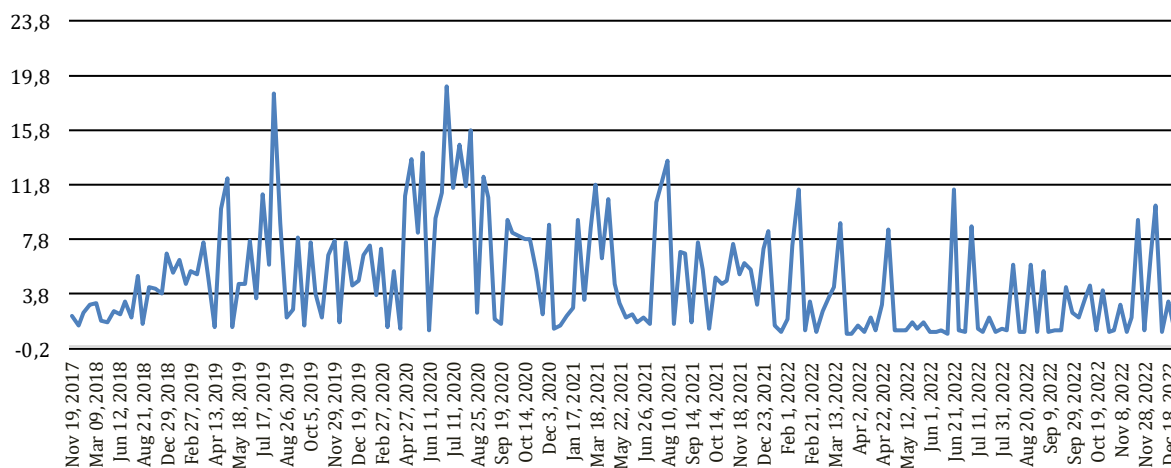
**Figura 7 – Série temporal (2017-2022) do NDVI**



Para o SR os valores resultantes estão dentro do intervalo 0,9 a 19 (Figura 8) e foi o único índice que não apresentou valores abaixo de zero e os picos deste índice de vegetação indica que o plantio no período de 2019 a 2022, possui comportamento esperado de uma vegetação arbórea saldável. Isso é comprovado por Almeida *et al.* (2015) que apresentou valores para o SR em plantios de *E. grandis x urophylla* variando de 2,0 a 8,20, com o estudo em questão apresentando valores mais expressivos nos primeiros anos. Os valores máximos bem próximos dos obtidos por Alba (2016) para *E. Grandis* com 4 anos, com os valores para o índice variando entre 24,03 a 43,04, que são expressivamente maiores aos apresentados no estudo, sendo o que mais se aproxima.

E nesse âmbito o plantio apresentou o comportamento esperado por Jackson e Huete (1991) que relata que o SR tem sensibilidade alta as alterações provenientes do pico de crescimento de vegetação, isso é comprovado no estudo entre 2 a 3 anos do Plantio experimental, onde o índice atingiu 18,5 no dia 16 de agosto de 2019 e 19 no 01 de julho de 2020, e de 2021 em diante os picos obtidos com o índice anualmente reduziram gradativamente até 2022.

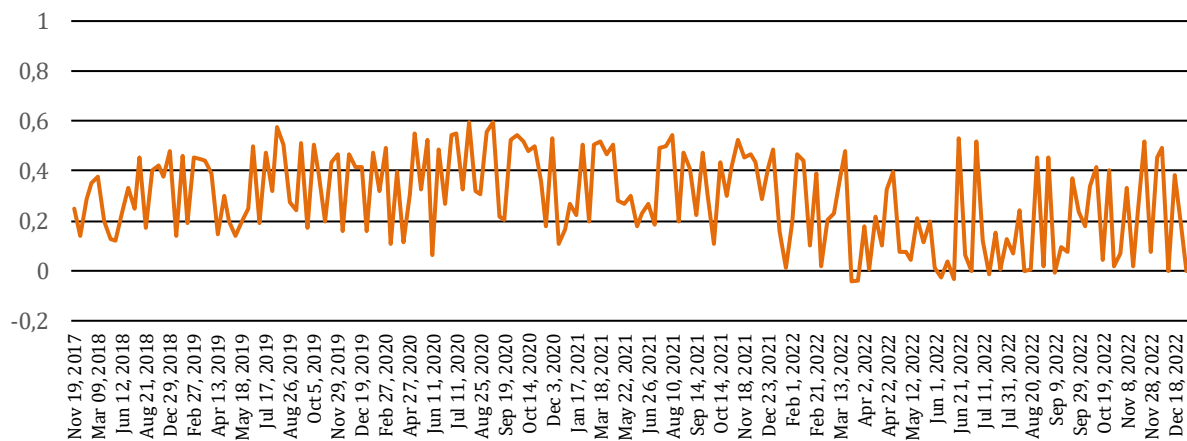
**Figura 8 – Série temporal (2017-2022) do SR**



A serie temporal do SAVI apresentou valores dentro do intervalo de -0,042 a 0,595 (Figura 9) com os valores máximos apresentando comportamento constante próximos a 0,5 ocorrendo de 2019 a 2022. Os picos do SAVI entre 2 a 5 anos aproximadamente, indica que o plantio está saldável e com alta atividade fotossintética e somado a isso os valores negativos e dividido a influência de nuvens nos pixels da imagem.

Isso é comprovado no estudo de Almeida *et al.* (2015) que obteve para o SAVI valores entre 0,20 a 0,66, para plantios de *E. grandis x urophylla*, sendo semelhante ao obtido pelo plantio experimental da UFAL, e nesse contexto o valor mínimo ocorreu para aproximadamente 1 ano de idade e máximo para o ano seguinte. Esse comportamento citado anteriormente foi percebido no estudo, que evidenciou o primeiro pico para o índice de vegetação com aproximadamente dois anos também. Já Alba (2016) obteve valores para o SAVI entre 0,835 a 0,906, que são expressivamente maiores que os obtidos no estudo.

**Figura 9** – Série temporal (2017-2022) do SAVI



Constata-se valores entre -0,039 a 0,628 para o EVI2 (Figura 10), que por meio dos picos apresentado para o índice, evidencia um comportamento saldável, com valores abaixo de zero devido à influência de nuvens nos pixels da imagem. Nesse âmbito os valores máximos obtiveram comportamento constantes para o período de 2019 a 2022, com valores próximos a 0,6. E nesse contexto os valores médios obtidos por Leal (2013) entre 0,26 a 0,38 para 13 parcelas *Eucalyptus urophylla* com 6,5 anos de idade, estes valores são similares ao valor médio obtido neste estudo (Tabela 5). Os resultados foram semelhantes também com o estudo feito por Farina (2021) em área de Floresta Ombrófila Densa, que obteve valores para o EVI2 no intervalo de 0,204 a 0,591. E ambos resultados nos dão a entender que uma floresta seja ela plantada ou natural, com isso e abaixo de 0,2 para o EVI2 sofreram interferência nos pixels da imagem.

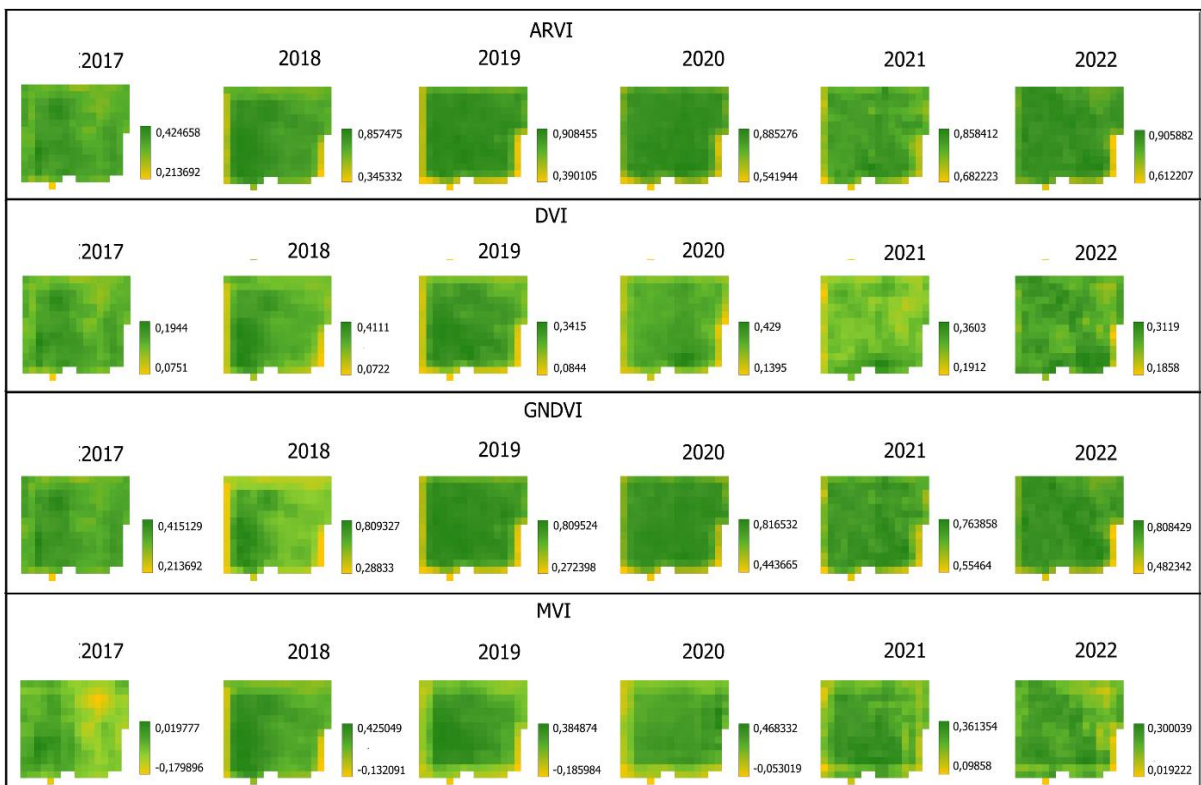


**Figura 10 – Série temporal (2017-2022) do EVI2**



Os mapas gerados para cada ano do Plantio, com uso dos índices de vegetação apresentados na Figura 11 e 12, indicam para o período estudado, que os valores mínimos dos os índices de vegetação ocorrem na extremidade do povoamento, esse comportamento se dá por influência do solo na reflectância dos pixels. Nesse contexto e possível identificar que o ARVI, GNDVI, MVI, NDVI, SAVI e o EVI2 tiveram valores máximos bem distribuído para o povoamento durante os anos de 2018 a 2022, isso indica atividade fotossintética alta anualmente para o plantio *E. urograndis*, e com isso os índices apresentam sensibilidade a longo prazo.

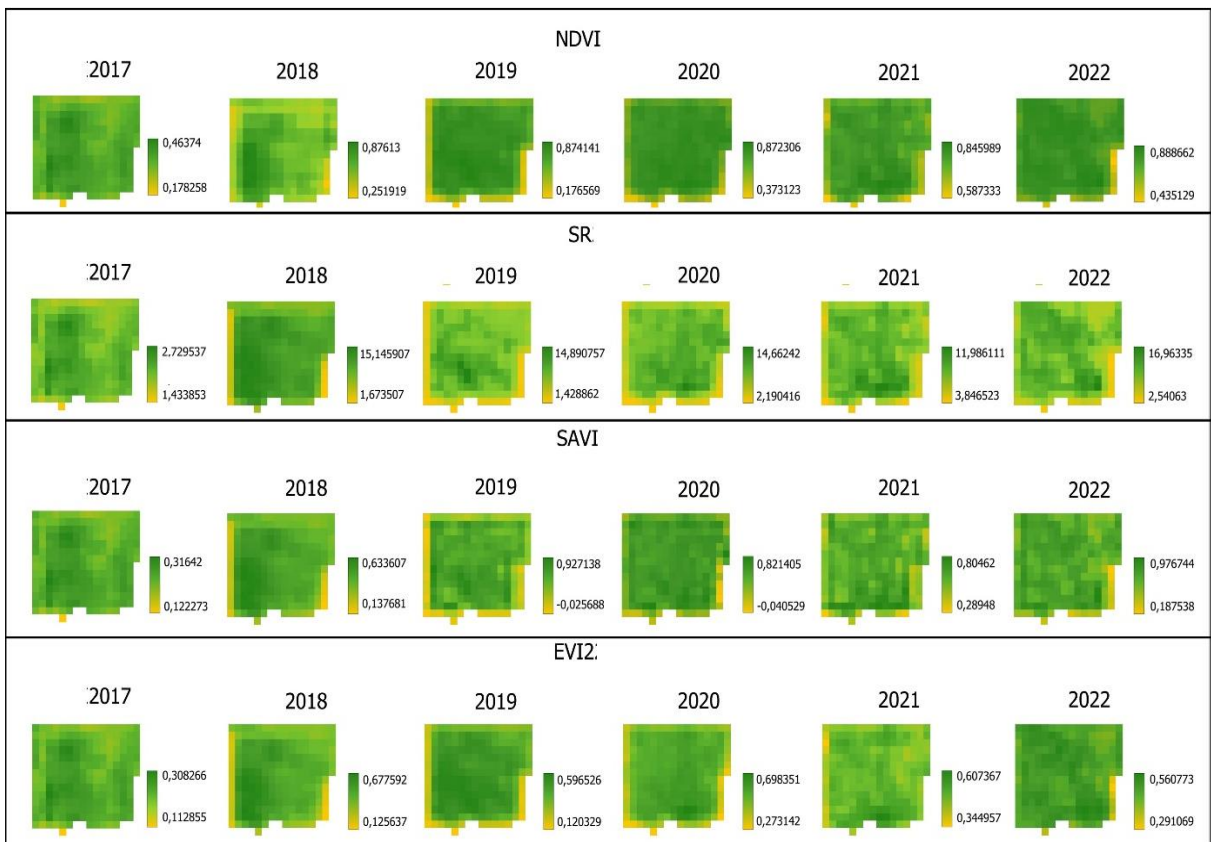
**Figura 11 – Mapas dos índices ARVI, DVI, GNDVI e MVI para o *E. urograndis***



Fonte: Autor

No caso do SR os mapas deste índice de forma geral evidenciaram um comportamento distinto dos demais com valores máximos com distribuição mais espaçada nos mapas na área do povoamento, este comportamento indica que os indivíduos presentes no povoamento de *E. urograndis*, não evidencia taxa fotossintética semelhante, diante do SR, esse comportamento e evidenciado para os anos de 2017, 2019, 2020, 2021 e 2022, com exceção do ano de 2018, onde os valores máximos para o índice SR estão bem distribuído pelo povoamento. Isso indica que o ano de 2018, os indivíduos arbóreos apresentaram de modo geral alta atividade fotossintética, que implica em um pico metabólico do Plantio experimental para o ano de 2018, condizente com Jackson e Huete (1991) que afirma que o SR possui como característica alta sensibilidade as alterações provenientes do pico de crescimento de vegetação.

**Figura 12** – Mapas dos índices NDVI, SR, SAVI e EVI2 para o *E. urograndis*



Fonte: Autor

## 5.2. Análise estatística dos dados espectrais

A análise descritiva dos dados possibilitou compreender o comportamento apresentado por cada índice de vegetação durante o período estipulado, conforme apresentado na Tabela 5, onde podemos observar que o índice SR obteve a maior amplitude. Esse comportamento apresentado pelo índice também é apresentado no estudo feito por Alba (2016) utilizando imagens do Sentinel 2A para avaliar *E. Grandis*. Observando os coeficientes de variação presentes na Tabela 5 é perceptível que o SR apresentou também a maior variação seguido do ARVI, onde apresentaram respectivamente 80,8% e 70,5% para o coeficiente

Mas avaliando o contexto geral, mesmo com esse destaque do SR os coeficientes de variação obtidos para os outros índices, não diferem de modo discrepante. Essa alta variabilidade se dá por o GEE possibilitar aplicação dos índices de vegetação em um volume imenso de imagem para o período de 2017 a 2022, mesmo com aplicação da máscara de nuvens. Nesse contexto às mudanças nas condições climáticas diárias, interferem na obtenção da reflectância para o período do estudo. Porém de modo geral essa alta variabilidade indica que os dados apresentam picos extremos em comparação aos valores baixos, ou seja possibilitou compreender a atividade metabólica associada a fotossíntese do Plantio.

**Tabela 5** – Estatística descritiva dos índices de vegetação obtidos com o Sentinel 2A para o Plantio.

Índices	Valores estatísticos dos índices de vegetação para o Sentinel 2A					
	Máximo	Mínimo	Média	Amplitude	Desvio Padrão	CV%
ARVI	0,894	-0,116	0,453	0,778	0,319	70,5
DVI	0,380	-0,058	0,176	0,322	0,102	58,3
GNDVI	0,830	-0,064	0,426	0,766	0,278	65,2
MVI	0,523	-0,140	0,213	0,383	0,122	57,4
NDVI	0,892	-0,039	0,469	0,853	0,291	62,0
SR	19,000	0,900	4,827	18,100	3,898	80,8
SAVI	0,595	-0,042	0,289	0,553	0,176	60,8
EVI2	0,628	-0,039	0,287	0,589	0,182	63,3

### 5.3. Análise de regressão dos índices

A avaliação da presença de *outliers*, indicou que os dados dos índices DVI, MVI, SAVI e o EVI2 apresentaram *outliers*, que foram retirados. E somado a isso, os valores médios anuais dos índices apresentaram normalidade na distribuição dos dados no teste de Shapiro - Wilk, com 95% de significância, onde todos os valores apresentaram  $p > 0,05$ , presentes na Tabela 6. Nesse contexto, os dados da correlação entre os valores de precipitação médio anual e os com as médias anuais dos índices de vegetação, proporcionaram os dados que estão apresentados na Tabela 7. Em virtude disso foi possível avaliar que os índices ARVI, DVI, GNDVI, NDVI, SR, SAVI e EVI2 apresentam uma correlação forte com a precipitação e isso indica alta influencia das chuvas no metabolismo associado a atividade fotossintética que atua no valor dos índices obtidos para o Plantio experimental.

Diante disso o ARVI apresentou valor alto (0,615) para o coeficiente de pearson, que indica correlação forte. Diante disso o estudo de Acharya *et al.* (2022), aplicado a espécies agrícolas apresentou o valor de  $r^2 = 0,129$  ( $r = 0,351$ ) para o coeficiente, onde foi avaliada a relação do conteúdo volumétrico de água do solo com o ARVI. Indicando que os dados de precipitação têm mais influência sobre a atividade fotossintética que atua nos dados obtidos com o índice de vegetação.

**Tabela 6** – Resultados do teste de Shapiro – Wilk

<b>Dados</b>	<b><i>p</i></b>
Precipitação	0.1493
ARVI	0.2544
DVI	0.8108
GNDVI	0.4006
MVI	0.4046
NDVI	0.3464
SR	0.5928
SAVI	0.9828
EVI2	0.9905

5% de significância

Nesse meio o DVI obteve o valor de  $r = 0,777$  representado uma correlação forte para o índice. O estudo de Gulácsi e Kovács (2018) demonstra para o DVI o valor  $-0,81$  para o coeficiente que indica forte correlação negativa com o Índice de seca de Pálfai, que é obtido com a divisão dos valores de temperatura pelos valores de precipitação. Neste mesmo estudo foi avaliada também a relação dos valores do DVI, com a produtividade, que apresentou alta de  $0,66$ .

No contexto do GNDVI a correlação foi forte, com o valor do coeficiente de Pearson sendo de  $0,713$ . Em virtude do estudo desenvolvido por Fang *et al* (2019) com  $50,66\%$  de área com floresta em regiões que sofreu mineração, no leste da Mongólia Interior incluindo Hulunbuir, Xilingol, Chifeng, Tongliao e Hinggan League, obteve relacionando a precipitação com o índice, os valores do coeficiente obtidos na área variaram de  $0,105$  a  $0,729$ , ou seja, a região que apresentou o valor máximo do coeficiente foi condizente ao que ocorre no estudo em questão.

**Tabela 7** – Dados referente a análise de regressão

Índices	Coefficiente de Pearson	Coefficiente de Determinação
	r	R <sup>2</sup>
ARVI	0,615	0,379
DVI	0,777	0,604
GNDVI	0,713	0,508
MVI	0,207	0,043
NDVI	0,755	0,571
SR	0,433	0,188
SAVI	0,733	0,538
EVI2	0,758	0,574

5% de significância

O MVI apresentou correlação fraca, explicitada pelo valor do coeficiente ( $r = 0,207$ ), que implica pouca influência dos valores da precipitação sobre os valores do índice. No estudo de Serrano *et al.* (2019) para o Sistema Agrossilvipastoril, que investigou a correlação entre a

umidade do solo e o MVI, onde o valor para o coeficiente foi igual a 0,865 ( $r^2 = 0,755$ ). E neste mesmo estudo obteve o coeficiente forte para o índice igual a 0,736 ( $r^2 = 0,543$ ) onde averiguou a relação entre o índice com a temperatura superficial de pasto.

Para o NDVI o coeficiente apresentou correlação forte, com o valor de  $r$  igual a 0,755. Esse valor é próximo do apresentado pelo estudo de Gomes (2018), que com a mesma correlação obteve o valor do coeficiente igual a 0,84, para avaliar a dinâmica da vegetação presente na sub-bacia do Alto Curso do Rio Paraíba.

O SR demonstrou correlação moderada, com o coeficiente igual a 0,433. Este valor foi condizente com o apresentado por Strabeli *et al.* (2023), que fez uso de folhas de *Eucalyptus* para obter o conteúdo relativo de água, com  $r = 0,5$  ( $r^2 = 0,25$ ) e a espessura equivalente da água, com  $r = 0,447$  ( $r^2 = 0,2$ ).

No contexto do SAVI o coeficiente apresentou o valor de 0,733, que indica uma correlação forte para o estudo em questão. O estudo realizado por Goulart *et al.* (2015) apresentou correlação forte entre precipitação e valores médios para o índice obtido no município do Rio de Janeiro de 1984 a 1994, com valores para o coeficiente de 0 a 0,93, onde os valores máximos para o ano 1989 com o  $r = 0,61$ , e o ano de 1991 com o  $r = 0,93$ , sendo condizente com o estudo em questão.

Por último temos o EVI 2 que apresentou correlação forte onde o valor do coeficiente de Pearson é igual a 0,758. Com isso o estudo de Gonçalves *et al.* (2012) aplicada a áreas produtivas de cana de açúcar em Mato Grosso, obteve o coeficiente  $r$  igual a 0,775, correlacionando precipitação com o índice, corrobora com o valor obtido para o estudo em questão.

## 6. Conclusão

Diante dos dados apresentados neste estudo, o Sentinel 2A foi eficaz na obtenção da dinâmica dos índices de vegetação gerados por meio do plantio experimental para o período de 01 agosto de 2017 a 31 de dezembro de 2022. Nesse sentido os valores máximos possibilitaram constatar que o *E. urograndis*, na UFAL possui um desenvolvimento saldável, com comportamento dos índices de vegetação sensível ao metabólico, demonstrando alta atividade da fotossíntese para o Plantio, isso sendo algo esperado para o gênero *Eucalyptus* com indivíduos jovens.

Essa constatação foi reforçada com os mapas gerados para cada ano, por meio dos índices de vegetação, que evidenciou um comportamento fotossintético semelhante para toda área do plantio, ou seja, todos os indivíduos do plantio apresentaram taxas metabólicas semelhantes com o passar do tempo. Nesse âmbito foi perceptível que os valores máximos foram bem distribuídos nos mapas para o plantio, para os índices que apresentam formula algébrica mais complexa como no caso do ARVI, DVI, GNDVI, MVI, NDVI, SAVI, e EVI 2, que usa diferentes artifícios matemáticos para maior assertividade da realidade com o passar dos anos.

No caso do SR sua obtenção se dá razão entre o infravermelho e o vermelho possibilitou uma maior precisão no segundo ano, onde os valores máximos se apresentaram bem distribuídos para o Plantio, indicado uma alta taxa da atividade metabólica associada a fotossíntese, com os anos subsequentes demonstrando valores médios mais aparentes e os máximos em concentrações esparsas. De modo geral todos os mapas apresentaram os valores baixos para os índices de vegetação nas extremidades da imagem, composto por pixels que sofreram alguma interferência do solo.

A correlação dos valores médios índices de vegetação para cada ano, com valores médios anuais de precipitação, possibilitou entender que o comportamento espectral do plantio de *E. urograndis*, possibilitou compreender a influência da precipitação no metabolismo dos indivíduos presentes no Plantio, que implica na atividade fotossintética. Os índices que se enquadram nesse contexto apresentado foram os índices ARVI, DVI, GNDVI, NDVI, SAVI e EVI2. Sendo assim, os que apresentaram menor influência da precipitação foram o MVI e o SR.

## **7. Recomendações para Trabalhos Futuros**

Para estudos futuros e recomendável os índices de vegetação gerados para análise temporal, sejam correlacionados com dados dendrológicos provenientes de Inventário de precisão do Plantio experimental, ou dados de volume provenientes de Cubagem. Com isso será possível obter um melhor entendimento da situação do plantio com o passar dos anos, e por meio disso possibilitar entendimento da dinâmica do povoamento, e assim obter resultados mais precisos com os índices de vegetação.



## Referências

ALBA, E. **Caracterização espectral dos dosséis e estimativa de variável biofísica em plantios de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* a partir de imagens Landsat 8/OLI**. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2016.

ALMEIDA, A. Q. *et al.* Índice de Área Foliar de Eucalyptus Estimado por Índices de Vegetação Utilizando Imagens TM - Landsat 5. **Floresta e Ambiente**. v.22. n.3. p.368-376. jun. 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1590/2179-8087.103414>>.

ANDRADE, E. N. **Manual do plantador de *Eucalyptos***. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Comp., 1911. 339 p.

\_\_\_\_\_. **O eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Cia, 1961. 678 p.

BEZERRA, J. M. *et al.* Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 18, n. 1. p. 73-84. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>.

CONCEJAL. A. **Measuring moisture: Normalized Difference Moisture Index (NDMI) Sentinel-2 2022**. Disponível em: <<https://geovisualization.net/2022/07/14/measuring-moisture-normalized-difference-moisture-index-ndmi-sentinel-2-2022/>>. Acesso em: (23/07/2023).

CUNHA *et al.* Índices De Vegetação, Água e Temperatura Utilizados na Busca de Padrões em Diferentes Classes de Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-Rs Entre 1990 a 2017. *In*: XIX simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2019.

CLEVERS, J. G. P. W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 1, p. 53-70, 1988. DOI: <[doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90041-7)>.

CRUZ, S.C.S. et al. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.1, p.62-68, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000100009>

DEERING, D.W. **Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors**. 1978. 338p. Dissertação (Ph.D) - Texas A & M University, College Station, Texas.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Annual Report 2015**. Disponível em <<https://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/Annual-Report-2015/AR-2015.pdf>>. Acesso em: (01/12/2021).

EMBRAPA. O Eucalipto. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto>>. Acesso em: 20/08/2023.

FANG, A. *et al.* Tempo-Spatial Variation of Vegetation Coverage and Influencing Factors of Large-Scale Mining Areas in Eastern Inner Mongolia, China. **International journal of environmental research and public health**, v.17 n.1, p. 47. 2019. DOI: <<https://doi.org/10.3390/ijerph17010047>>.

FARINA, K. **Avaliação Temporal E Espacial De Remanescentes De Mata Atlântica Em Governador Celso Ramos – Sc Como Subsídio Para Planejamento Ambiental Municipal**. 2021. 77 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Clima e Ambiente) – Instituto Federal De Santa Catarina. Florianópolis.

FERREIRA, M, P. **Contribuição da detecção remota para o estudo da biomassa de pinhais na Herdade da Apostiça (Sesimbra)**. 2019. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa. Caparica.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto No Brasil, História De Pioneirismo. *Visão Agrícola*, n.4. p. 06-09, jul-dez 2005.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Conab. Disponível: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso: 27/09/2021.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, L. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

GALVANIN, E. A. S. *et al.* Evaluation of vegetation indexes NDVI, SR and TVI in the discrimination of vegetation types of environments of ‘pantanal’ in Cáceres, Mato Grosso state. **Ciência Florestal**. 24. p. 707-715. 2014.

GAMON, J.A.; KOVALCHUCK, O.; WONG, C. Y. S.; HARRIS, A.; GARRIT, S. R. Monitoring seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. **Biogeosciences**, n. 12, p.4149–4159. 2015. DOI:<10.5194/bg-12-4149-2015>.

GAO, B.C. NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p.257–266. 1996. DOI: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)>.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N. Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. **Advances in Space Research**, v. 22. n.5. p.689-692. 1998.

GONÇALVES, R. R. V. *et al.* Relação entre o índice EVI e dados de precipitação nas áreas de plantio de cana-de-açúcar na região central do Brasil. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 4., 2012. Bonito - MS, **Anais [...]**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.1054-1063.

GOULART, A. C. O. *et. al.* Relação espectro-temporal entre índices de vegetação e a chuva na cidade do Rio de Janeiro. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 58, n. 3, p. 277-283, jul./set. 2015. DOI:<<http://dx.doi.org/10.4322/rca.1990>>.

GOOGLE EARTH ENGINE. **Conheça o Earth Engine**. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. Acesso em: 20/03/2021.

\_\_\_\_\_. **Bem-vindo ao Google Earth Engine**. Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine>>. Acesso em: 20/03/2021.

\_\_\_\_\_. **JavaScript and Python Guides. Guides, 2021** Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/guides?hl=en>>. Acesso em: 14/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Get Started with Earth Engine. Guides, 2021.** Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/guides/getstarted?hl=en>>. Acesso em: 14/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Coding Best Practices. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/guides/best\\_practices?hl=en](https://developers.google.com/earth-engine/guides/best_practices?hl=en)>. Acesso em: 14/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Debugging guide. Guides, 2021.** Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/guides/debugging?hl=en>>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Earth Engine Code Editor. Guides, 2021.** Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/guides/playground?hl=en>>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Introduction to JavaScript for Earth Engine. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_js\\_01](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_js_01)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Introduction to the Earth Engine JavaScript API. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_api\\_01](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_api_01)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Introduction to Forest Change Analysis in Earth Engine. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_forest\\_01](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_01)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Introduction to Hansen *et al.* Global Forest Change Data. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_forest\\_02](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_02)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Quantifying Forest Change. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_forest\\_03](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_03)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Charting Yearly Forest Loss. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_forest\\_03a](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_03a)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Introduction to Forest Monitoring for Action (FORMA) data. Guides, 2021.** Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial\\_forest\\_04](https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorial_forest_04)>. Acesso em: 16/08/2022.

\_\_\_\_\_. **Tutorials. Guides, 2021.** Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/videos>>. Acesso em: 16/08/2022.

GULÁCSI, A.; KOVÁCS, F. Drought monitoring of forest vegetation using MODIS-based normalized difference drought index in Hungary. **Hungarian Geographical Bulletin**, v. 67 n.1, p 29–42. 2018. DOI: <10.15201/hungeobull.67.1.3>.

HAJI, T. A. H. Study of vegetation cover distribution using DVI, PVI, WDVÍ indices with 2D-space plot. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1003. 2018. DOI: <10.1088/1742-6596/1003/1/012083>.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERRERIA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195–213, 2002.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. **Remote Sensing of Environment**, v. 17, p. 37-53, 1985.

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

HUETE, A; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; LEWEEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59. n. 3. p. 440–451, 1997.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2022.** Disponível em:<<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: 12/08/2023

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11. p. 185-200. 1991.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JORDAN, C. F. Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, p. 663-666, 1969.

JUNIOR, U. J. S. *et al.* 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, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>>.

KAUFMAN, J. Y.; TANRE, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **Transactions on Geoscience Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 262-270, 1992.

KNOBELSPIESSE, K. *et al.* Surface BRDF estimation from an aircraft compared to MODIS and ground estimates at the Southern Great Plains site. **Journal of Geophysical Research**. v. 113. 2008. DOI:<113. 10.1029/2008JD010062>.

KSHETRI, T. B. NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7. **GeoWorld** v. 2. set. 2018.

LEAL, F. A. **Técnicas De Sensoriamento Remoto E Geoestatística Aplicadas Em Um Povoamento De *Eucalyptus Urophylla* S. T. Blake Para Estimativa De Volume**. 2013. 96 p. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília. Brasília.

LEITE *et al.* Análise Temporal Dos Índices De Vegetação Ndvi E Savi Na Estação Experimental De Itatinga Utilizando Imagens Landsat 8<sup>1</sup>. **Revista Brasileira De Energias Renováveis**, v.6, n.4, p. 606-623, 2017.

LEMENKOVA, P.; DEBEIR, O. Computing Vegetation Indices from the Satellite Images Using GRASS GIS Scripts for Monitoring Mangrove Forests in the Coastal Landscapes of Niger Delta, Nigeria. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 11, n. 4, p. 871, 2023. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/jmse11040871>>.

LOBO, F. L.; RAMALHO, E.; SINOTTI, J. Introdução Ao Google Earth Engine. Curso de Engenharia Hídrica/CDTec, Jun/2020. Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/geotechidrica/files/2021/05/ApostilaGEE2020.pdf>>.

LIU, C. R. *et al.* Comparison of the NDVI, ARVI and AFRI vegetation index, along with their relations with the AOD using SPOT 4 vegetation data. **Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences**, v.15, n.1. p.15-31. 2004. DOI:<10.3319/TAO.2004.15.1.15(A)>.

MANGEWA, L. J. *et al.* Comparative Assessment of UAV and Sentinel-2 NDVI and GNDVI for Preliminary Diagnosis of Habitat Conditions in Burunge Wildlife Management Area, Tanzania. **Earth**, vol. 3, n. 3, 2021 DOI:<10.3390/earth3030044>.

MARTINS, M. E. G. Coeficiente de correlação amostral. **Revista de Ciência Elementar**, v.2. n.02. 2014.

MCFEETERS, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.

MORAES, E. C. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. *In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE*. São José dos Campos, 2002. p. 01-22.

MRÓZ, M.; SOBIERAJ, A. Comparison Of Several Vegetation Indices Calculated On The Basis Of A Seasonal Spot Xs Time Series, And Their Suitability For Land Cover And Agricultural Crop Identification. **TECHNICAL SCIENCES**, n. 7. 2004.

NOBRE, S. C M. **Quantificação Automatizada De Variáveis Dendrométricas Em Plantios Experimentais De *Eucalyptus Sp.* Utilizando Vant.** 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE. 2022.

PAMUNGKAS, S. Analysis Of Vegetation Index For Ndvi, Evi-2, And Savi For Mangrove Forest Density Using Google Earth Engine In Lembar Bay, Lombok Island. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. v.1127. DOI: <10.1088/1755-1315/1127/1/012034>.

PEREIRA, V. G. M. DE F. *et al.* Irrigação e fertirrigação no desenvolvimento de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1100–1114, jul. 2019.

RAMOS *et al.* Índices de vegetação na diagnose nutricional de povoamentos híbridos de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 1-18, abr./jun. 2023.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. W.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. **NASA/GSFCT Type III Final Report**, Greenbelt, MD, USA. 1974.

SCHÖBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. A. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. **Anesthesia & Analgesia**. v.126. n. 5. p, 1763-1768. 2018. DOI:<10.1213/ANE.0000000000002864>.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561 p.

SERGIEIEVA, K. **Vegetation Indices To Drive Digital Agri Solutions**. 2022. Disponível em: <<https://eos.com/blog/vegetation-indices/#ref-1>>. Acesso em: (22/04/2022).

SERRANO, J.; SHAHIDIAN, S.; MARQUES DA SILVA, J. Evaluation of Normalized Difference Water Index as a Tool for Monitoring Pasture Seasonal and Inter-Annual Variability in a Mediterranean Agro-Silvo-Pastoral System. **Water**, v. 11, n. 1, p. 62, 1 jan. 2019. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/w11010062>>.

SHEHZAD, K. *et al.* MAPPING AND MONITORING FOREST LANDSCAPE RESTORATION USING LANDSAT-8 IMAGES. **Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series II Forestry • Wood Industry • Agricultural Food Engineering** 15(64) n. 2. 2022. DOI:<10.31926/but.fwiafe.2022.15.64.2.4v>.

SOUSA, C. L.; PONZONI, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas Santos: INPE, TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais...** 1998.

STRABELI, T. F. *et al.* Modelos espectrais para a estimativa do conteúdo de água em folhas de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 51. 2023. DOI: <<https://doi.org/10.18671/scifor.v50.49>>.



