

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**SILVANA BARROS DA SILVA**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL E DE CERRADÃO POR MEIO DE ÍNDICES DE  
VEGETAÇÃO A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE**

**SÃO CARLOS - SP**  
**2023**

SILVANA BARROS DA SILVA

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL E DE CERRADÃO POR MEIO DE ÍNDICES DE  
VEGETAÇÃO A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, na linha de pesquisa em Sistemas Ecológicos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Ciências Ambientais<sup>1</sup>.

Orientador (a): Prof(a). Dr(a) Renata Sebastiani

Coorientador: Prof. Dr Luciano Elsinor Lopes

São Carlos-SP  
2023

---

<sup>1</sup> Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Silva, Silvana Barros da

Identificação de áreas de floresta estacional semidecidual e de cerrado por meio de índices de vegetação a partir de imagens de satélite / Silvana Barros da Silva -- 2023.  
46f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Renata Sebastiani  
Banca Examinadora: Alessandra dos Santos Penha,  
Danilo Boscolo  
Bibliografia

1. NDVI. 2. S2REP. 3. Sentinel. I. Silva, Silvana Barros da. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Silvana Barros da Silva, realizada em 30/03/2023.

**Comissão Julgadora:**

Profa. Dra. Renata Sebastiani (UFSCar)

Prof. Dr. Luciano Elsinor Lopes (UFSCar)

Profa. Dra. Alessandra dos Santos Penha (UFSCar)

Prof. Dr. Danilo Boscolo (USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

## **DEDICATÓRIA**

À minha querida e amada mãe Maria Elza Pereira dos Santos por todo amor dedicado a mim e às minhas irmãs.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe Maria Elza Pereira dos Santos pela dedicação, amor, carinho e por ser presente nos meus momentos de tristezas e alegrias.

Ao meu marido Vinícius Delgado pela compreensão, pela abnegação de alguns momentos de lazer, por sempre apoiar minhas decisões.

À minha orientadora Renata Sebastiani por sua dedicação e atenção na elaboração desse trabalho e por compreender as dificuldades enfrentadas por nós estudantes durante nossa trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Luciano que aceitou o desafio de me orientar, por sua disponibilidade, dedicação, ideias e sugestões, assim como, sua competência, inteligência e simplicidade como profissional.

A Deus, por colocar em meu caminho pessoas maravilhosas que colaboraram para que eu seja uma pessoa melhor a cada dia, contribuindo para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## RESUMO

Silva, B. S. – IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E DE CERRADÃO POR MEIO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE. 2023 – 46p: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos, 2023.

As florestas brasileiras têm sofrido vertiginosas reduções ao longo dos anos, levando as fitofisionomias como Mata Atlântica e o Cerrado serem consideradas áreas prioritárias para conservação, porém há necessidade do monitoramento e identificação dessas áreas para sua efetiva proteção, o que nem sempre é fácil. Apesar dos estudos a partir do sensoriamento remoto serem amplamente utilizados para monitorar o estado dos remanescentes florestais, ainda existem dificuldades para identificar as diferentes fitofisionomias através do monitoramento via satélite, principalmente, em fitofisionomias com similaridade florística. Assim, o presente trabalho buscou analisar fitofisionomias associadas ao Cerrado e à Mata Atlântica, a partir de imagens do satélite Sentinel- 2, verificando se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e S2REP (*Sentinel 2 Red Edge Position*) são índices viáveis para distinguir as fitofisionomias de Cerradão e Floresta Estacional Semidecidual. O Trabalho foi realizado doze remanescentes florestais, de seis localidades do Estado de São Paulo. As formações são áreas adjacentes de Cerradão e Floresta Estacional Semidecidual. Os dados foram analisados em duas estações distintas, verão e inverno. Foram realizadas análises descritivas e o teste de Análise de Variância (ANOVA). Os resultados indicaram que o NDVI e S2REP conseguem identificar diferenças significativas entre as formações de Cerradão e FES, possibilitando determinar se áreas próximas são da mesma fitofisionomia. Também, foi identificado o efeito da sazonalidade nos valores dos índices analisados, com influência maior das estações do que da fitofisionomia. Concluiu-se que sensoriamento remoto é uma ferramenta complementar ao levantamento florístico e fitossociológico na classificação das fitofisionomias.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto; NDVI; S2REP; Savana; Sentinel 2.

## ABSTRACT

Silva, B. S. – IDENTIFICATION OF SEASONAL SEMIDEDECIDUAL FOREST AND CERRADAO FOREST AREAS UTILIZING VEGETATION INDICES FROM SATELLITE IMAGES. 2022 – 46 p: Dissertation (Master's) – Federal University of São Carlos, Center for Biological and Health Sciences, Graduate Program in Environmental Sciences, São Carlos, 2023.

Brazilian forests have suffered vertiginous reductions over the years, leading phytophysiognomies such as the Atlantic Forest and the Cerrado to be considered priority areas for conservation, however, there is a need to monitor and identify these areas for their effective protection, which is not always easy. Although remote sensing studies are widely used to monitor the state of forest remnants, there are still difficulties in identifying the different phytophysiognomies through satellite monitoring, mainly in phytophysiognomies with floristic similarity. Thus, the present work sought to analyze phytophysiognomies associated with the Cerrado and the Atlantic Forest, based on Sentinel-2 satellite images, verifying whether the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and S2REP (Sentinel 2 Red Edge Position) are viable indices to distinguish the phytophysiognomies of Cerradão and Semideciduous Seasonal Forest. This work has been carried in six locations, twelve of which are forest remnants, in the State of São Paulo. The formations are adjacent areas of Cerradão and the Semideciduous Seasonal Forest. Data were analyzed in two distinct seasons, summer and winter. Descriptive analyses and the Analysis of Variance (ANOVA) test were performed. The results indicated that the NDVI and S2REP can identify significant differences between the Cerradão and FES formations, making it possible to determine if nearby areas are of the same phytophysiognomy. Also, the effect of seasonality on the values of the indexes analyzed was identified, with a greater influence of the seasons than the phytophysiognomy. It was concluded that remote sensing is a complementary tool to the floristic and phytosociological survey in the classification of phytophysiognomies.

**Keywords:** Remote sensing; NDVI; S2REP; Savana; Sentinel 2

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização dos municípios onde se encontram áreas estudadas ...	11
Figura 2 - Mapa de localização do município de Pirassununga/SP com perímetro indicado da Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga (GUARNAE-YS). .....	12
Figura 3 - Mapa de localização do município de Santa Rita do Passo a Quatro/SP com perímetro da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Cerrado Pé-de-Gigante...	13
Figura 4 - Mapa de localização Estação Ecológica de Santa Bárbara do município de Águas de Santa Bárbara (área1); Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu, localizada em Mogi-Guaçu (área2); Parque Estadual de Porto Ferreira do município de Porto Ferreira (área4); e a Estação Ecológica de Santa Maria (área6), do município de São Simão. ....	14
Figura 5 - Legenda das imagens de NDVI e S2REP. ....	19
Figura 6- Comparativo do NDVI na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. A) Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (B) Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (C) Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga.....	22
Figura 7 - Comparativo do NDVI na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. (D) Parque Estadual de Porto Ferreira. (E) ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (F) Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão.....	23
Figura 8 - Gráfico dos valores de NDVI do Cerradão e da FES, no inverno e verão, com as variáveis descritivas média e desvio padrão (traço preto), e os valores mínimos e máximos. ....	25
Figura 9 - <i>Boxplots</i> dos valores de NDVI, comparando as áreas de estudo, no inverno e no verão, com indicativo da média (ponto vermelho). ....	28
Figura 10 - Gráficos da Frequência Relativa (Fr) dos valores de pixels de NDVI do Cerradão e da FES, no verão e inverno. ....	29
Figura 11 - Comparativo do S2REP na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. (A) Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (B) Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (C) Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga.....	32
Figura 12 - Comparativo do S2REP na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. (D) Parque Estadual de Porto Ferreira. (E) ARIE Cerrado	

Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (F) Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão.....	33
Figura 13 - Gráfico dos valores de S2REP do Cerradão e da FES, no inverno e verão, com as variáveis descritivas média e desvio padrão (traço preto), e os valores mínimos e máximos. ....	35
Figura 14- <i>Boxplots</i> dos valores de S2REP, comparando as áreas de estudo, no inverno e no verão, com indicativo da média (ponto vermelho).....	36
Figura 15 - Gráficos da Frequência Relativa (Fr) dos valores de pixels de S2REP do Cerradão e da FES, no verão e inverno. ....	37

## LISTA DE TABELA

Tabela 1- Informações das imagens espectrais SENTINEL 2 utilizadas no estudo. ....	16
Tabela 2 - Informações das bandas espectrais SENTINEL 2 quanto ao comprimento, largura e resolução espacial. ....	16
Tabela 3 – Valores de elevação e azimute solar utilizados nas imagens do Sentinel 2.	17
Tabela 4 - Índices de vegetação analisados para uso do Sentinel 2 .....	19

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Área de Estudo.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Levantamento dos dados.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Processamento dos Dados.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Índices de Vegetação .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Análise dos Dados.....</b>	<b>19</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Índice de Vegetação Posição de Borda Vermelha Sentinel 2 (S2REP) .....</b>	<b>30</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>38</b>
<b>5 REFERÊNCIA .....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a Mata Atlântica ocupou 13,04% (1.110.182 quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>)) do território nacional (IBGE, 2004), mas com as constantes supressões, restam 12,4% do seu tamanho original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2021). Do mesmo modo, o Cerrado, que englobou 23,9%, (2.036.448 km<sup>2</sup>) do território nacional, sofre com perdas significativas em áreas de vegetação nativa (IBGE, 2004) e cerca de 46% dessa vegetação já foi suprimida (STRASSBURG et al., 2017).

O estado de São Paulo detém remanescentes de ambos domínios fitogeográficos, Mata Atlântica e Cerrado. O estado chegou a possuir 67,3% (16.683.167 hectares (ha)) de sua área coberta por Mata Atlântica e 32,7% (8.106.085 ha) por Cerrado, mas esses percentuais foram reduzidos a 32,6% (5.431.220 ha) e 3% (239.312 ha), respectivamente (INSTITUTO FLORESTAL, 2020). Em face de tamanha destruição, há um engajamento entre sociedade civil, pesquisadores e profissionais de diversas áreas do conhecimento para conservar e restaurar áreas vegetadas, entre as quais estão as formações de Mata Atlântica e o Cerrado (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2018; INSTITUTO FLORESTAL, 2020; SOUSA; VIEIRA, 2017), classificados como áreas prioritárias para conservação, devido à velocidade do desaparecimento de habitats e ao elevado número de espécies endêmicas ameaçadas de extinção (MYERS et al., 2000).

Todavia, existem limitações para o monitoramento das áreas vegetadas, dada sua extensão e o número insuficiente de pessoas para cobri-las, tornando a atividade de campo demorada e com elevado custo (SILVA, 2005). Nesse sentido, uso de imagens por sensoriamento remoto é uma opção para diminuir o tempo gasto com as atividades *in loco*, além de facilitar a coleta de dados de lugares menos acessíveis (ANDRADE; FRANCISCO; ALMEIDA, 2014), adquirindo informações de alvos/objetos, ou mesmo dos fenômenos da superfície terrestre sem a necessidade do contato direto com meio físico (EASTMAN, 1998). Tais características fizeram do sensoriamento remoto uma ferramenta amplamente utilizada para monitorar o estado dos remanescentes florestais (ANDRADE; GESTÃO, 2018; BITENCOURT et al., 1997; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2020, 2021; INPE, 2020; INSTITUTO FLORESTAL, 2020; SOUSA; VIEIRA, 2017).

No entanto, há diversos métodos e técnicas para classificação das imagens de satélite, aplicados para extraírem o máximo de informações sobre a superfície

terrestre, as quais devem ser empregadas conforme os objetivos do usuário. Entre as técnicas de classificação mais utilizadas estão a classificação não-supervisionada, classificação supervisionada e a combinação de ambas, chamada de classificação híbrida (VENTURIERI; SANTOS, 1998). Além disso, há estudos que comparam técnicas de classificação e avaliam sua acurácia para caracterização do uso e ocupação do solo e análise da paisagem, diferenciando áreas: urbanas, florestadas, desflorestadas, de pastagem, de produção agrícola, dentre outras (BARBOSA et al., 2011; BARBOSA VALE et al., 2018; DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2011; FURTADO; FRANCISCO; DE ALMEIDA, 2013; PATRÍCIA SOARES; DANIELA VIEIRA; ROBERTO, 2017; QUEIROZ et al., 2004). Também, encontram-se, na literatura, tentativas para distinguir áreas vegetadas, aplicando-se índice de vegetação, porém com certa dificuldade para distinguir fisionomias florestais semelhantes (ANDRADE; FRANCISCO; ALMEIDA, 2014; BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO, 2017; BITENCOURT et al., 1997; SHIROMA et al., 2020).

É importante salientar que os domínios fitogeográficos apresentam um ecossistema predominante, com enclaves de outros sistemas ecológicos e faixa de transição (AB'SABER, 2003). Podem formar-se extensos gradientes vegetais, tornando a identificação das áreas uma tarefa complexa. Como exemplo, temos a distinção do Cerradão e da Floresta Estacional Semidecidual. Esta dificuldade é aumentada diante do adensamento da vegetação do Cerrado, que modifica o Cerrado Típico em Cerradão, ecótonos ou em Floresta Estacional Semidecidual (FES), prejudicando a proteção e manejo no local, visto que as políticas públicas são direcionadas a cada categoria de vegetação (DURIGAN; RAMOS; FRANCO, 2012). Assim é de grande relevância identificar meios que consigam distinguir as diferentes fitofisionomias para amparar a tomada de decisão referente à gestão ambiental.

Desse modo, o presente trabalho utilizou índices de vegetação obtidos a partir de imagens de satélite para caracterizar áreas identificadas previamente como de Cerradão e de Floresta Estacional Semidecidual. Os índices escolhidos para análise foram o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o qual é amplamente utilizado para análise de parâmetros biofísicos e mapeamento da vegetação, do solo, da água, dentre outras funções (CASTANHEIRA; LANDIM; LOURENÇO, 2014; MATSUMOTO; BITENCOURT, 2001; RODRIGUES; RODRIGUES, 2012) e o índice S2REP de Posição de Borda Vermelha Sentinel 2, o qual foi elaborado para estimar variáveis biofísicas com dados do Sentinel 2 com sensores MSI (Instrumento

Multiespectral – *Multispectral Instrument*) (FRAMPTON et al., 2013). Atualmente, as geotecnologias estão mais difundidas e acessíveis (TÔSTO et al., 2014) os satélites estão melhor equipados, com sensores confiáveis e temáticos, com maior número de bandas, melhor resolução espectral, melhor posicionados, com menor interferência atmosférica e maior sensibilidade a vegetação (G. FERREIRA; C. FERREIRA; E. FERREIRA, 2008), ampliando a possibilidade de encontrar melhores resultados na diferenciação das fitofisionomias.

Portanto, o trabalho buscou analisar o índice de vegetação do Cerradão, associado ao Cerrado, e FES, associada à Mata Atlântica, a partir de imagens do satélite Sentinel 2, que possui imagens gratuitas e de fácil acesso. Procuramos responder à seguinte pergunta: As medidas do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a posição de borda vermelha do Sentinel 2 (S2REP) são viáveis para distinguir as fitofisionomias de Cerradão e FES?

## **2 MATERIAL E MÉTODO**

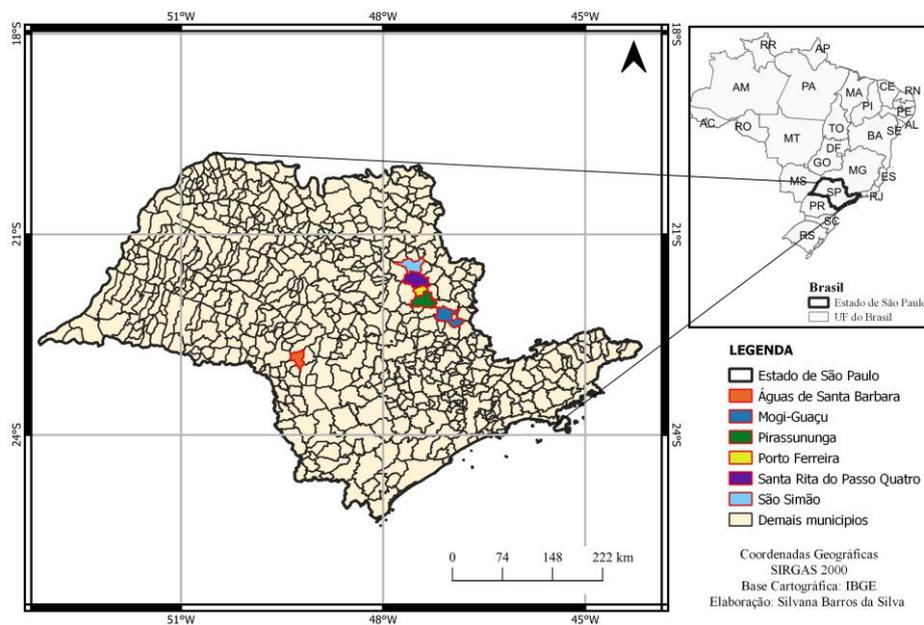
### **2.1 Área de Estudo**

Foram escolhidas na literatura seis áreas localizadas no Estado de São Paulo, por possuírem formação de Cerradão e FES próximas, identificadas e delimitadas em levantamentos florísticos anteriores (áreas 1,2,4,5,6) ou com verificação das formações vegetais em campo (área 3) (ANTUNES et al., 2019; BATALHA, 1997; BITENCOURT et al., 1997; FERNANDES, 2019; GIUDICE NETO, 2015; MELO; DURIGAN, 2009, 2011; RUGGIERO et al., 2006; UEZU et al., 2003; WEISER; GODOY, 2001). A formação de Cerradão foi considerada no presente trabalho como variação fitofisionômica do Cerrado e a Floresta Estacional Semidecidual de Mata Atlântica, classificações amplamente aceitas em estudos de fitogeografia do Brasil (IBGE, 2019; INSTITUTO FLORESTAL, 2020) e pela Lei Federal, 11.428 de 2006, que considera FES como fisionomia de Mata de Atlântica (BRASIL, 2006).

Apesar de não possuir levantamento florístico, na formação de Cerradão, a primeira área escolhida foi a Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga (GUARNAEYS; área 3). Foi realizada visita no local, indicando se tratar de fragmentos florestais

bem conservados e de tamanhos consideráveis, de grande relevância ao desenvolvimento de pesquisa. Uma vez que estudos preliminares identificou espécies da flora ameaçadas no Estado de São Paulo e diversas ainda sem registro de ocorrência para Floresta Ciliar e Floresta Estacional Semidecidual (SEBASTIANI et al., 2022). Além disso, GUARNAE-YS possui parceria com a UFSCAR - Araras para o desenvolvimento de pesquisa *in loco*, tendo grande potencial para estudos futuros, principalmente na área de Cerradão, a qual apresenta apenas uma caracterização geral da área, necessitando de estudos mais aprofundados. As demais áreas escolhidas a partir de estudos florísticos publicados foram: Estação Ecológica de Santa Bárbara, pertencente ao município de Águas de Santa Bárbara (área1); Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu, localizada em Mogi-Guaçu (área2); Parque Estadual de Porto Ferreira do município de Porto Ferreira (área4); Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Cerrado Pé-de-Gigante (área5), localizada em Santa Rita do Passo Quatro e a Estação Ecológica de Santa Maria (área6), do município de São Simão (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização dos municípios onde se encontram áreas estudadas

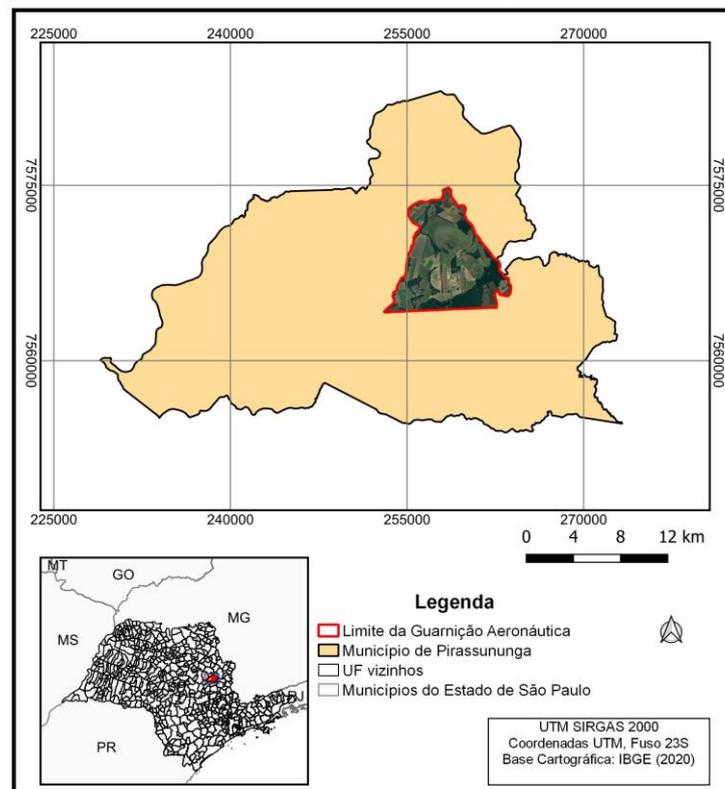


Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Do total da área da GUARNAE-YS (6.576 ha), 2609 hectares são constituídos por fragmentos de vegetação com: 2001 hectares de vegetação nativa (FES, Transição Floresta Ciliar/FES, Transição Cerrado/FES, Cerrado e Cerradão) 252 hectares de Várzea e 356 hectares destinado à Silvicultura (*Pinnus* spp. e *Eucalyptus*

spp.) (FERNANDES, 2019). Em virtude de sediar a Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga, o acesso a toda área é restrito, liberado apenas com autorização prévia, contribuindo para a conservação dos fragmentos no local.

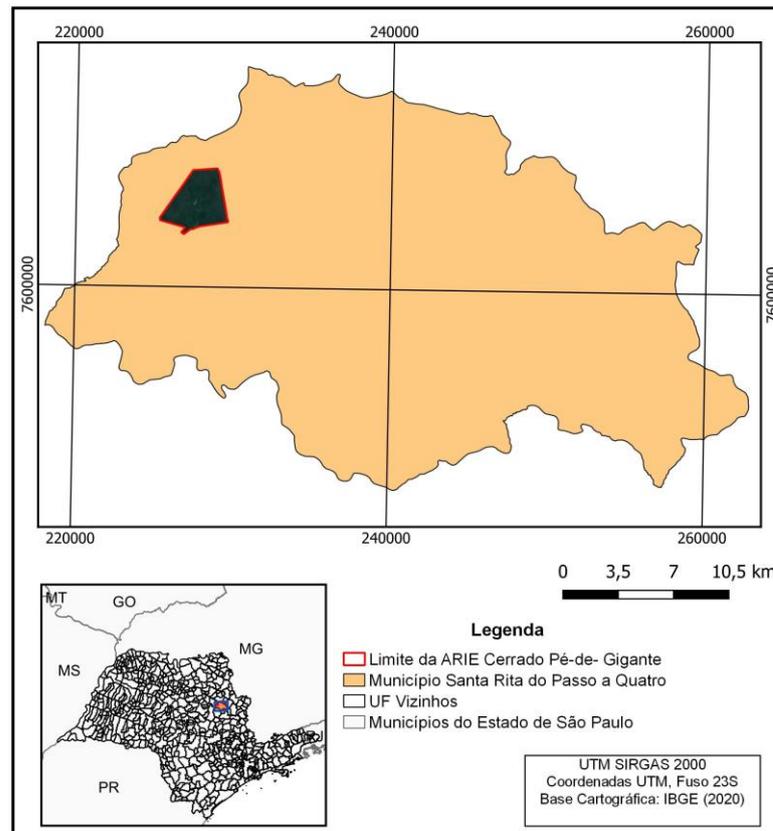
Figura 2- Mapa de localização do município de Pirassununga/SP com perímetro indicado da Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga (GUARNAE-YS).



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Por sua vez, a ARIE Cerrado Pé-de-Gigante (Figura 3) foi criada pelo Decreto Federal nº 99.275, de 6 de junho de 1990. A área era gerida pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo e pelo Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, ambos responsáveis pelo desenvolvimento de pesquisa no local, mas a vigilância da área era de responsabilidade do Instituto Florestal (BATALHA, 1997), o qual foi extinto e teve suas atividades transferidas para o Instituto de Pesquisas Ambientais (SÃO PAULO (ESTADO), 2021) Atualmente, ARIE Cerrado do Pé-de-Gigante, integra a lista de Unidades de Conservação (UCs) do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (BRASIL, 2000). □

Figura 3- Mapa de localização do município de Santa Rita do Passo a Quatro/SP com perímetro da Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Cerrado Pé-de-Gigante.

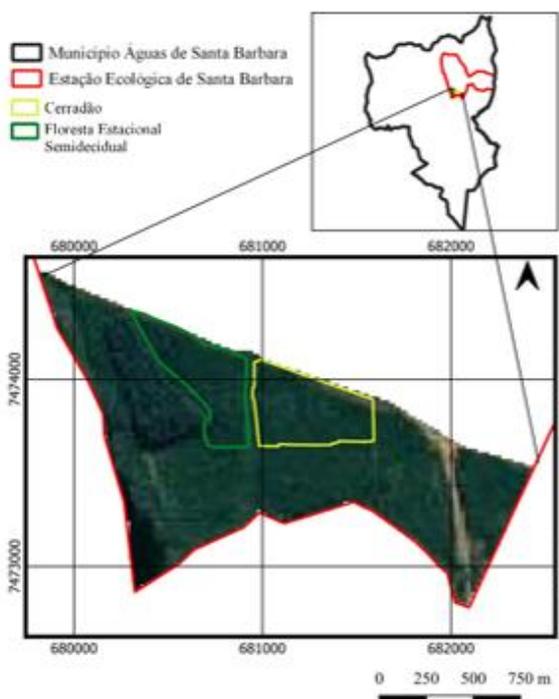


Fonte: elaborado pelo autor (2022)

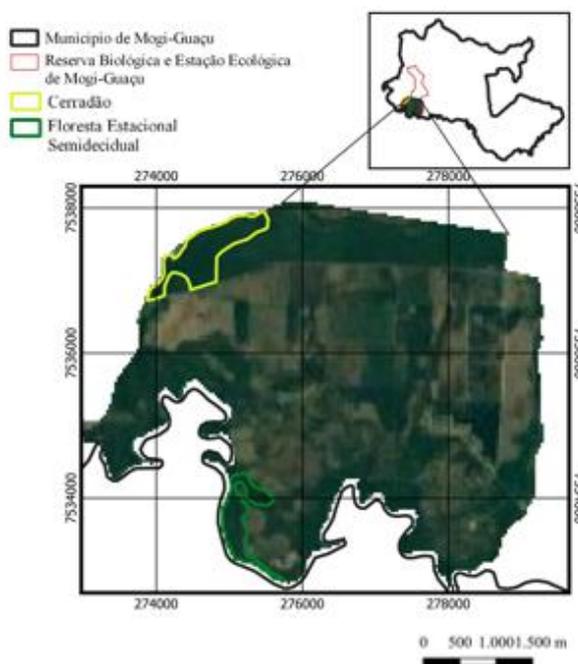
O Cerrado Pé-de-Gigante situa-se no Parque Estadual de Vassununga, com as glebas Praxedes, Maravilha, Capetinga Leste, Capetinga Oeste e Capão da Várzea, totalizando uma área de cerca de 2.070ha. Das glebas do Parque Estadual de Vassununga, o Pé-de-Gigante é a única com fitofisionomias do Cerrado (CTBIO, 2019) compostos por campo sujo, campo limpo, campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, Cerradão e uma área pequena de FES, fitofisionomia de Mata Atlântica (BITENCOURT et al., 1997). Nas demais glebas estão presentes apenas vegetação de FES (CTBIO, 2019).

As demais áreas de estudo (Figura 4) possuem plano de manejo com informações que as caracterizam de maneira abrangente (ANTUNES et al., 2019; GIUDICE NETO, 2015; MELO; DURIGAN, 2011; UEZU et al., 2003).

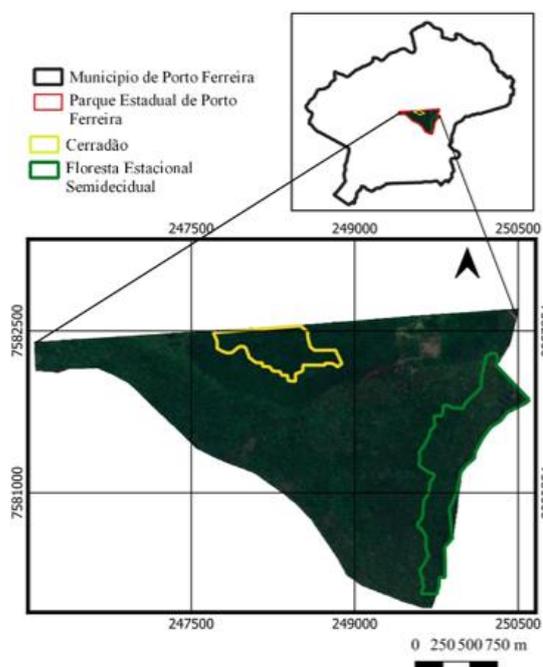
Figura 4 - Mapa de localização Estação Ecológica de Santa Bárbara do município de Águas de Santa Bárbara (área1); Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu, localizada em Mogi-Guaçu (área2); Parque Estadual de Porto Ferreira do município de Porto Ferreira (área4); e a Estação Ecológica de Santa Maria (área6), do município de São Simão.



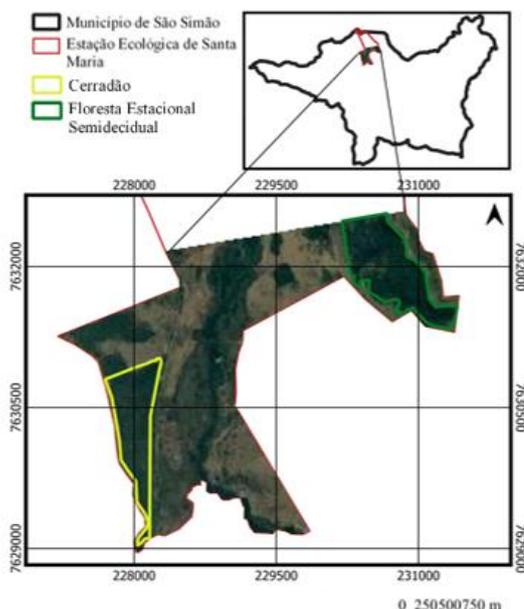
Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: EPSG:32722 - WGS 84 - 22S



Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: EPSG:32723 - WGS 84 - 23S



Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: EPSG:32723 - WGS 84 - 23S



Sistema de Coordenadas Geográficas  
Datum: EPSG:32723 - WGS 84 - 23S

## 2.2 Levantamento dos dados

As imagens utilizadas no estudo para obtenção dos índices de vegetação foram do satélite Sentinel 2 – MSI, do nível 2A, as quais possuem classificação de cena e correção atmosférica. São imagens com reflectância corrigida do Bottom-Of-Atmosphere (BOA) a partir de imagem Nível-1C Top-Of-Atmosphere (TOA). Ou seja, a partir de imagem com dados de refletância de topo da atmosfera (TOA) do Nível-1C é gerada imagem com dados corrigidos dos efeitos atmosféricos com reflectância superficial (BOA), do Nível-2A (THE EUROPEAN SPACE AGENCY, 2022).

Considerando que na estação da seca as fitofisionomias, são mais distintas com redução de interferência da sazonalidade (GAMARRA et al., 2016) e que há estudos que evidenciam a influência das estações nos resultados dos índices de vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013; SILVA et al., 2021) optou-se por analisar as áreas de estudo na estação do verão e do inverno. Selecionamos imagens do dia 10 de março de 2020 e 18 de julho 2020, disponíveis gratuitamente no site do programa Copernicus (*Copernicus Open Access Hub*) e dentro das estações definidas.

Foram baixadas três cenas do Sentinel 2 para o verão e três para o inverno. Os dados de cada área com o par de fitofisionomia Cerradão e FES a ser comparado foram obtidos na mesma imagem, minimizando efeitos de diferenças entre imagens. Porém, para abranger as seis áreas foram necessárias três imagens. A Estação Ecológica de Santa Bárbara do município de Águas de Santa Bárbara (Área1) estava em uma cena separada das demais. A área da Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu (Área 2), da Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga (Área3) e do Parque Estadual de Porto Ferreira (Área4) estavam localizadas na mesma cena e a ARIE Cerrado Pé-de-Gigante em Santa Rita do Passo Quatro (Área5) e a Estação Ecológica de Santa Maria em São Simão estavam juntas (Área6) (Tabela 1). O Sentinel 2 - MSI realiza amostragem de 13 bandas espectrais, com resolução de 10, 20 e 60 metros em diferentes comprimentos de onda (Tabela 2). No presente trabalho as bandas utilizadas foram a de números 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 1- Informações das imagens espectrais SENTINEL 2 utilizadas no estudo.

Informações	Área1		Área2/ Área3/ Área4		Área5/ /Área6	
Data:	05/03/2020	18/07/2020	05/03/2020	18/07/2020	05/03/2020	18/07/2020
Satélite:	Sentinel-2B	Sentinel-2A	Sentinel-2B	Sentinel-2A	Sentinel-2B	Sentinel-2A
Porcentagem de cobertura de nuvem:	0,02	3,67	0,10	0,08	2,25	0,02
Porcentagem de sombra de nuvem:	0,00	0,30	0,01	0,04	0,90	0,00
Número da órbita (início):	15651	26490	15651	26490	15651	26490
Direção do passe:	Descendente	Descendente	Descendente	Descendente	Descendente	Descendente
Nível de processamento:	Level-2A	Level-2A	Level-2A	Level-2A	Level-2A	Level-2A
Tipo de produto:	S2MSI2A	S2MSI2A	S2MSI2A	S2MSI2A	S2MSI2A	S2MSI2A
Órbita relativa (início):	38	38	38	38	38	38

Fonte: site scihub Copernicus (2020)

\*Área1 - Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara; Área2 - Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu; Área3 - Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga; Área4 - Parque Estadual de Porto Ferreira; Área5- ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro; Área6 - Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão.

Tabela 2 - Informações das bandas espectrais SENTINEL 2 quanto ao comprimento, largura e resolução espacial.

Número da Banda	S2A		S2B		Resolução Espacial (m)	Bandas Espectrais
	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)		
1	442,7	21	442.2	21	60	Aerosols
2	492,4	66	492.1	66	10	Blue
3	559,8	36	559	36	10	Green
4	664,6	31	664,9	31	10	Red
5	704.1	15	703.8	16	20	Red Edge 1
6	740,5	15	739,1	15	20	Red Edge 2
7	782,8	20	779,7	20	20	Red Edge 3
8	832.8	106	832.9	106	10	NIR
9	945.1	20	943.2	21	60	Water Vapour
10	1373,5	31	1376,9	30	60	Cirrus
11	1613,7	91	1610,4	94	20	SWIR 1
12	2202.4	175	2185,7	185	20	SWIR 2
8a	864,7	21	864.0	22	20	Red Edge 4

Fonte: The European Space Agency (2022)

### 2.3 Processamento dos Dados

O processamento das imagens foi realizado no software Quantum Gis (QGIS), um Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e aberto. As bandas de 20 metros foram reprojctadas para resolução espacial de 10 metros. A correção topográfica foi realizada por meio da ferramenta de correção topográfica (*topographic correction*) no próprio sistema do QGIS, utilizando modelo global de elevação digital NASADEM, disponível no site *Earthdata*, da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), reprojctado também para resolução de 10 metros. As imagens foram alinhadas. Foram adicionados os valores de azimute e a elevação solar segundo informações das imagens (Tabela 3), aplicado o método de correção de “Minnaert with slope (LAW; NICHOL, 2004) e o coeficiente padrão 0,5 para todas as bandas.

Tabela 3 – Valores de elevação e azimute solar utilizados nas imagens do Sentinel 2.

Áreas	Data da aquisição	Elevação Solar (graus)	Azimute Solar (graus)
Estação Ecológica de Santa Bárbara – Águas de Santa Bárbara	05 de março de 2020	56,1700	63,8205
	18 de julho de 2020	37,8119	34,7852
Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu/ Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga / Parque Estadual de Porto Ferreira	05 de março de 2020	58,2491	63,0113
	18 de julho de 2020	39,6130	33,1733
Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão/ ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro	05 de março de 2020	58,6104	64,3773
	18 de julho de 2020	40,3429	33,6376

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Foram consideradas as delimitações das formações florestais baseadas no perímetro realizado por: Fernandes (2019), na Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga; Melo; Durigan (2011), na Estação Ecológica de Santa Bárbara, a

Reserva Biológica; Giudice Neto (2015), na Estação Ecológica de Mogi-Guaçu; Uezu *et al.* (2003), no Parque Estadual de Porto Ferreira; Bitencourt *et al.* (1997) na ARIE Cerrado Pé-de-Gigante e por Antunes *et al.* (2019), na Estação Ecológica de Santa Maria. Para cada área de estudo, foram criados dois polígonos, um para a formação de Cerradão e outro para FES, os mesmos polígonos foram utilizados nas imagens do verão e do inverno, mantendo assim o mesmo tamanho das áreas selecionadas.

Também, foram mantidos espaços entre o limite das áreas de formações florestais e os polígonos criados para que durante as bordas dos fragmentos não influenciasses os resultados, visto que a vegetação da borda do fragmento é exposta à maior incidência de radiação solar e ventos que alteram sua evapotranspiração e diminuem a umidade do solo, em decorrência da secagem direta da sua superfície ou mesmo pela maior demanda evaporativa das folhas (KAPOS, 1989).

## 2.4 Índices de Vegetação

Foram calculados os índices NDVI e S2REP diretamente no QGIS, conforme fórmulas apresentadas na Tabela 4. O NDVI foi proposto por Rouse *et al.* (1974) e é amplamente conhecido e utilizado (BARROS; FARIAS; MARINHO, 2020; GAMARRA *et al.*, 2016; GUEDES; SILVA, 2018; PATRÍCIA SOARES; DANIELA VIEIRA; ROBERTO, 2017; RODRIGUES, 2010), sendo um indicador simples de biomassa fotossinteticamente ativa. A clorofila presente na vegetação absorve a energia solar na faixa do vermelho visível (RED) e reflete a faixa de infravermelho próximo (VNIR), a partir da relação matemática dessas bandas espectrais se determina o NDVI, que varia de -1,0 a 1,0. A vegetação apresenta valores de NDVI positivo. O solo exposto, no que lhe concerne, tem índices baixos e os corpos d'água, rochas e nuvens são exemplos de alvo que apresentam NDVI negativo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2020).

Apesar de sua ampla utilização uma limitação do NDVI é a saturação. A partir de altos níveis de biomassa vegetal, o índice se estabiliza mesmo com aumento da densidade da vegetação. Porém, novos índices baseados na borda vermelha podem reduzir o problema de saturação do NDVI (SUN *et al.*, 2020).

No tocante ao S2REP, Frampton *et al.* (2013) baseado na estimativa da borda vermelha (REP - Red Edge Position), o qual possibilita estimar o conteúdo de clorofila

em áreas espaciais muito extensas com alta resolução temporal, propôs o índice de vegetação Posição de Borda Vermelha Sentinel 2 (S2REP), considerando que o Sentinel 2 possibilitaria as medições de reflectância dentro e ao redor do vermelho (RE), em uma resolução avançada, com revisitas mais rápidas e com recurso para o monitoramento da vegetação, melhorando caracterização do REP com a combinação das bandas 5 e 6.

Tabela 4 - Índices de vegetação analisados para uso do Sentinel 2

Índice de Vegetação	Fórmula	Bandas Sentinel -2 no QGIS	Autores
NDVI	$(NIR - R) / (NIR + R)$	$(B8 - B4) / (B8 + B4)$	Rouse <i>et al.</i> , (1973)
S2REP	$705 + 35 * (((VNIR3 + R) / 2) - VNIR) / (VNIR2 + VNIR)$	$705 + 35 * (((B7 + B4) / 2) - B5) / (B6 - B5)$	Frampton <i>et al.</i> , (2013)

\* banda 4 (V), banda 5 (VNIR), Banda 6 (VNIR2), Banda 7 (VNIR3) e Banda 8 (NIR)

## 2.5 Análise dos Dados

Inicialmente foram geradas, por meio do QGIS, figuras com falsa cor para cada fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, com os valores de NDVI e S2REP, considerando todas as unidades de dados (pixels). Foram utilizados os valores mínimo e máximo encontrados para os índices, aplicado a configuração interpolar linear com gradientes de cores, divididos em sete classes em intervalos iguais, conforme legenda na Figura 4, podendo assim comparar as alterações das áreas de forma visual.

Figura 5 - Legenda das imagens de NDVI e S2REP.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Foram realizadas análises descritivas e o teste de Análise de Variância (ANOVA) por ajuste de Modelos Lineares Generalizados com distribuição Gaussiana e função de ligação Identidade para cada uma das variáveis resposta (NDVI e S2REP; APÊNDICE 1). O modelo contendo o fator fitofisionomia (Cerradão e FES) e, também, o modelo com fator estação (verão e inverno) foram comparados com modelo nulo contendo apenas uma média geral (intercepto). As significâncias dos fatores de interesse na explicação das variações observadas foram obtidas por meio da estatística F e respectivos valores de p (CRAWLEY, 2013). Cada uma das variáveis resposta (de NDVI e S2REP; APÊNDICE 1) foi modelada. Posteriormente, foi comparado o modelo nulo com o fator fitofisionomia em cada área, no verão e no inverno, separadamente (APÊNDICE 2). Foi considerado nível de significância de 5% ( $p\text{-valor} < 0,05$ ). Utilizamos o programa rstudio, que também é software livre e gratuito.

O valor médio, desvio padrão, máximo e mínimo para cada área de estudo, nas duas fitofisionomias (Cerradão e FES) e em ambas as estações (verão e inverno) foram apresentados em forma de gráficos e a fim de complementar a análise foram elaborados o *boxplot* com a mediana, 1º e 2º quartil e *outliers*. Além disso, foram geradas tabelas com valores dos pixels das áreas estudadas, realizado a contagem desses valores, em seguida, calculado a Frequência Relativa (Fr) dos valores de pixels, padronizando os dados para criação dos gráficos, possibilitando a comparação visual entre as áreas nas diferentes estações do ano e identificando as sobreposições dos valores dos índices. Visto que, a frequência relativa indica o tamanho de um conjunto de valores em porcentagem, além disso, a distribuição por frequência permite organizar os dados de forma clara, facilitando a compreensão, evidenciando suas tendências (FEIJOO, 2010).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Percebe-se, com resultado da análise de variância, que houve diferença significativas ( $p\text{-valor} < 0,05$ ) entre as áreas de Cerradão e entre as áreas de FES (Anexo 1), constatando que na FES predominam os maiores valores médios e máximo de NDVI (Figura 7) em todas as unidades analisadas, podendo ser observado nas

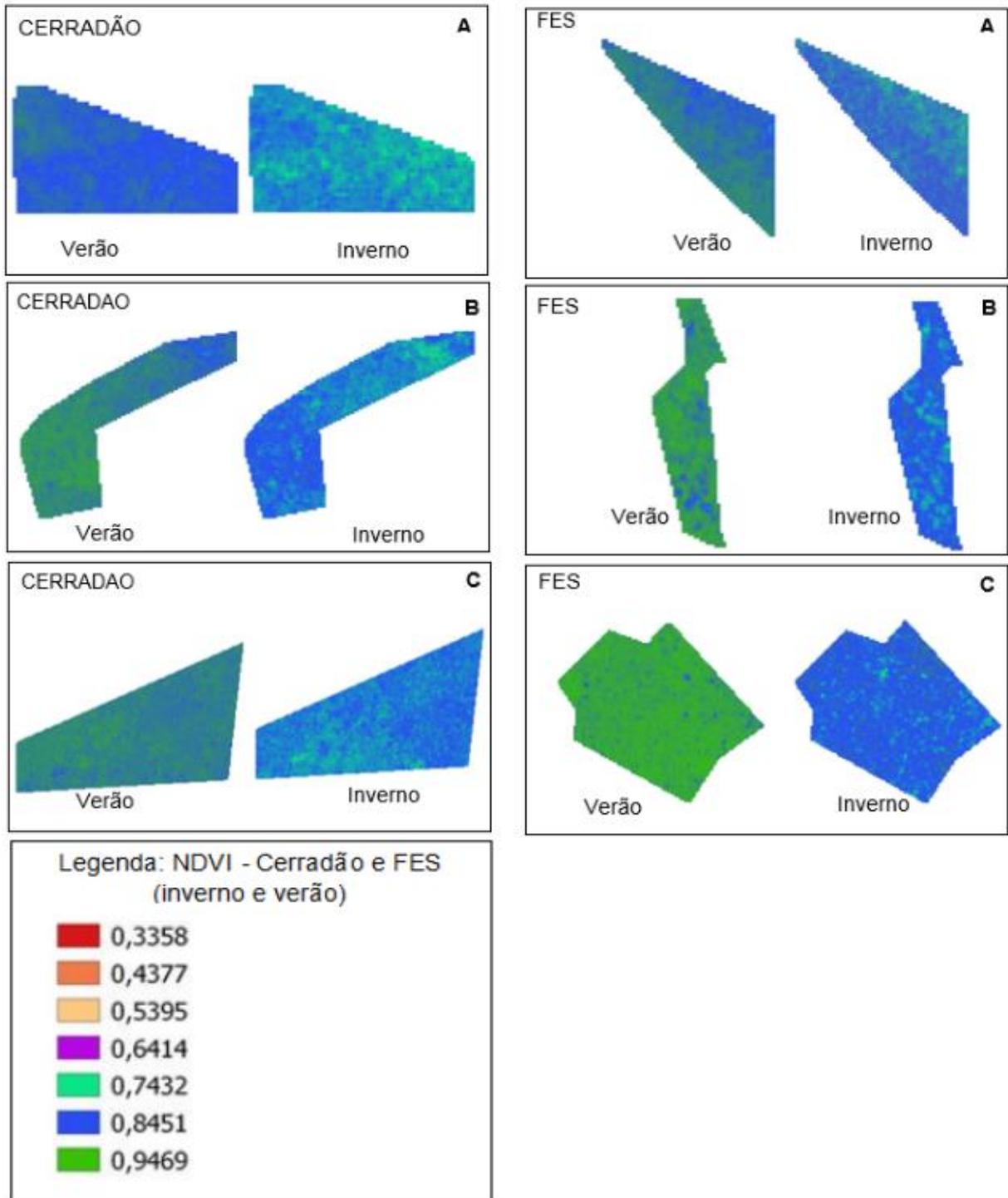
imagens com os valores do índice (Figura 5 e 6), representados pela cor azul e verde que estão mais concentradas na faixa de 0,8451 a 0,9469, sendo considerada uma vegetação mais densa, uma vez que, quanto mais próximos de 1,0 o valor de NDVI, mais densa e saudável é a vegetação, a qual sempre apresenta valores positivos (EMBRAPA, 2020).

A variação explicada (*deviance*) foi maior nos modelos com fator estação do que nos modelos com fator fitofisionomia, indicando que as diferentes estações explicam uma variação maior nos dados do que o fato de pertencerem ao Cerradão ou FES. Ao analisar variável fitofisionomia nas diferentes estações, houve diferença significativa em todas as áreas ( $p$ -valor $<0,05$ ).

Portanto, a sazonalidade influencia as formações vegetadas, alterando sua densidade e os valores dos índices. Os resultados vão ao encontro dos de Haddad *et al.* (2022) que ao avaliarem o desempenho das métricas fenológicas na diferenciação de fitofisionomias de Cerrado, utilizando os índices de vegetação (VIs), NDVI, EVI (Índice de vegetação aprimorada - *Enhanced vegetation Index*) e GRND (Diferença Normalizada Verde-Vermelho - *Green-Red Normalized Difference*), identificaram que a sazonalidade alterou os valores dos índices na maioria das fitofisionomias, havendo maiores valores de IVs no período chuvoso, com pico em janeiro, e os menores no período de maior seca, entre agosto a setembro. Os autores também verificaram maior precisão do NDVI na classificação da maioria das fitofisionomias Cerrado durante a estação seca, com uso das métricas fenológicas.

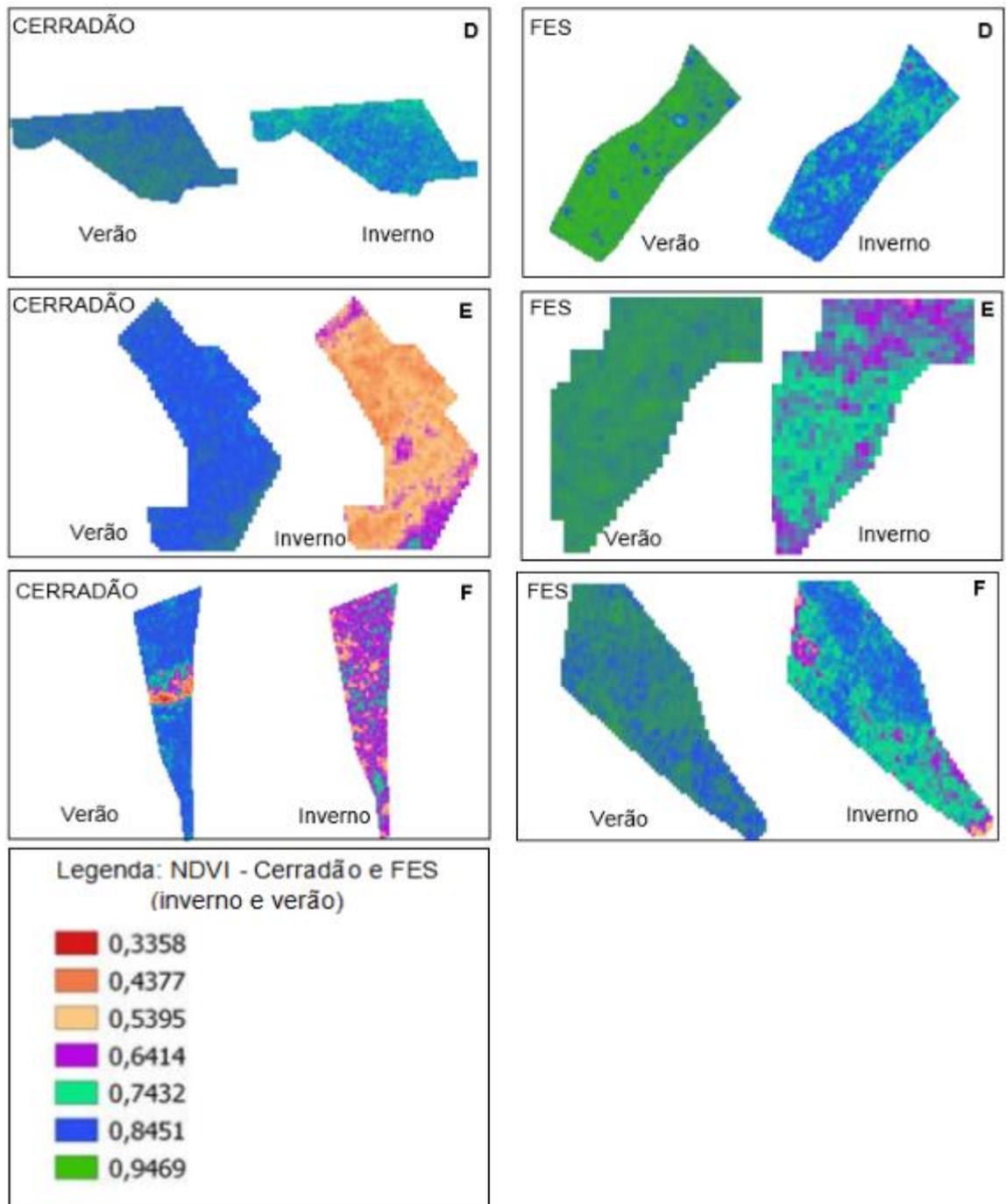
Bitencourt *et al.* (1997) ao analisar a ARIE, considerada no presente trabalho como área5, com imagens do Landsat-5, no período de 5 julho de 1995, durante o inverno, não encontraram diferenças nos valores de NDVI do Cerradão e da FES. No entanto, com o Sentinel 2 houve um avanço na classificação da área5 e nas demais áreas que apresentaram diferenças significativas ( $p$ -valor $<0,05$ ), principalmente, na avaliação entre as diferentes estações, sendo possível notar diferenças visuais e, também, entre os valores médios para a ARIE (Figura 5-E; Figura 7- área 5; Figura 8- área 5).

Figura 6- Comparativo do NDVI na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. A) Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (B) Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (C) Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 7 - Comparativo do NDVI na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. (D) Parque Estadual de Porto Ferreira. (E) ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (F) Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A variação nos valores dos índices analisados entre o período seco e chuvoso também foi identificada por SILVA *et al.* (2021), principalmente, para o NDVI. No mesmo estudo foram avaliadas as bandas individualmente, entre elas as bandas 4 e 8, utilizadas no cálculo do NDVI. A banda 4 mostrou diminuição da reflectância no

período chuvoso, diminuição essa que o autor relacionou com aumento da densidade da vegetação nesse período, ocorrendo maior interação com os pigmentos fotossintetizantes, e vice-versa, quando a densidade diminui a interação também é menor. No que se refere à banda 8, identificou-se que os valores de reflectância são maiores no período chuvoso em relação ao período seco, porém a explicação é contrária à banda 4, pois, devido a maior densidade da vegetação, há menos absorção pelos pigmentos da fotossíntese e maior espalhamento no interior das folhas. Segundo Ponzoni (2002) a radiação incidente sobre os constituintes da vegetação, folhas, galhos, flores, frutos, etc, pode ser absorvida ou espalhada, sendo que o processo de espalhamento se divide em reflexão e transmissão.

Ao analisar as variáveis descritivas de média, desvio padrão, valores mínimos e máximos (Figura 7), percebe-se que a área6 do Cerradão-verão teve um comportamento atípico das demais áreas, registrando o maior desvio padrão (0,0960), ou seja, a variação é maior, em relação à média. Porém, ao analisar todas as áreas no Cerradão, percebe-se que o Cerradão-verão registrou menor variação do que as áreas do Cerradão-inverno.

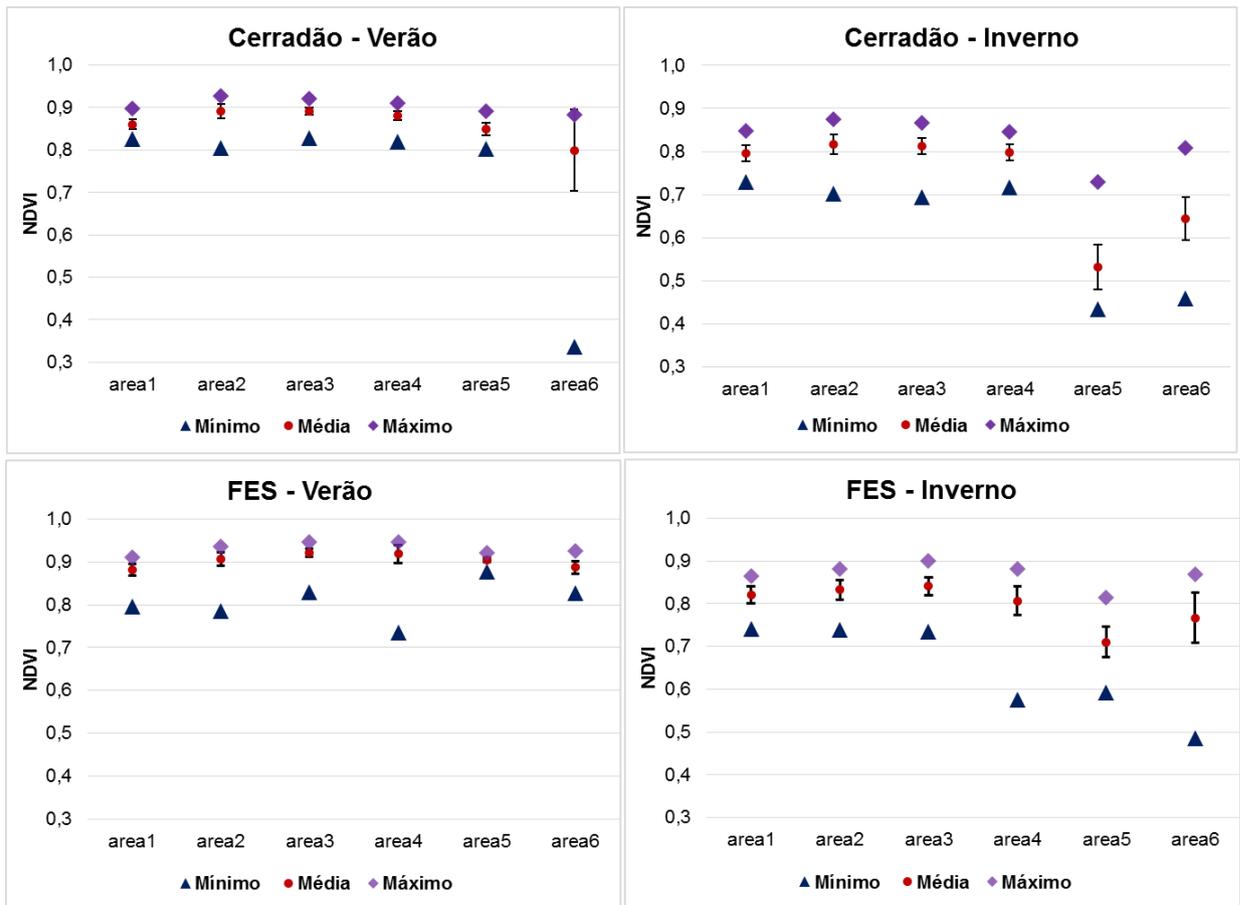
É importante salientar que, em geral, as variações entre o valor mínimo e máximo nas formações Cerradão-inverno e da FES-inverno foram maiores do que no verão. No inverno houve diminuição nos resultados de NDVI em todas as áreas analisadas e foi a estação com maior desvio padrão (Figura 7). Como o NDVI é indicador simples de biomassa fotossinteticamente ativa, percebe-se que ocorre uma diminuição no processo de fotossíntese da vegetação de uma estação para outra, com influências significativas da estação na resposta espectral da vegetação em todas as áreas.

Os resultados encontrados são corroborados por Gamarra *et al.* (2016) que durante estação mais seca, utilizando imagens das cenas do satélite LANDSAT 5, verificou nos fragmentos de Cerradão os valores médios de NDVI entre 0,685 e 0,821, já em área de Mata seca e ciliar os valores médios dos fragmentos amostrados foram de 0,745 a 0,963, deixando evidente que ocorre distinção nas respostas espectrais nas diferentes fitofisionomias e que Cerradão tende a ter resultados de NDVI menores do que outras formações florestadas. Segundo FELFILI *et al.* (2011) muitos trabalhos entendem FES como mata seca, podendo ser confundida por alguns autores com o Cerradão.

A redução nos valores para todas as áreas, em ambas formações, durante o inverno, pode ser explicada pelo estresse hídrico sofrido pela vegetação, em decorrência do período mais seco. Conforme FELFILI *et al.* (2011) é uma estação desfavorável à vegetação do clima tropical, associada a um período menor de luz, diminuição hídrica e da temperatura do ar, dentre outros fatores que causam alterações nas atividades bióticas da vegetação, em resposta às variações do ambiente. Dessa forma, as plantas adotam estratégias para resistirem ao estresse causado pela diminuição dos recursos e dos fatores que restringem suas atividades. As condições desfavoráveis, como déficit hídrico, podem ocasionar a perda das folhas, o que acontece com muitas espécies vegetais de clima estacional durante o período mais seco.

De fato, ao analisar individualmente as áreas, notam-se diferenças nos valores médios de NDVI. Porém, nesse caso os valores médios do NDVI não foram adequados para distinguir as fitofisionomias, visto que, apesar de se divergirem, são valores muito próximos, com diferenças muito pequenas em praticamente todas as áreas (Figura 7). Verifica-se, também, que a influência da estação nos resultados é maior do que a das fitofisionomias. Não foi possível definir o que seria área Cerradão e o que seria FES sem utilizar a comparação entre duas áreas, sendo necessário verificar não somente as variáveis descritivas, média e desvio padrão, mas examinar a distribuição dos dados nas diferentes estações. Nos pareceu mais promissora a análise da mediana e quartis (Figura 9) que evidenciam a distribuição dos valores de NDVI, que podem ser melhor visualizados pelo gráfico de frequência (Figura 10). Shiroma *et al.* (2020) utilizando imagens de três diferentes satélites, Alos Avnir-2, Landsat-5 e IRS-P6, constataram que os valores médios do NDVI e do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), não foram suficientes para distinguir com precisão as áreas Cerradão e de Mata. No mesmo estudo, verificou-se que o desempenho dos satélites diferiu para distinguir as fitofisionomias florestadas, com o NDVI, o Alos Avnir-2 obteve os melhores resultados, enquanto o IRS-P6 teve o pior.

Figura 8 - Gráfico dos valores de NDVI do Cerradão e da FES, no inverno e verão, com as variáveis descritivas média e desvio padrão (traço preto), e os valores mínimos e máximos.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

\* (área 1) - Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (área 2) - Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (área 3) - Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga. (área 4) - Parque Estadual de Porto Ferreira. (área 5) - ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (área 6) - Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão.

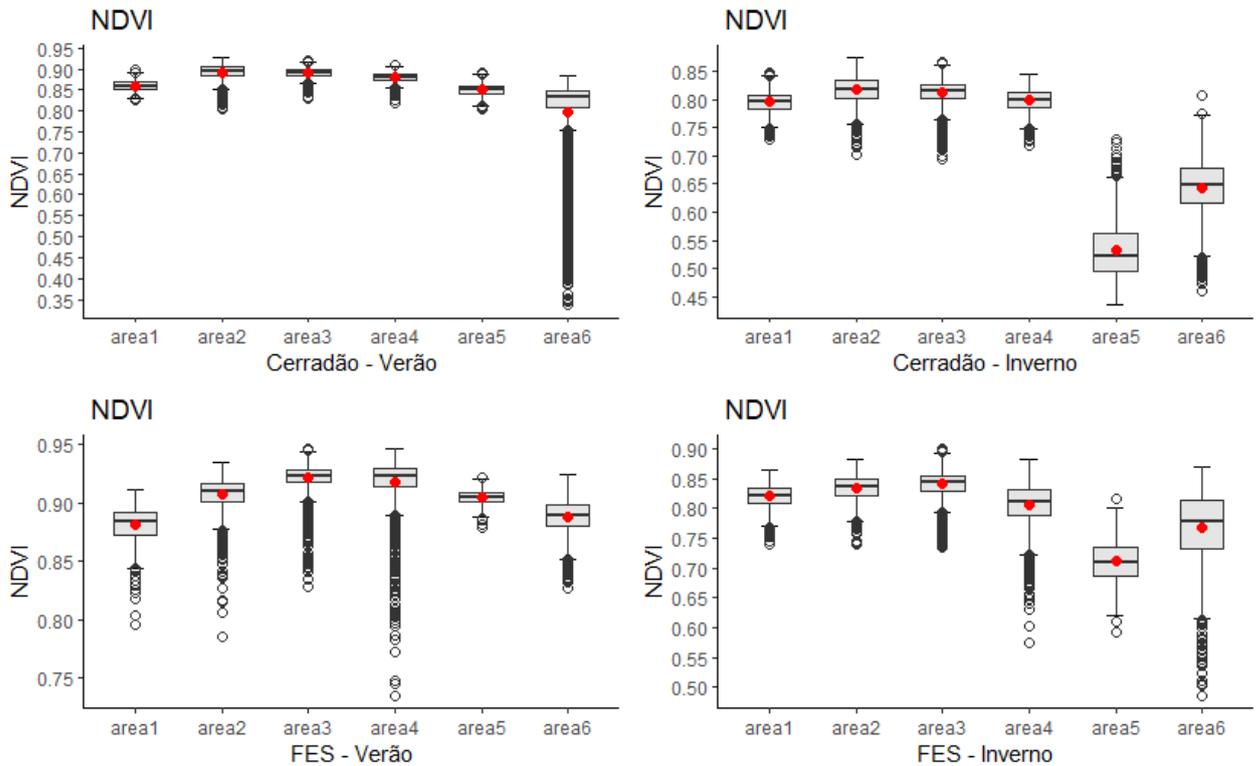
A partir da análise dos *boxplots* (Figura 8) percebe-se que no Cerradão-verão mais de 75% dos dados de NDVI estão abaixo de 0,90 se concentrando, principalmente, na faixa de 0,90 – 0,80. Percebe-se, ainda, a ocorrência de muitos *outliers* abaixo do limite inferior nas áreas 2, 3, 4 e, principalmente, na área 6, com maior quantidade de valores discrepantes. No Cerradão-inverno a concentração dos valores de NDVI diminuiu para 0,85 – 0,75. Nas áreas 1,2,3 e 4, no entanto, na área 5, 100% dos valores estão abaixo de 0,75 e, na área 6 75% dos valores estão entre 0,70 e 0,60. Dessa forma, percebe-se, no Cerradão-inverno que a distribuição dos dados se concentram em uma faixa de NDVI menor e há comportamento distinto das áreas 5 e 6, em relação às demais áreas, onde ambas as áreas apresentaram a maior variabilidade dos dados e registram menores valores de NDVI para a formação, e

destoam entre si, a área 5 apresentou assimetria positiva e a área 6 assimetrias negativas.

No tocante a FES-Verão, as áreas 2,3,4, e 5 apresentaram 75% dos seus valores acima de 0,90, por sua vez, a área 1 e 6, 75% dos dados estão concentrados entre  $\sim 0,90$  a  $\sim 0,85$ . Nota-se que em todas as áreas de FES-Verão tiveram *outliers* abaixo do limite inferior e uma maior variabilidade quando comparada ao Cerradão-verão. Nas áreas 1, 2 e 3 da FES-inverno, 75% dos dados estão entre  $\sim 0,87$  a  $\sim 0,80$  a área 4 com 75% entre  $\sim 0,87$  a  $0,77$ . Na área 5, no que lhe concerne, apresentou poucos valores discrepantes, mas cerca 75% dos valores de NDVI estão abaixo de 0,75 e acima de 0,65, já a área 6 teve maior variabilidade na FES e registrou o menor valor de NDVI (abaixo de 0,5) para formação e 50% dos valores de NDVI ficaram abaixo de  $\sim 0,77$ . Assim, as formações das áreas 5 e 6 poderiam ser facilmente confundidas se fossem avaliadas apenas na estação do verão, porém, verifica-se que no inverno a predominância de valores maiores para formação de FES, mostrando a necessidade de comparar as áreas de vegetação em diferentes estações do ano para se distinguir as formações entre Cerradão e FES, sendo expressivas as mudanças do NDVI nas diferentes estações.

Os *boxplots* indicam que os dados do Cerradão-verão são mais simétricos, com menor dispersão se comparados a Cerradão-inverno. Ou seja, no Cerradão-verão a área é mais homogênea e essa homogeneidade diminui na estação do inverno. Observa-se, também, que a FES-verão em relação a FES-inverno apresentou comportamento similar na maioria das áreas, havendo uma maior variabilidade dos dados nas áreas 5 e 6 no inverno, também podendo ser observada na Frequência Relativa (Fr) (Figura 9). Ao comparar Cerradão-verão com FES-verão, o NDVI da área de Cerradão é mais homogêneo, mas ao comparar a Cerradão-inverno e FES-inverno a dispersão dos dados é similar, concentrando os valores de NDVI em uma mesma faixa, o que dificultaria a identificação das áreas ao analisar somente o inverno, demonstrando que no verão a diferença é maior, sendo necessário comparar os valores de NDVI nas diferentes estações do ano para conseguir diferenciar as fitofisionomias florestadas. Ainda houve uma redução dos valores no inverno em ambas as formações, mas na FES predomina os maiores valores de NDVI.

Figura 9- *Boxplots* dos valores de NDVI, comparando as áreas de estudo, no inverno e no verão, com indicativo da média (ponto vermelho).



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

\* (área 1) - Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (área 2) - Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (área 3) - Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga. (área 4) - Parque Estadual de Porto Ferreira. (área 5) - ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (área 6) - Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão

Verificou-se, ainda, que valores de pixels do NDVI, encontrados para o Cerradão e FES, se sobrepuseram em todas as áreas estudadas (Figura 11). Os resultados podem ser explicados pela presença de espécies generalistas encontradas em ambas fitofisionomias que assemelham essas formações. (DURIGAN; RAMOS; FRANCO, 2012). Já as diferenças nos valores de NDVI, podem ser justificadas pelas espécies típicas das formações ou por conjunto de feições locais e predominância da vegetação na área. Conforme Ab`Saber (2003) há espécies que podem ser favorecidas ou desfavorecidas em determinado espaço, em virtude das áreas de transição de vegetação, condições climáticas e ecológicas, podendo predominar ou não localmente, podendo ser verificado por meio do levantamento florístico.

Figura 10 - Gráficos da Frequência Relativa (Fr) dos valores de pixels de NDVI do Cerradão e da FES, no verão e inverno.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

\*(A) - Estação Ecológica de Santa Bárbara. (B) Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (C) - Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga. (D) - Parque Estadual de Porto Ferreira. (E) - Área de Relevante Interesse Ecológico Cerrado Pé-de-Gigante. (F) e da Estação Ecológica de Santa Maria (FES).

### 3.2 Índice de Vegetação Posição de Borda Vermelha Sentinel 2 (S2REP)

Observa-se por meio das imagens comparativas que as mudanças ocorreram entre as diferentes fitofisionomias e entre as mesmas fitofisionomias nas diferentes estações (Figura 5 e 6) e que os valores médios do S2REP diminuíram da estação do verão para o inverno. As diferenças entre as áreas são confirmadas pela análise de variância ( $p$ -valor $<0,05$ ) (APÊNDICE 2), sendo melhor explicadas pelo fator estação do que pelo fator fitofisionomia (APÊNDICE 1).

Jacon *et al.* (2021) estudo para estimar biomassa acima do solo em áreas de Cerrado, adquiriu imagens digitais no período da seca. Os autores expuseram que a vegetação do Cerrado possui sensibilidade distinta à restrição hídrica, áreas florestadas são mais adaptadas à seca, enquanto a vegetação de pastagem é mais sensível à restrição hídrica, possibilitando captar as diferenças na vegetação. A influência da estação também foi identificada por Perez *et al.* (2022) que durante a estação do verão, período com maior incidência de chuva, teve resultados mais favoráveis para determinar a altura do dossel em área de Mata Atlântica do que na estação do inverno. Entre as possíveis razões citadas pelo autor para os resultados encontrados está a influência da sazonalidade na área estudo e a perda das folhagens de algumas espécies vegetais na estação mais seca.

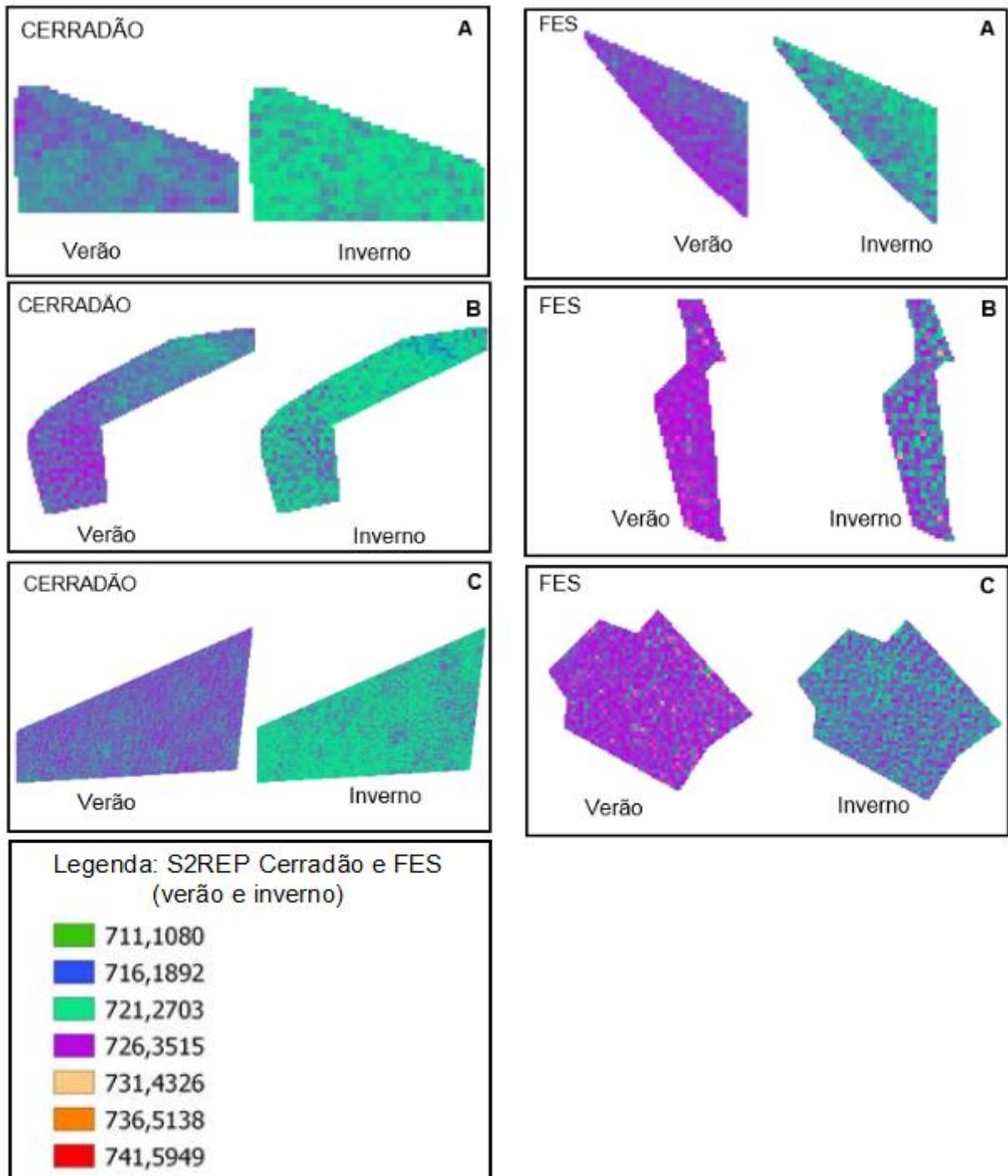
Ao avaliar alterações das fitofisionomias nas diferentes estações, percebe-se o efeito da sazonalidade no índice S2REP, com alterações significativas ( $p$ -valor $<0,05$ ) no verão e no inverno. Na análise das variáveis descritivas (Figura 12) observa-se que no Cerradão-verão, o resultado mínimo e máximo na área6 destoou das demais com valores entre 717 – 730, respectivamente, com maior desvio padrão, porém com valor médio (724) similar às demais áreas, as quais apresentaram resultado mínimo de 723 e máximo de 727. No Cerradão-inverno, ocorreu uma redução dos valores mínimos de todas as áreas, registrando o menor valor de S2REP, 711 para a formação. Tal redução foi acentuada na área5. Os valores máximos também diminuíram durante o inverno, com exceção da área2, única área que não apresentou diminuição do índice (verão 726,72 e inverno 726,79) no Cerradão. O estresse causado pela restrição

hídrica durante o período mais seco altera as concentrações de pigmentos fotossintetizantes do dossel. A interação das plantas com a radiação depende principalmente das folhas. À medida que o dossel diminui a densidade, também ocorre a diminuição dos valores de reflectância na região do infravermelho próximo (700nm a 1300nm) (PONZONI, 2002), explicando assim a diminuição dos valores de S2REP no inverno, período mais seco.

Na FES predominou o maior desvio padrão, com exceção da área6 no verão, que teve maior desvio no Cerradão-verão e da área5 durante que apresentou maior variação no Cerrado-inverno. Além disso, na FES também predomina os valores mais altos para S2REP, principalmente, na área6, que também se destacou das demais áreas na FES-inverno.

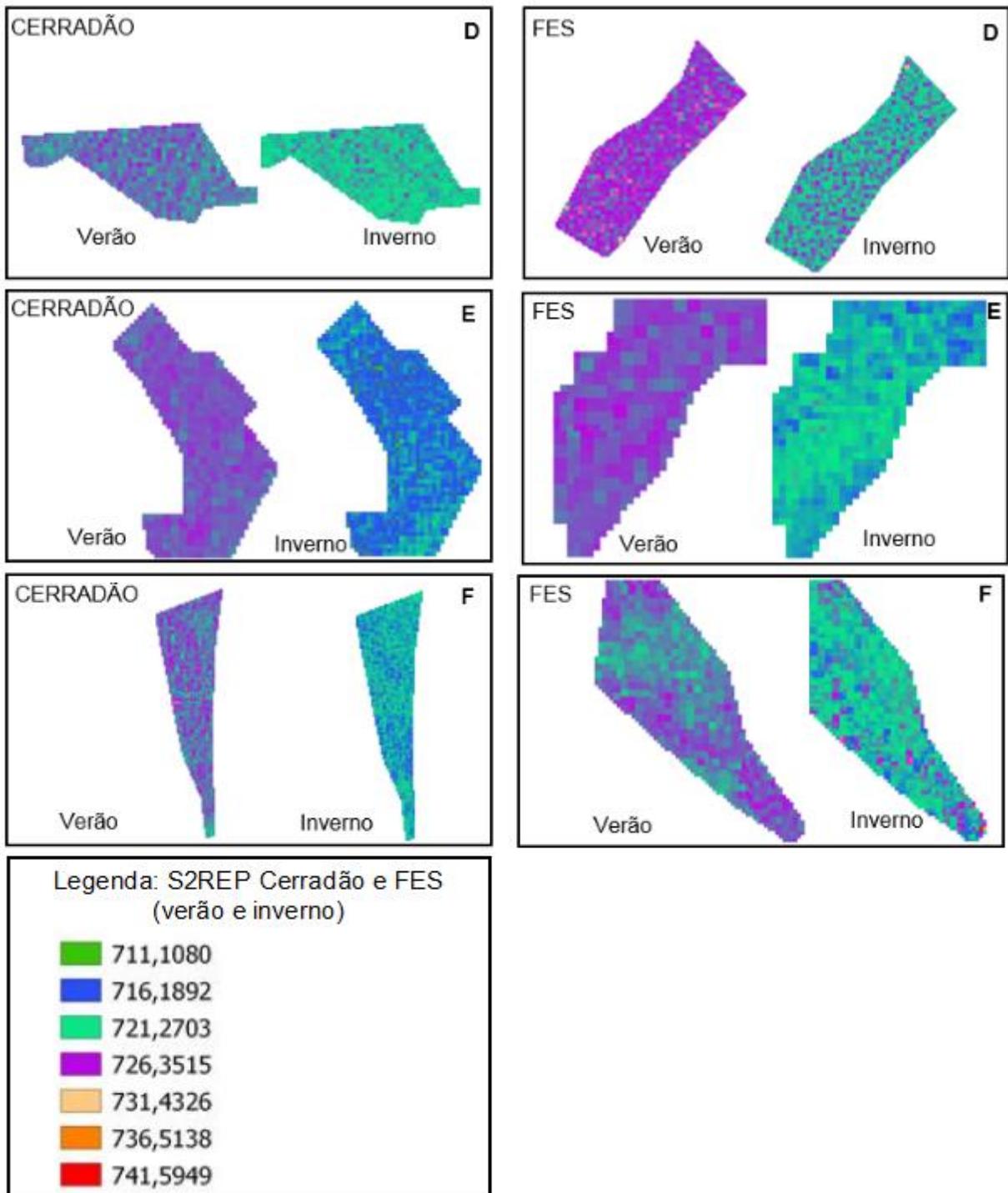
Outros fatores podem interferir na arquitetura do sistema aéreo das plantas com a temperatura do ar, das folhas e do solo, o vento, a radiação, a umidade (FELFILI *et al.*, 2011), além, da própria característica do dossel que pode ter distribuição espacial dos indivíduos, fase de desenvolvimento e grupos espécies distintos (PONZONI, 2002). A diferença encontrada nas cenas do satélite, como a elevação do sol e o azimute, também, podem alterar a resposta espectral da vegetação (SCHAAF; STRAHLER, 1993). Porém, as áreas são relativamente próximas geograficamente, com exceção da área 1, as cenas são da mesma data e algumas áreas pertencem a mesma imagem, evidenciado que a sazonalidade e a vegetação predominante no local são responsáveis pelos valores dos índices. Além disso, as comparações entre as duas fisionomias de cada área foram realizadas sempre usando a mesma imagem.

Figura 11 - Comparativo do S2REP na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. (A) Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (B) Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (C) Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 12- Comparativo do S2REP na fitofisionomia de Cerradão e FES, no verão e no inverno, nas áreas de estudo. (D) Parque Estadual de Porto Ferreira. (E) ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (F) Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

O valor mínimo encontrado para o conjunto de dados foi de 711 e o máximo de 742, região do infravermelho próximo. A radiação incidente sobre os constituintes das plantas pode ser absorvida ou espalhada, e na região do infravermelho próximo (700nm a 1300nm) o espalhamento interno na folha é grande, a reflectância é

praticamente contínua nessa região, e absorção da energia eletromagnética é pequena (PONZONI, 2002).

Percebe-se que as alterações nas respostas espectrais da vegetação ocorrem nas faixas espectrais correspondentes às bandas 5 (~705) e 6 (~741) do Sentinel 2. Porém, os valores pixel encontrados na banda 6 foram influenciados, exclusivamente, pelo comportamento atípico da área6, na FES-inverno, que apresentou maior heterogeneidade dos índices, registrando mínima de 711,8 e máxima de 741,6, mantendo a média (719,4) semelhante às encontradas nas demais áreas. Entre as bandas do Sentinel 2 estudadas por Perez (2018) a banda 5 (borda vermelha - 705 nm) apresentou maior potencial para estimar parâmetros biofísicos da vegetação. Frampton *et al.* (2013) salientou que a combinação das bandas 5 e 6 do Sentinel 2 melhora a caracterização do red-edge (RE) abrindo margem para se desenvolver algoritmos e recuperar os parâmetros biofísicos da vegetação. A região da borda vermelha, centralizadas em 705 nm e 740 nm, se mostraram eficientes para estimar os teores de clorofila e Nitrogênios (CLEVERS; GITELSON, 2013). Além disso, a Banda 5 (705nm) foi uma das bandas com melhores resultados para estimativa de altura, medidas de densidade e cobertura da vegetação (PEREZ et al., 2022)

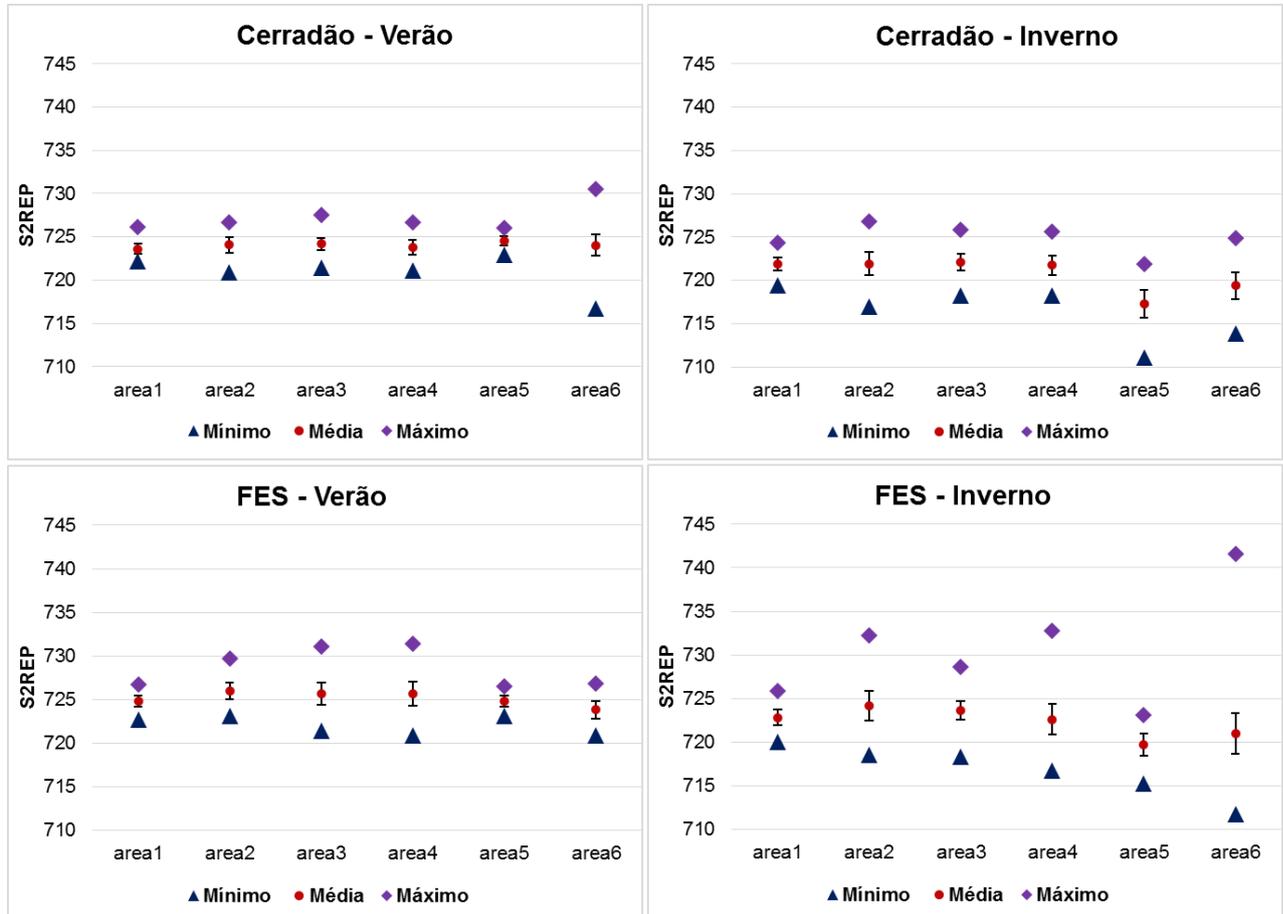
Nota-se que o comportamento das variáveis descritivas do S2REP, assim como do NDVI não foram favoráveis a uma boa distinção das formações nas unidades, apesar de se verificar diferença nas áreas pelas variáveis descritivas. Também, verificou-se muita similaridade entre algumas formações, como se observa, por exemplo, nas áreas, 1 e 5, do Cerradão-verão comparadas a mesmas áreas do FES-verão.

Da mesma forma, os valores da área6 no Cerradão-verão poderiam levar a confusão na diferenciação das formações, já que apresentou valores maiores do S2REP se comparadas às demais áreas na mesma formação. A área6 na FES-inverno apresentou o menor valor de S2REP, mas com valores máximos superiores das demais áreas. Além disso, os valores próximos dificultam atribuir um índice específico para cada formação.

Constata-se que, na FES a dispersão dos dados é maior e com predominância dos valores máximos mais altos do que no Cerradão. Também se verificou um comportamento atípico na área 6 no Cerradão-verão e na FES-inverno, nas respectivas formações, sendo necessário comparar a vegetação nas diferentes

estações, especialmente, para identificar áreas que podem apresentar comportamento atípico.

Figura 13 - Gráfico dos valores de S2REP do Cerradão e da FES, no inverno e verão, com as variáveis descritivas média e desvio padrão (traço preto), e os valores mínimos e máximos.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

\* (área 1) - Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (área 2) - Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (área 3) - Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga. (área 4) - Parque Estadual de Porto Ferreira. (área 5) - ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (área 6) - Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão.

Na análise do *boxplot* percebe-se que os valores do S2REP para a formação do Cerradão-verão são menores quando comparados a FES-verão, o que também pode ser observado nos gráficos da frequência relativa (Figura 14) e em ambas formações ocorre redução dos valores de S2REP do verão para o inverno.

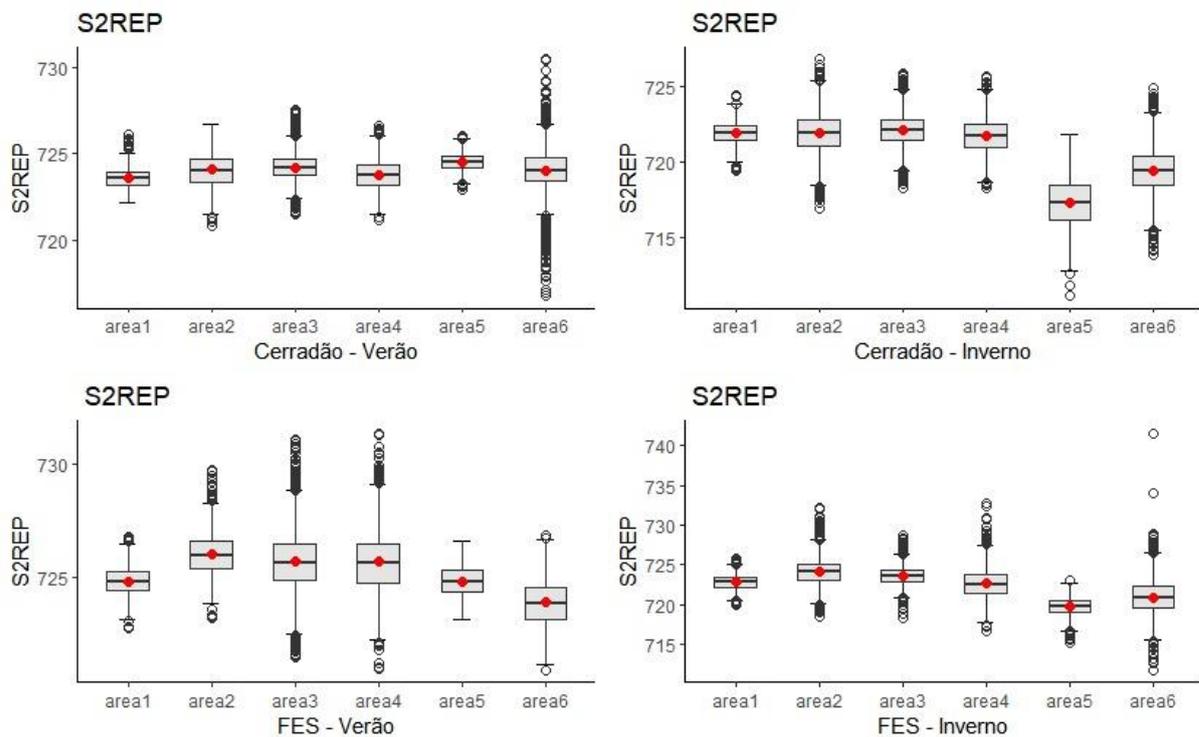
Ao analisar as áreas individualmente, verifica-se que o Cerradão-verão e a FES-verão possuem distribuição simétrica com presença de outliers em, praticamente, todas as unidades, com exceção da FES-verão da área 5, que não apresentou nenhum valor discrepante. Na área de Cerradão-verão 75% dos valores, de todas as

unidades, ficaram abaixo de 725, enquanto na FES-verão as áreas 2, 3 e 4 ficaram com 75% dos valores acima de 725, e as demais as áreas ~75% estão abaixo de 725. No que lhe concerne, o Cerradão-inverno e FES-inverno se verifica uma similaridade no comportamento das formações dentro das respectivas áreas, com valores de S2REP muito próximos. Ainda, verificou-se que os valores das fitofisionomias se sobrepuseram, em ambas estações.

Portanto, o S2REP possibilitou identificar que existem diferenças entre as formações de Cerradão e FES, com predominância de valores maiores nas áreas de FES, porém, ao considerar somente o valor máximo não é possível estabelecer se uma área específica seria de FES ou Cerradão, mas é possível identificar se as áreas próximas são da mesma formação ou se tratam de áreas diferentes, comparando o comportamento das formações próximas em ambas estações.

Figura 14- *Boxplots* dos valores de S2REP, comparando as áreas de estudo, no inverno e no verão, com indicativo da média (ponto vermelho).

Fonte: elaborado pelo autor (2022)



\*(área 1) - Estação Ecológica de Santa Bárbara - Águas de Santa Bárbara. (área 2) - Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (área 3) - Guaranição da Aeronáutica de Pirassununga. (área 4) - Parque Estadual de Porto Ferreira. (área 5) - ARIE Cerrado Pé-de-Gigante – Santa Rita do Passo Quatro. (área 6) - Estação Ecológica de Santa Maria - São Simão.

Figura 15 - Gráficos da Frequência Relativa (Fr) dos valores de pixels de S2REP do Cerradão e da FES, no verão e inverno.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

\* (A) - Estação Ecológica de Santa Bárbara. (B) Reserva Biológica e Estação Ecológica de Mogi-Guaçu. (C) - Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga. (D) - Parque Estadual de Porto Ferreira. (E) - Área de Relevante Interesse Ecológico Cerrado Pé-de-Gigante. (F) e da Estação Ecológica de Santa Maria (FES).

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As análises apresentadas demonstram que os índices de vegetação, NDVI e S2REP, calculados a partir de imagens do Sentinel 2, conseguiram identificar diferenças significativas entre formações de Cerradão e FES, principalmente, quando analisada a distribuição dos dados e comparando-os nas diferentes estações do ano.

Com o NDVI a diferença das fitofisionomias ficou mais acentuada, durante a análise de distribuição dos dados. Contudo, com o S2REP as similaridades ficam mais visíveis, dificultando a análise. Além disso, foi identificado o efeito marcante da sazonalidade, com influência maior das estações nos valores dos índices analisados do que da fitofisionomia.

Constatou-se que na FES predomina valores máximos dos índices mais alto, em ambas as estações, sendo possível, por meio de comparação, determinar se áreas próximas são de mesma fitofisionomia, mas não há atributos suficientes para afirmar que uma determinada formação é de Cerradão ou de FES em áreas isoladas, mesmo com diferenças significativas encontradas para os índices.

Portanto, o sensoriamento remoto ainda é um processo complementar ao levantamento florístico e fitossociológico para se classificar as fisionomias com mesmas similaridades, sendo recomendado realizar o levantamento florístico na Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga (área 3), a qual não possuem levantamento taxonômico e nem estudo e fitossociológico para a formação de Cerradão, apesar disso, os resultados indicam ser uma formação distinta da FES, e pode ser realmente Cerradão. O presente estudo pode auxiliar no acompanhamento do adensamento da vegetação e no levantamento florístico com análise exploratória de áreas vegetadas que ainda não foram visitadas.

## 5 REFERÊNCIA

AB'SABER, A. N. Os Domínios de Natureza no Brasil: potencial paisagístico. In: SÃO PAULO: Ateliê Editorial, 2003. p. 159.

ANDRADE, A. C.; FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. DE. Desempenho de Classificadores Paramétrico e não Paramétrico na Classificação da Fisionomia Vegetal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 349–363, 2014.

ANDRADE, E. D. A.; GESTÃO. **GESTÃO TERRITORIAL E CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS NO PARQUE ESTADUAL DOS PIRINEUS (GO)** *Advanced Optical Materials*, 2018. Disponível em:  
<<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.089902>><http://dx.doi.org/10.1016/j.nantod.2015.04.009><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-05514-9><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-13856-1><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14365-2>>

ANTUNES, A. Z. et al. **PLANO DE MANEJO Estação Ecológica de Santa Maria**. SÃO PAULO: Instituto Florestal (IF), 2019.

BARBOSA, A. H. D. S.; CARVALHO, R. G. DE; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 33, p. 128, 2017.

BARBOSA, A. P. et al. COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS NA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CULTIVADAS COM CITROS. **ENERGIA NA AGRICULTURA**, v. 26, n. 3, p. 14–25, 22 nov. 2011.

BARBOSA VALE, J. R. et al. Análise Comparativa De Métodos De Classificação Supervisionada Aplicada Ao Mapeamento Da Cobertura Do Solo No Município De Medicilândia, Pará. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 13, p. 26, 2018.

BARROS, A. S.; FARIAS, L. M. DE; MARINHO, J. L. A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte – CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 2885–2895, 2020.

BATALHA, M. A. Análise da vegetação da ARIE cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). p. 184, 1997.

BITENCOURT, M. D. et al. **Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação**. In: Leite, L.L.; Saito. H. (orgs.) **Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado - Trabalhos selecionados do 3º Congresso de Ecologia do Brasil**, Brasília - DF, Universidade de Brasília, 1997.

BORATTO, I. M. D. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 7345–7352, 2013.

BRASIL. **LEI Nº 11.428, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2006** Brasília, DF Diário Oficial da União, Seção 1, p.1, 2006. Disponível em:  
<<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2006/lei-11428-22-dezembro-2006-548704->

norma-pl.html>

BRASIL. **LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000.** Brasília, DF, Diário Oficial da União, Seção 1, p.1, 2000.

CASTANHEIRA, L. B.; LANDIM, P. M. B.; LOURENÇO, R. W. Variabilidade do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em Áreas de reflorestamento: Floresta estadual 'eduardo navarro de andrade' (feena)/rio claro (SP). **Geociências**, v. 33, n. 3, p. 449–456, 2014.

CLEVERS, J. G. P. W.; GITELSON, A. A. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on sentinel-2 and-3. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 23, n. 1, p. 344–351, 2013.

CRAWLEY, M. J. **The R Book**. New Delhi, India: Wiley, 2013. v. 2

CTBIO, C. T. DE B. E. Á. P. Relatório CTBio – Plano de Manejo do Parque Estadual de Vassununga. p. 1–17, 2019.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação ndvi e savi no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens landsat-5. **RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, n. 21, p. 234–271, 2011.

DURIGAN, G.; RAMOS, V. S.; FRANCO, N. A. D. C. **Espécies Indicadoras de Fitofisionomias na Transição Cerrado - Mata Atlântica no Estado de São Paulo**. SÃO PAULO: SECRETARIA DO ESTADO DE SÃO PAULO; COORDENADORIA DA BIODIVERSIDADE DOS RECURSOS NATURAIS, 2012.

EASTMAN, J. R. IDRISI for Windows: Introdução e Exercícios tutoriais. In: HASENACK, H.; WEBER, E. (Eds.). Editores ed. Porto Alegre: UFRGS Centro de Recursos Idris, 1998. p. 240.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tudo o que você precisa saber sobre o NDVI: Perguntas & Respostas para a Agricultura 4.0 - parte 1. **Embrapa**, p. 1–6, 2020.

FEIJOO, A. M. L. C. DE. **A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação [online]**. Rio de Janeiro: [s.n.].

FELFILI, J. M. et al. **Fitossociologia no Brasil: metodos e estudos de Caso**. 1. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011.

FERNANDES, E. M. D. S. **Caracterização do componente florestal na Guarnição da Aeronáutica de Pirassununga**. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO Caracterização—ARARAS: UFSCAR, 2019.

FRAMPTON, W. J. et al. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 82, n. March 2014, p. 83–92, 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, I. N. DE P. E. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2017-2018**, SÃO PAULO, 2018. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>>

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, I. N. DE P. E. **ATLAS DOS REMANESCENTES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA: PERÍODO 2018-2019**, SÃO PAULO, 2020.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, I. N. DE P. E. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020** SÃO PAULO Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2021. Disponível em: <[https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA\\_Atlas-da-Mata-Atlantica\\_2019-2020.pdf](https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA_Atlas-da-Mata-Atlantica_2019-2020.pdf)>

FURTADO, L. F. DE A.; FRANCISCO, C. N.; DE ALMEIDA, C. M. Análise de imagem baseada em objeto para classificação das fisionomias da vegetação em imagens de alta resolução espacial. **Geociencias**, v. 32, n. 3, p. 441–451, 2013.

G. FERREIRA, L.; C. FERREIRA, N.; E. FERREIRA, M. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 379–390, 2008.

GAMARRA, R. M. et al. USO DO NDVI NA ANÁLISE DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO E EFETIVIDADE DA PROTEÇÃO DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO CERRADO. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 37, p. 307–332, 2016.

GIUDICE NETO, J. DEL (COORD). **Plano de Manejo integrado das Unidades de Conservação: Reserva Biológica e Estação Ecológica, Mogi-Guaçu - SP**. SÃO PAULO: CASA DA FLORESTA; SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE; INSTITUTO DE BOTÂNICA; INSTITUTO FLORESTAL, 2015.

GUARIGLIA PEREZ, G. **Uso de imagens do Sentinel 2 na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação em áreas de Mata Atlântica**. Dissertação de mestrado—São Carlos: UFSCAR, 2018.

GUEDES, J. C. F.; SILVA, S. M. P. DA. SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO: PRINCÍPIOS FÍSICOS, SENSORES E MÉTODOS. **ACTA Geográfica**, p. 127–144, 2018.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação, 2004**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/acessibilidade/item/7626-mapas-de-cobertura-vegetal>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

IBGE. **Biomas e sistema costeiro marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. v. 45

INPE, I. DE P. E. **Nota Técnica - A área de vegetação nativa suprimida no Bioma Cerrado no ano de 2020 foi de 7.340 km<sup>2</sup>**. Disponível em: <[INSTITUTO FLORESTAL. \*\*INVENTÁRIO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO: Mapeamento da cobertura vegetal nativa\*\*. SÃO PAULO: INSTITUTO FLORESTAL, 2020.](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5643#:~:text=gov.br%20INPE-,Nota%20T%C3%A9cnica%20-%20A%20%C3%A1rea%20de%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20nativa%20suprimida%20no%20Bioma,2020%20foi%20de%207.340%20km%C2%B2&text=O%20Minist%C3%A9rio%20da%20Ci%C3%AAncia%20e%20Tecnologia,2019%20a%20julho%20de%202020.>. Acesso em: 18 abr. 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

JACON, A. D. et al. Aboveground biomass estimates over Brazilian savannas using

- hyperspectral metrics and machine learning models: experiences with Hyperion/EO-1. **GIScience and Remote Sensing**, v. 58, n. 7, p. 1112–1129, 2021.
- KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the brazilian amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 2, p. 173–185, 1989.
- LAW, K. H.; NICHOL, J. Topographic correction for differential illumination effects on ikonos satellite imagery. **Photogrammetry and Remote Sensing**, 2004.
- MATSUMOTO, M. H.; BITTENCOURT, M. D. Correlação entre algumas fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e classes de índices de vegetação obtidos espectralmente. **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 1993, p. 1665–1672, 2001.
- MELO, A. C. G. DE; DURIGAN, G. Plano de Manejo da Estação Ecológica de Santa Bárbara. p. 25, 2009.
- MELO, A. C. G. DE; DURIGAN, G. (COORD. **Estação Ecológica de Santa Bárbara: Plano de Manejo**. SÃO PAULO: Instituto Florestal; Secretaria do Meio Ambiente, 2011.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 895–858, 2000.
- PATRÍCIA SOARES, R.; DANIELA VIEIRA, M.; ROBERTO, R. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da refletância aparente e de superfície. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, n. 2009, p. 7883–7890, 2017.
- PEREZ, G. G. et al. Use of Sentinel 2 imagery to estimate vegetation height in fragments of Atlantic Forest. **Ecological Informatics**, n. April 2021, p. 101680, 2022.
- PONZONI, F. J. Sensoriamento Remoto No Estudo Da Vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica. **Curso De Uso De Sensoriamento Remoto No Estudo Do Meio Ambiente**, p. 27, 2002.
- QUEIROZ, R. B. et al. Redes Neurais: Um comparativo com Máxima Verossimilhança Gaussiana na Classificação de Imagens CBERS 1. **II Workshop de Tecnologia da Informação aplicada ao Meio Ambiente – CBComp 2004**, p. 746–749, 2004.
- RODRIGUES, B. T. Application of Contents Normalized Difference Vegetation. p. 139–147, 2010.
- RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T. Aplicação Do Índice Da Vegetação Por Diferença Normalizada (Ndv) Em Imagens Cbers 2B No Município De Botucatu-Sp. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 6, n. 3, p. 139–147, 2012.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium, NASA**, v. 1, p. 309–317, 1974.
- RUGGIERO, P. G. C. et al. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): Como se expressa em mapeamentos? **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 2, p. 383–394, 2006.

SÃO PAULO (ESTADO). **DECRETO Nº 65.796, DE 16 DE JUNHO DE 2021** São Paulo, SP, Diário Oficial do Estado de São Paulo, SEÇÃO I, p. 01, 2021.

SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H. Solar zenith angle effects on forest canopy hemispherical reflectances calculated with a geometric-optical bidirectional reflectance model. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 31, n. 4, p. 921–927, jul. 1993.

SEBASTIANI, R. et al. FLORA PRELIMINAR DA FLORESTA CILIAR DO RIO MOGI GUAÇU NA GUARNIÇÃO DA AERONÁUTICA DE PIRASSUNUNGA (SÃO PAULO, BRASIL). In: ARTEMIS (Ed.). **Ciências Socialmente Aplicáveis: Integrando Saberes e Abrindo Caminhos IV**. Curitiba, PR: Editora Artemis, 2022. p. 230–241.

SHIROMA, G. M. et al. Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 43, p. 18–32, 2020.

SILVA, A. A. Uso de sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental dos Cerrados. **Publicado originalmente em: Anais do XI Simpósio ...**, p. 1–13, 2005.

SILVA, E. J. DA et al. Potencial de imagens do Sentinel-2 na estimativa da biomassa de *Tectona grandis* L.f. a Amazônia Ocidental. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1–19, 2021.

SOUSA, A. DE P.; VIEIRA, D. L. M. **Protocolo de Monitoramento da Recomposição da Vegetação Nativa no Distrito Federal** Brasília, DF WWF, , 2017.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, 2017.

SUN, Y. et al. Red-Edge Band Vegetation Indices for Leaf Area Index Estimation from Sentinel-2/MSI Imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 58, n. 2, p. 826–840, 2020

THE EUROPEAN SPACE AGENCY. **User Guides Introduction**. Disponível em: <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2>>.

TÔSTO, S. G. et al. **Geotecnologias e geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

UEZU, A. et al. **PLANO DE MANEJO DO PARQUE DE PORTO FERREIRA**. São Paulo: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO; SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE; INSTITUTO FLORESTAL PLANO, 2003.

VENTURIERI, A; SANTOS, J. R. DOS. TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS PARA ANÁLISE DE COBERTURA VEGETAL Adriano. In: **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1998. p. 351–371.

WEISER, V. DE L.; GODOY, S. A. P. DE. FLORÍSTICA EM UM HECTARE DE CERRADO STRICTO SENSU NA ARIE - CERRADO PÉ-DE-GIGANTE, SANTA

## APÊNDICE 1

Resultado da Análise de Variância (ANOVA) dos valores de NDVI e S2REP, comparando o modelo nulo com fator fitofisionomia (Cerradão e FES) e o fator estação (Inverno e Verão)

NDVI	Variáveis	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
Área1 - Verão/Inverno	NULL			5125	7,0298	
	Fitofisionomia	1	0,65	5124	6,3823	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	5,05	5123	1,3314	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	0,00	5122	1,3276	0.0001266 ***
Área2 - Verão/Inverno	NULL			8695	16,0581	
	Fitofisionomia	1	0,39	8694	15,6676	< 2e-16 ***
	Estação	1	12,18	8693	3,4918	< 2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	0,00	8692	3,4916	0,5065
Área3 - Verão/Inverno	NULL			48513	94,629	
	Fitofisionomia	1	7,39	48512	87,236	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	76,46	48511	10,78	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	0,01	48510	10,766	2.369e-15 ***
Área4 - Verão/Inverno	NULL			10275	32,906	
	Fitofisionomia	1	1,33	10274	31,572	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	25,37	10273	6,206	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	0,54	10272	5,67	< 2.2e-16 ***
Área5 - Verão/Inverno	NULL			3925	94,458	
	Fitofisionomia	1	12,12	3924	82,335	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	74,28	3923	8,059	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	3,46	3922	4,597	< 2.2e-16 ***
Área6 - Verão/Inverno	NULL			8401	99,952	
	Fitofisionomia	1	22,75	8400	77,199	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	41,51	8399	35,69	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	0,59	8398	35,099	< 2.2e-16 ***

S2REP	Variáveis	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
Área1 - Verão/Inverno	NULL			5125	8415,9	
	Fitofisionomia	1	1465,50	5124	6950,4	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	4349,00	5123	2601,5	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	16,00	5122	2585,5	1.811e-08 ***
Área2 - Verão/Inverno	NULL			8695	29832	
	Fitofisionomia	1	7578,20	8694	22254	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	9318,00	8693	12936	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	54,90	8692	12881	1.137e-09 ***
Área3 - Verão/Inverno	NULL			48513	116441	
	Fitofisionomia	1	20212,00	48512	96228	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	53462,00	48511	42766	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	26,00	48510	42740	4.482e-08 ***
Área4 - Verão/Inverno	NULL			10275	42314	
	Fitofisionomia	1	4680,40	10274	37633	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	17536,70	10273	20096	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	586,00	10272	19511	< 2.2e-16 ***
Área5 - Verão/Inverno	NULL			3925	48902	
	Fitofisionomia	1	1601,00	3924	47301	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	41328,00	3923	5973	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	1069,00	3922	4903	< 2.2e-16 ***
Área6 - Verão/Inverno	NULL			8401	55965	
	Fitofisionomia	1	936,00	8400	55030	< 2.2e-16 ***
	Estação	1	32525,00	8399	22505	< 2.2e-16 ***
	Fitofisionomia /Estação	1	1555,00	8398	20950	< 2.2e-16 ***

## APÊNDICE 2

Resultado da Análise de Variância (ANOVA) dos valores de NDVI e S2REP, comparando o modelo nulo com fator fitofisionomia (Cerradão e FES) no verão e no inverno

NDVI	Variáveis	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
Área1 - Verão	NULL			2562	0,70235	
	Fitofisionomia	1	0,28	2561	0,42637	< 2.2e-16 ***
Área2 - Verão	NULL			4347	1,3788	
	Fitofisionomia	1	0,19	4346	1,1917	< 2.2e-16 ***
Área3 - Verão	NULL			24256	6,1689	
	Fitofisionomia	1	4,02	24255	2,1447	< 2.2e-16 ***
Área4 - Verão	NULL			5137	3,2362	
	Fitofisionomia	1	1,78	5136	1,4549	< 2.2e-16 ***
Área5 - Verão	NULL			1962	1,61528	
	Fitofisionomia	1	1,31	1961	0,30144	< 2.2e-16 ***
Área6 - Verão	NULL			4200	31050	
	Fitofisionomia	1	8,01	4199	23044	< 2.2e-16 ***
Todos - Verão	NULL			42469	61,237	
	Fitofisionomia	1	8944,00	42468	52,293	< 2.2e-16 ***
Área1 - Inverno	NULL			2562	1,27654	
	Fitofisionomia	1	0,38	2561	0,90126	< 2.2e-16 ***
Área2 - Inverno	NULL			4347	2,5036	
	Fitofisionomia	1	0,20	4346	2,2999	< 2.2e-16 ***
Área3 - Inverno	NULL			24256	12,0036	
	Fitofisionomia	1	3,38	24255	8,6209	< 2.2e-16 **
Área4 - Inverno	NULL			5137	4,3044	
	Fitofisionomia	1	0,09	5136	4,215	< 2.2e-16 ***
Área5 - Inverno	NULL			1962	18,5676	
	Fitofisionomia	1	14,27	1961	4,2951	< 2.2e-16 ***
Área6 - Inverno	NULL			4200	27,392	
	Fitofisionomia	1	15,34	4199	12,056	< 2.2e-16 ***
todos/Inverno	NULL			42469	205,43	
	Fitofisionomia	1	8,28	42468	197,15	< 2.2e-16 ***

S2REP	Variáveis	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
Área1 - Verão	NULL			2562	1832,14	
	Fitofisionomia	1	893,82	2561	938,32	< 2.2e-16 ***
Área2 - Verão	NULL			4347	6848,8	
	Fitofisionomia	1	3171,30	4346	3677,5	< 2.2e-16 ***
Área3 - Verão	NULL			24256	27884	
	Fitofisionomia	1	9389,40	24255	18495	< 2.2e-16 ***
Área4 - Verão	NULL			5137	11342,7	
	Fitofisionomia	1	4289,20	5136	7053,5	< 2.2e-16 ***
Área5 - Verão	NULL			1962	630,77	
	Fitofisionomia	1	26,71	1962	604,06	< 2.2e-16 ***
Área6 - Verão	NULL			4200	5617,6	
	Fitofisionomia	1	39,13	4199	5578,5	5.727e-08 ***
Todos - Verão	NULL			42469	56441	
	Fitofisionomia	1	13287,00	42468	43155	< 2.2e-16 ***
Área1 - Inverno	NULL			2562	2234,8	
	Fitofisionomia	1	587,62	2561	1647,2	< 2.2e-16 ***
Área2 - Inverno	NULL			4347	13665,2	
	Fitofisionomia	1	4461,80	4346	9203,4	< 2.2e-16 ***
Área3 - Inverno	NULL			24256	35095	
	Fitofisionomia	1	10850,00	24255	24245	< 2.2e-16 ***
Área4 - Inverno	NULL			5137	13434	
	Fitofisionomia	1	977,13	5136	12457	< 2.2e-16 ***
Área5 - Inverno	NULL			1962	6942,8	
	Fitofisionomia	1	2643,40	1961	4299,4	< 2.2e-16 ***
Área6 - Inverno	NULL			4200	17823	
	Fitofisionomia	1	2451,50	4199	15372	< 2.2e-16 ***
todos/Inverno	NULL			42469	141554	
	Fitofisionomia	1	14832,00	42468	126723	< 2.2e-16 ***

### APÊNDICE 3

#### Resultado da estatística descritiva dos valores de NDVI e S2REP

NDVI	Mínimo		Máximo		Média		Desvio		Mediana	
	Cerradão	FES								
Área1 - Verão	0,8255	0,7954	0,8982	0,9110	0,8604	0,8812	0,0117	0,0141	0,8599	0,8834
Área2 - Verão	0,8042	0,7857	0,9274	0,9349	0,8923	0,9069	0,0167	0,0161	0,8951	0,9101
Área3 - Verão	0,8284	0,8287	0,9217	0,9459	0,8916	0,9219	0,0093	0,0098	0,8916	0,9231
Área4 - Verão	0,8196	0,7345	0,9099	0,9469	0,8806	0,9183	0,0102	0,0203	0,8812	0,9231
Área5 - Verão	0,8033	0,8781	0,8921	0,9215	0,8502	0,9045	0,0147	0,0062	0,8498	0,9048
Área6 - Verão	0,3358	0,8270	0,8828	0,9249	0,7990	0,8876	0,0960	0,0147	0,8331	0,8895
<b>Todas áreas - Verão</b>	<b>0,3358</b>	<b>0,7345</b>	<b>0,9274</b>	<b>0,9459</b>	<b>0,8797</b>	<b>0,9108</b>	<b>0,0402</b>	<b>0,0205</b>	<b>0,8883</b>	<b>0,9168</b>
Área1 - Inverno	0,7288	0,7406	0,8480	0,8644	0,7959	0,8202	0,0179	0,0197	0,7971	0,8217
Área2 - Inverno	0,7026	0,7395	0,8747	0,8813	0,8173	0,8325	0,0232	0,0226	0,8179	0,8355
Área3 - Inverno	0,6940	0,7351	0,8673	0,9006	0,8128	0,8406	0,0183	0,0207	0,8144	0,8433
Área4 - Inverno	0,7178	0,5750	0,8460	0,8820	0,7982	0,8066	0,0184	0,0342	0,7993	0,8119
Área5 - Inverno	0,4345	0,5915	0,7288	0,8146	0,5317	0,7105	0,0521	0,0348	0,5219	0,7092
Área6 - Inverno	0,4588	0,4856	0,8075	0,8689	0,6443	0,7670	0,0493	0,0591	0,6497	0,7779
<b>Todas áreas - Inverno</b>	<b>0,4345</b>	<b>0,4856</b>	<b>0,8747</b>	<b>0,9006</b>	<b>0,7846</b>	<b>0,8146</b>	<b>0,0761</b>	<b>0,0468</b>	<b>0,7846</b>	<b>0,8146</b>

S2REP	Mínimo		Máximo		Média		Desvio		Mediana	
	Cerradão	FES	Cerradão	FES	Cerradão	FES	Cerradão	FES	Cerradão	FES
Área1 - Verão	722,1647	722,6967	726,1022	726,7780	723,6119	724,7938	0,5679	0,6432	723,5671	724,8068
Área2 - Verão	720,8610	723,1639	726,7234	729,7521	724,0707	725,9778	0,9136	0,9361	724,0228	725,9253
Área3 - Verão	721,4732	721,4176	727,5848	731,0742	724,2107	725,6760	0,7017	1,2796	724,2010	725,6052
Área4 - Verão	721,1360	720,9169	726,6496	731,3519	723,7932	725,6444	0,8334	1,3656	723,7527	725,5948
Área5 - Verão	722,9584	723,1131	726,0500	726,5596	724,5486	724,7933	0,5079	0,6337	724,5628	724,7826
Área6 - Verão	716,7711	720,8628	730,4769	726,8295	724,0477	723,8517	1,2450	1,0073	724,0340	723,8436
<b>Todas áreas - Verão</b>	<b>716,7711</b>	<b>720,8628</b>	<b>730,4769</b>	<b>731,3519</b>	<b>724,1378</b>	<b>725,3374</b>	<b>0,8063</b>	<b>1,3401</b>	<b>724,1389</b>	<b>725,2866</b>
Área1 - Inverno	719,4135	720,0560	724,3829	725,8611	721,8774	722,8357	0,7269	0,8756	721,8560	722,8018
Área2 - Inverno	716,9517	718,5768	726,7896	732,2710	721,9019	724,1640	1,3398	1,7198	721,8986	724,1457
Área3 - Inverno	718,2862	718,2949	725,8394	728,6695	722,0853	723,6604	0,9807	1,0592	722,0648	723,6540
Área4 - Inverno	718,2209	716,7188	725,6316	732,7316	721,7417	722,6252	1,1465	1,7972	721,7395	722,5749
Área5 - Inverno	711,1080	715,2261	721,8283	723,1028	717,2954	719,7300	1,5895	1,2524	717,3358	719,8212
Área6 - Inverno	713,8035	711,7647	724,8724	741,5949	719,3899	720,9410	1,5347	2,3476	719,3889	720,8694
<b>Todas áreas - Inverno</b>	<b>711,1080</b>	<b>711,7647</b>	<b>726,7896</b>	<b>741,5949</b>	<b>721,5886</b>	<b>722,8560</b>	<b>1,6272</b>	<b>1,9235</b>	<b>721,8391</b>	<b>723,1029</b>