



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

MATHEUS GUIMARÃES CANCELA SILVA

**ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DE DANOS CAUSADOS POR  
EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO EM MANGUES DO MUNICÍPIO DE IGUAPE  
(SP), BRASIL**

VIÇOSA  
2023

MATHEUS GUIMARÃES CANCELA SILVA

**ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DE DANOS CAUSADOS POR  
EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO EM MANGUES DO MUNICÍPIO DE IGUAPE  
(SP), BRASIL**

Monografia, apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador(a): Dr. André Luiz Lopes de Faria

VIÇOSA

2023

MATHEUS GUIMARÃES CANCELA SILVA

**ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DE DANOS CAUSADOS POR  
EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO EM MANGUES DO MUNICÍPIO DE IGUAPE  
(SP), BRASIL**

Monografia, apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador(a): Dr. André Luiz Lopes de Faria

APROVADA: 5 de novembro de 2023

Assentimento:

---

Dr. André Luiz Lopes de Faria (Orientador)  
(UFV)

---

Dr. Diogo Nepomuceno Cosenza  
(UFV)

---

Me. Marco Antonio Saraiva da Silva  
(Unesp)

VIÇOSA  
2023

## RESUMO

As mudanças climáticas e suas consequências são uma temática de constante relevância em pesquisas, no século XXI. Os eventos provocados por elas afetam de muitas formas tanto os seres humanos quanto a natureza. Dentre os danos à natureza, os ecossistemas de manguezais demonstram uma alta sensibilidade a essas mudanças. Este estudo buscou analisar a recuperação da vegetação de mangue após um evento climático extremo de chuva de granizo na região de Icapara (SP), utilizando índices espectrais derivados de imagens do satélite *Sentinel-2*. A pesquisa abrange o período de 2019 a 2023, focalizando seis áreas impactadas. Os índices NDVI e SAVI foram empregados para avaliar a saúde vegetal, destacando áreas com danos específicos causados pelo evento. As medidas estatísticas utilizadas neste estudo foram respectivamente a média, mediana, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão, permitindo a análise não apenas de valores gerais, mas também o quanto dispersa as variáveis estão. A análise estatística desses índices revelou padrões consistentes de queda na saúde vegetal imediatamente após o evento, seguidos por melhorias notáveis nos anos seguintes, tanto de forma geral, quanto de forma individual. Foram encontradas diferenças perceptíveis entre o processo de recuperação das seis áreas, apresentando peculiaridades internas em cada uma delas, expostos principalmente pelo aumento dos valores de desvio padrão, o que indica um aumento da heterogeneidade de algumas áreas. Embora a região como um todo tenha demonstrado uma tendência de recuperação positiva, a persistência de valores mínimos em algumas áreas pode indicar possíveis danos permanentes e uma maior dificuldade de recuperação vegetal de forma natural. O aumento temporário da heterogeneidade da vegetação, particularmente nos primeiros anos pós-evento, ressalta a complexidade das respostas vegetais à perturbação provocada na região. Os resultados destacam a importância de abordagens que considerem as particularidades de cada área. A continuidade das séries históricas e a incorporação de dados adicionais, como características do solo e tipos de vegetação, são recomendadas para uma análise mais precisa, destacando-se a importância de compreender a resiliência da vegetação frente a eventos climáticos extremos, visando a preservação a longo prazo da biodiversidade e saúde dos ecossistemas dos manguezais.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas; Manguezais; Recuperação vegetal; Índices espectrais; Análise estatística.

## ABSTRACT

Climate change and its consequences remain a topic of constant relevance in research in the 21st century. The events triggered by climate change affect both humans and nature in various ways. Among the damages to nature, mangrove ecosystems demonstrate high sensitivity to these changes. This study aimed to analyze the recovery of mangrove vegetation after an extreme hailstorm event in the Icapara region (SP), using spectral indices derived from Sentinel-2 satellite imagery. The research spans from 2019 to 2023, focusing on six impacted areas. NDVI and SAVI indices were employed to assess plant health, highlighting areas with specific damage caused by the event. Statistical measures used in this study included mean, median, maximum value, minimum value, and standard deviation, allowing analysis not only of overall values but also of the dispersion of variables. Statistical analysis of these indices revealed consistent patterns of vegetation health decline immediately after the event, followed by notable improvements in the subsequent years, both overall and individually. Perceptible differences were found in the recovery process among the six areas, exhibiting internal peculiarities in each, primarily exposed by increased standard deviation values, indicating heightened heterogeneity in some areas. While the overall region showed a positive recovery trend, the persistence of minimum values in certain areas may indicate potential permanent damage and greater difficulty in natural vegetation recovery. The temporary increase in vegetation heterogeneity, particularly in the early post-event years, underscores the complexity of plant responses to disturbance in the region. The results emphasize the importance of approaches considering the specific characteristics of each area. The continuity of historical series and the incorporation of additional data, such as soil characteristics and vegetation types, are recommended for a more precise analysis, emphasizing the importance of understanding vegetation resilience to extreme climatic events for the long-term preservation of mangrove biodiversity and ecosystem health.

**Keywords:** Climate change; Mangroves; Vegetation recovery; Spectral indices; Statistical analysis.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo.....	13
Figura 2 - Áreas Seleccionadas.....	15
Figura 3 - Áreas Seleccionadas Antes do Evento.....	17
Figura 4 - Áreas Seleccionadas Depois do Evento.....	17
Figura 5 - Série Histórica em Cores Naturais.....	18
Figura 6 - Série Histórica do Índice NDVI.....	19
Figura 7 - Série Histórica do Índice SAVI.....	20
Figura 8 - Estatísticas NDVI (Área 1).....	21
Figura 9 - Estatísticas SAVI (Área 1).....	22
Figura 10 - Estatísticas NDVI (Área 2).....	22
Figura 11 - Estatísticas SAVI (Área 2).....	23
Figura 12 - Estatísticas NDVI (Área 3).....	23
Figura 13 - Estatísticas SAVI (Área 3).....	24
Figura 14 - Estatísticas NDVI (Área 4).....	24
Figura 15 - Estatísticas SAVI (Área 4).....	25
Figura 16 - Estatísticas NDVI (Área 5).....	25
Figura 17 - Estatísticas SAVI (Área 5).....	26
Figura 18 - Estatísticas NDVI (Área 6).....	26
Figura 19 - Estatísticas SAVI (Área 6).....	27
Figura 20 - Estatísticas Globais (NDVI).....	28
Figura 21 - Estatísticas Globais (SAVI).....	28

## LISTA DE SIGLAS

ESA	European Space Agency
GEE	Google Earth Engine
NBR	Normalized Burn Ratio
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	Near-infrared
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
2.1 A Paisagem.....	9
2.1.1 O Olhar Analítico da Geografia.....	10
2.2 Sensoriamento Remoto.....	10
2.2.1 Índices Espectrais.....	11
2.2.2 Índices de Vegetação.....	11
2.3 Estatística Descritiva.....	12
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	13
3.2 Ferramentas e Fonte de Dados.....	13
3.3 Proposta Analítica.....	14
3.4 Definição de Sub-Áreas.....	15
3.5 Obtenção dos Valores de Pixel.....	16
3.5.1 Índices Utilizados na Análise.....	16
3.6 Análise Estatística.....	16
3.6.1 Definição do Conjunto Estatístico.....	16
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>17</b>
4.1 Identificação Inicial dos Danos.....	17
4.2 Comparação Visual da Série Histórica.....	18
4.2.1 Série Histórica do Índice NDVI.....	18
4.2.2 Série Histórica do Índice SAVI.....	20
4.3 Análise Estatística.....	21
4.3.1 Análise Estatística da Área 1.....	21
4.3.2 Análise Estatística da Área 2.....	22
4.3.3 Análise Estatística da Área 3.....	23
4.3.4 Análise Estatística da Área 4.....	24
4.3.5 Análise Estatística da Área 5.....	25
4.3.6 Análise Estatística da Área 6.....	26
4.4 Estatísticas Globais.....	27
4.4.1 Análise Geral.....	28
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos podem ser definidos como eventos meteorológicos infrequentes e adversos, podendo incorrer em consequências ambientais e sociais de forma local ou regional. Esses eventos incluem fenômenos naturais como: furacões, tornados, geadas e granizo. As transformações climáticas alteram as dinâmicas atmosféricas, propiciando um aumento da frequência e intensidade desses eventos (Da Silva Dias, 2014).

A relação entre o ser humano e os eventos climáticos extremos é um tema que tem ganhado destaque crescente nas discussões científicas e políticas nas últimas décadas, haja vista que o planeta enfrenta mudanças climáticas cada vez mais evidentes e graves (IPCC, 2023). A compreensão destes eventos, torna-se de grande importância para a adaptação e mitigação de impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes dessas interações.

Comunidades humanas têm sido afetadas por secas, tempestades, inundações, ondas de calor e outros fenômenos climáticos que acompanham a evolução da sociedade há décadas. No entanto, o atual período de mudanças climáticas antropogênicas trouxe uma nova dimensão a essa relação à medida que a atividade humana, em particular a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, tem alterado significativamente os padrões climáticos globais (De Freitas, 2020).

As mudanças climáticas são uma das maiores preocupações globais do século XXI, com consequências ainda desconhecidas, podendo acarretar no aumento da temperatura média da Terra, a ocorrência de eventos climáticos extremos e a deterioração de ecossistemas importantes. Nesse contexto, os ecossistemas de manguezais, encontrados em zonas costeiras tropicais, emergem como áreas de especial preocupação dada a sua sensibilidade aos efeitos das mudanças climáticas.

Os manguezais são ecossistemas costeiros que se desenvolvem em áreas de transição entre o ambiente terrestre e o marinho, caracterizados pela presença de árvores e arbustos adaptados a condições de salinidade elevada e baixo teor de oxigênio no solo, possuindo um conjunto de características únicas, o que faz com que este ecossistema apresente características físicas, químicas e biológicas particulares e formadoras de uma paisagem ímpar, apresentando um conjunto de relações internas complexas entre sua riqueza de fauna e flora (Schaeffer-Novelli, 2018).

Manguezais são responsáveis por fornecerem uma série de serviços ecossistêmicos, como a proteção da costa contra a erosão, a manutenção da qualidade da água, a extração de alimentos tradicionais para consumo e a regulação do clima, desempenhando um papel fundamental na absorção de dióxido de carbono atmosférico e na promoção da

biodiversidade, tornando-se alvos críticos para pesquisas e análises que possibilitem melhorias em abordagens de conservação propostas para este ecossistema (Taub, 2010).

No que diz respeito a fenômenos climáticos extremos em áreas de manguezais, podemos tomar como exemplo um grande evento ocorrido em junho de 2016, onde uma forte chuva de granizo atingiu a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê Açú-Mirim no estado do Espírito Santo (Servino *et al*, 2018). Esse evento causou danos significativos à biodiversidade local que perduram até os dias atuais, segundo análises realizadas por múltiplos pesquisadores como (Silva, 2022), que propôs uma análise da região atingida, por meio de índices espectrais utilizando imagens de satélite, tendo como objetivo identificar características de recuperação vegetal da área, como o índice de área foliar.

Em junho de 2019, um evento similar ocorreu em uma região de manguezal no estado de São Paulo, mais precisamente em Icapara no município de Iguape. Nesse evento, partes da vegetação de mangue também foram fortemente afetadas por uma chuva de granizo, o que resultou em danos agudos à vitalidade de áreas da vegetação local, que se mantêm visíveis até os dias de hoje.

Os manguezais são áreas de difícil acesso, apresentando regiões alagadas, vegetação densa e ocupando uma vasta região da costa brasileira, o que dificulta a execução de estudos de campo nesse ecossistema. Diante deste cenário, a aplicação de análises remotas se mostra um recurso de grande importância na análise dessas áreas.

Diante do exposto, assim como no caso da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê Açú-Mirim no estado do Espírito Santo, uma análise por meio do sensoriamento remoto se mostra de grande relevância para identificar a extensão dos danos causados, assim como, uma avaliação do processo de recuperação das áreas afetadas em Icapara (SP).

Monitorando as condições antes e depois do evento, torna-se possível indicar o cenário de recuperação das áreas atingidas por meio de sensores orbitais. Esses sensores apresentam um vasto leque de possibilidades para a mensuração de danos causados à região, permitindo estimar a velocidade dos processos locais, a extensão dos danos e a capacidade de reação da vegetação afetada.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 A Paisagem**

De acordo com Maximiano (2004), a noção de paisagem antecede a criação do conceito da mesma, acompanhando o homem desde o início de sua jornada evolutiva. A

relação entre o homem e a natureza foi e ainda é foco de análise da Geografia. Parte disso se deve ao fato da complexidade de fatores e agentes intrínsecos a essa relação, partindo desde ideias descritivas da paisagem iniciadas com Alexander Von Humboldt, até as complexas e profundas relações interdependentes propostas por Milton Santos.

A relação entre o homem e a natureza se conecta de forma constante nas definições de paisagem propostas pelos principais pensadores da geografia. Para Ab'Saber (2003), a paisagem é uma formação complexa, resultado da dinâmica da natureza no decorrer do tempo, mas também é uma construção social, fruto da interação entre o homem e o meio ambiente. As relações de forma, biótica e o conceito de antroposfera indicam os agentes envolvidos nessa dinâmica.

A paisagem não se apresenta apenas como um conjunto de elementos geográficos, mas sim como uma combinação dinâmica e instável de elementos físicos, biológicos e antrópicos, fazendo da paisagem um conjunto único, indissociável e em constante evolução (Bertrand, 2004).

### **2.1.1 O Olhar Analítico da Geografia**

Ao analisar eventos naturais que decorrem de processos complexos envolvendo múltiplos agentes, a postura a ser adotada pelo geógrafo deve se basear em compreender além de fatos fragmentados e dados isolados, pretendendo-se assim uma análise dinâmica que considera as complexidades, conflitos e contradições envolvidos no processo (Silva, 2012).

Do ponto de vista dos estudos do ambiente por meio da geografia, objetivando a análise dos fenômenos e dinâmicas envolvidas na paisagem, a visão geoecológica apresentada por Rodriguez (2017) se apresenta como uma abordagem necessária no que diz respeito à compreensão dessas dinâmicas. Onde, procedimentos e técnicas investigativas são utilizados como forma de obter conhecimento sobre o ambiente, permitindo a partir disso, estabelecer uma abordagem operacional.

### **2.2 Sensoriamento Remoto**

No que se refere à análise ambiental de áreas extensas ou de difícil acesso, o sensoriamento remoto se coloca como uma ferramenta de análise fundamental, permitindo que o pesquisador obtenha imagens e informações da superfície terrestre sem contato físico entre as ferramentas envolvidas no processo de obtenção das informações (Meneses; Almeida, 2012).

Em complemento a essa definição de sensoriamento remoto, pode-se conceituá-lo como uma metodologia que se beneficia de várias técnicas para a extração de informações, sem a necessidade efetiva de contato físico entre o pesquisador e o objeto de interesse.

O conjunto de possibilidades e flexibilidade proporcionada pelo sensoriamento remoto, permite uma ampla análise da paisagem de regiões distintas à localidade do pesquisador, o que torna possível uma visão mais ampla sobre os agentes envolvidos em fenômenos de grande escala ocorridos na superfície terrestre (Lillesand, 2015).

### **2.2.1 Índices Espectrais**

Os índices espectrais fazem parte do escopo de práticas possíveis dentro do sensoriamento remoto, permitindo analisar, mensurar e diferenciar distintos materiais e tipos de superfícies capturados por meio de imagens. Eles são calculados a partir dos valores de refletância dos canais espectrais dos sensores orbitais e constituem um método simples e dinâmico no mapeamento de áreas da superfície terrestre (Roberts, 2018).

A utilização de índices espectrais obtidos a partir de imagens de satélites pode ser feita de diferentes formas, por meio de diferentes expressões matemáticas, dependendo do objetivo a ser alcançado. Esses índices podem ser extremamente úteis em análises que buscam discriminar diversas classes de valores em uma imagem, tais como vegetação, áreas construídas, regiões afetadas por incêndios e muitas outras categorias de análise (Lillesand, 2015).

### **2.2.2 Índices de Vegetação**

Dentre as muitas aplicações de índices espectrais, uma delas é a utilização de valores que permitam uma análise de áreas vegetadas. Os índices voltados para este tipo de análise permitem uma maior diferenciação da cobertura vegetal em relação a outras superfícies. Esse tipo de aplicação torna possível não só a identificação de áreas cobertas por vegetação, como também permite identificar a vitalidade da mesma, por meio de respostas espectrais que podem indicar condições como quantidade de clorofila e umidade foliar das plantas (Roberts, 2018).

Dentre os índices utilizados para aplicações em áreas vegetadas, alguns deles se destacam pelas amplas possibilidades de análises permitidas, tendo como um dos principais exemplo o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Esse índice proposto por Rouse (1973), tem como objetivo avaliar a sanidade vegetal de uma determinada região de interesse. Ele é calculado a partir da diferença normalizada entre a refletância da luz vermelha (*Red*) e

do infravermelho próximo (*NIR*). O índice é obtido a partir da seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}. \text{ O intervalo de valores expresso por esse índice varia de -1 a 1.}$$

Outro índice amplamente utilizado para aplicações voltadas ao monitoramento da vegetação é o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Esse índice foi originalmente proposto por Huete (1988) e busca minimizar a influência do brilho do solo em áreas onde a cobertura vegetal é baixa, tendo como uma de suas principais aplicações corrigir as possíveis limitações do NDVI, como sua sensibilidade ao solo exposto e rápida saturação em áreas de alta densidade vegetal, dificultando a distinção entre diferentes níveis de vegetação.

O SAVI é frequentemente utilizado em regiões áridas com baixa densidade vegetal, mas também pode ser aplicável a regiões que passaram por processos de desmatamento, queimadas e outros tipos de dinâmicas/eventos que propiciaram perdas significativas de biomassa vegetal. O índice em questão apresenta o fator de correção “L”, que tem a função de corrigir a influência da reflectância do solo na equação e aumentar a sensibilidade do índice à vegetação em áreas com alta densidade vegetal, podendo ser calculado a partir da seguinte

equação:  $SAVI = \left[ \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \right] * (1 + L)$ . De forma analítica, os valores desse índice também variam de -1 a 1.

### 2.3 Estatística Descritiva

A estatística descritiva é um ramo da área estatística que reúne um conjunto de técnicas estatísticas que possibilitam a análise de uma determinada população (conjunto de dados amostrais). Dentre essas técnicas, encontram-se várias possibilidades de aplicação a depender da intencionalidade do pesquisador e das características do conjunto amostral (Santos, 2007).

Dentre as principais medidas de análise em uma estatística descritiva, se encontram as medidas de posição, medidas de dispersão, medidas de forma, diagramas de extremos e várias outras medidas que permitam extrair dados e características de um grupo amostral (Guedes, 2005).

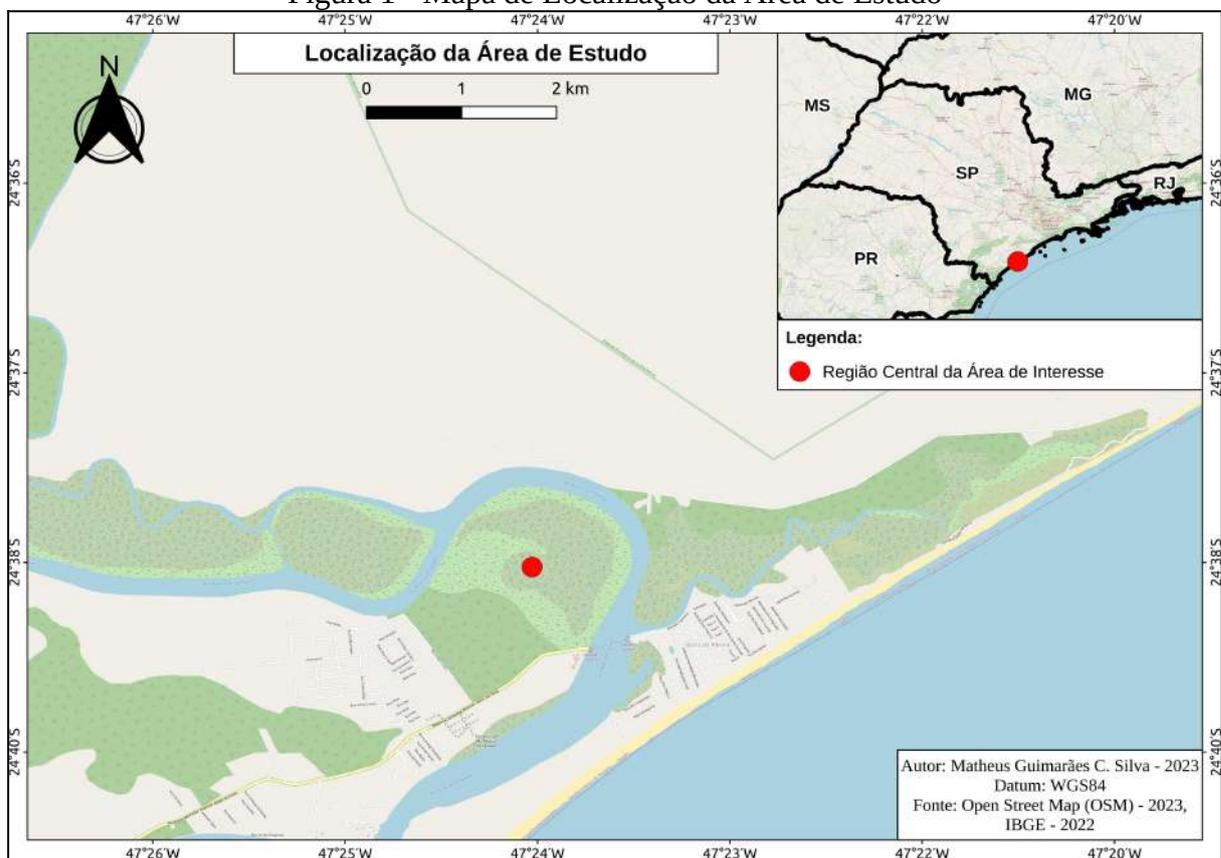
Com o intuito de adquirir métricas básicas de um conjunto amostral, medidas como as de posição e dispersão se mostram simples, porém eficientes. Ao passo que, dentro do grupo de medidas de posição, encontram-se cálculos como a média, mediana e moda, no grupo de medidas de dispersão encontram-se desvio padrão, variância e coeficiente de variação (Santos, 2007).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

A região de Icapara, no município de Iguape (SP), está localizada no litoral sul do estado de São Paulo, a cerca de 200 km da capital. Essa região se encontra na área da Baía de Mar Pequeno, considerada uma das maiores reservas de biodiversidade da região, abrigando a maior área de Mata Atlântica contínua do Brasil, bem como o Complexo Estuarino-Lagunar do rio Ribeira do Iguape, que foi declarado, em 1993, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Patrimônio Natural da Humanidade (UNESCO, 1999) Figura 1.

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: O Autor

#### 3.2 Ferramentas e Fonte de Dados

As imagens utilizadas no estudo são do satélite *Sentinel-2*, disponibilizadas gratuitamente pela *European Space Agency* (ESA). Essas imagens contam com informações tanto do espectro visível quanto infravermelho, possibilitando a obtenção de uma gama de valores de superfície. O *Sentinel-2* possui sensores que proporcionam uma resolução espacial de 10 a 60 metros dependendo das bandas utilizadas, sendo seu período de revisita para capturas de novas imagens de 5 dias, fornecendo uma média de 6 imagens mensais de uma mesma região do globo (ESA, 2023).

Como forma de aquisição das imagens, definição das áreas de interesse e obtenção dos valores de superfície dos índices, este estudo utilizou a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) como principal ferramenta de análise espacial e obtenção da base de dados. Essa plataforma é gratuita e operada em nuvem de propriedade da Google, disponível de forma gratuita para uso comercial, acadêmico e de pesquisa.

### **3.3 Proposta Analítica**

Como abordagem analítica, este estudo se propôs a analisar a série histórica de imagens da área afetada aplicando os índices escolhidos. Essa série histórica compreendeu os anos de 2019 a 2023, sendo as imagens obtidas compreendidas entre os meses de maio e junho de cada ano, assim mantendo a consistência e coerência da análise.

Como forma de obter um parâmetro comparativo anterior ao evento de chuva de granizo ocorrido na região, foi utilizada uma imagem prontamente anterior ao evento, datada de 27/05/2019. Também, como meio de estimar os danos causados à vegetação pelo evento extremo, foi obtida uma imagem imediatamente após a chuva, datada de 19/06/2019. O período de 23 dias de diferença entre as duas imagens ocorreu devido à alta concentração de nuvens sobre a área de interesse nesse intervalo, o que impossibilitou a obtenção de imagens exclusivamente no intervalo de 5 dias, que é o tempo de revisita do *Sentinel-2*.

Após a justificativa das características específicas de obtenção das imagens para o ano de 2019 apresentadas acima, todos os outros anos mantiveram o padrão de imagens obtidas entre os meses de maio e junho de cada ano. As imagens dos anos de 2020 a 2023 foram resultado de um processo que compreendeu o período de 01/05 a 30/06 de cada ano. O processo utilizado será melhor descrito a seguir.

Como tratamento final do banco de dados de imagens, foram aplicados filtros de nuvens com o intuito de remover possíveis ruídos visuais. Posteriormente, a imagem de cada ano foi obtida através da mediana dos valores compreendidos entre os meses de maio e junho. Esse processo permite a obtenção de uma imagem clara, sem nuvens, corrigida atmosféricamente, com valores preservados e de maior representatividade para o período definido. Todo esse procedimento foi realizado utilizando ferramentas internas do GEE.

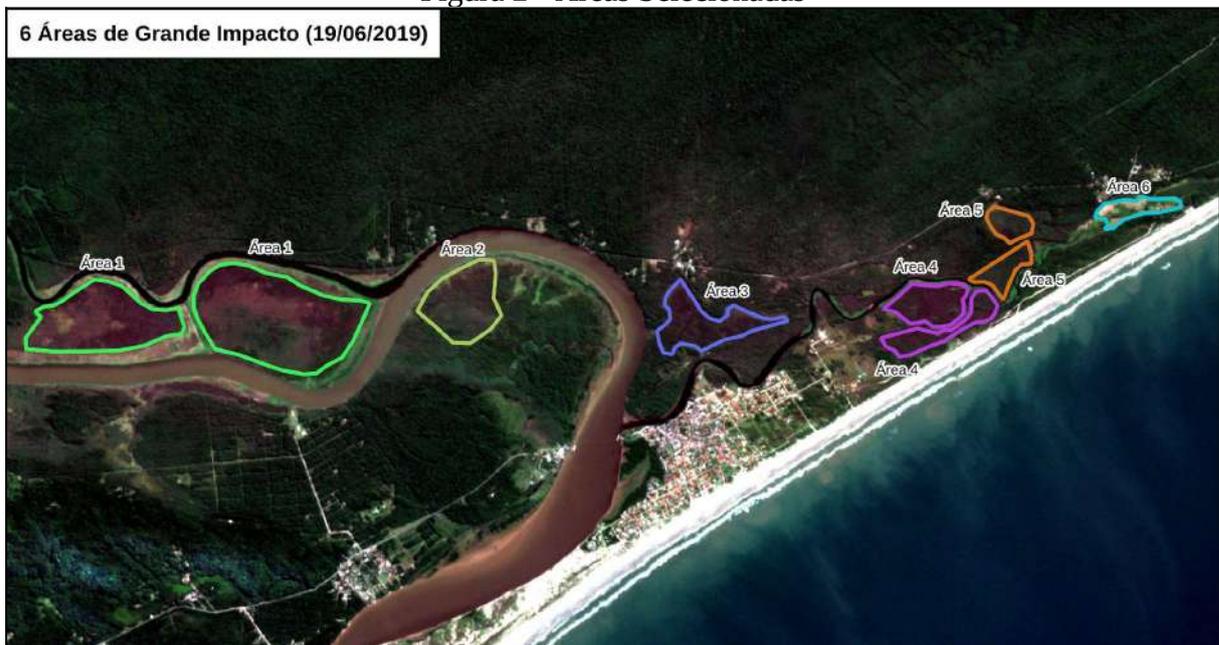
Os filtros de nuvens utilizados são funções específicas referentes às coleções do *Sentinel-2* existentes no GEE, enquanto a função de mediana é uma prática aplicada a todas as coleções de imagens presentes no GEE por padrão.

Os índices de vegetação utilizados foram gerados de forma interna no GEE, sendo o NDVI resultado da aplicação automatizada da diferença normalizada disponibilizada pelo GEE, e o SAVI gerado a partir da aplicação de fórmulas manuais às bandas espectrais.

### 3.4 Definição de Sub-Áreas

Como forma de obter dados mais precisos sobre os danos causados à vegetação local, foi realizada uma seleção das áreas mais danificadas. O objetivo dessa seleção foi evitar a contaminação do grupo amostral posteriormente escolhido, eliminando a necessidade de filtragem do excesso de *outliers* contidos nas amostras de pixels. Foram definidas seis áreas de grande impacto do evento, evitando-se áreas que não foram atingidas de forma aguda e corpos d'água, conforme indicado na Figura 2.

Figura 2 - Áreas Selecionadas



Fonte: O Autor

O critério de definição das seis áreas apresentadas acima se baseou na análise visual por meio de imagens com cores naturais, índices de vegetação e outros índices com múltiplos propósitos, como o NBR (*Normalized Burn Ratio*), apresentado por Escuin *et al.* (2008), muito utilizado para identificar áreas queimadas, e o NDWI (*Normalized Difference Water Index*) que foi proposto por McFeeters (1996) para estimar a umidade foliar da vegetação. Isso permitiu a aplicação de um critério de avaliação mais preciso.

### **3.5 Obtenção dos Valores de Pixel**

Como fase preliminar da análise do dano vegetal nas áreas previamente selecionadas, os valores dos pixels presentes em cada uma das seis áreas foram amostrados. Esse processo permite tanto uma análise individualizada dos danos e da recuperação de cada área quanto uma avaliação geral e comparativa dos dados obtidos.

#### **3.5.1 Índices Utilizados na Análise**

Conforme exposto no tópico 2.2.2, os índices de vegetação utilizados na amostragem dos valores de pixel foram, respectivamente, o NDVI e o SAVI. Essa escolha foi motivada por razões previamente explicitadas e pela significativa relevância analítica que ambos demonstraram nas análises comparativas preliminares entre os diversos índices possíveis. Nesta etapa, o objetivo foi obter o melhor contraste possível entre áreas mais e menos afetadas pelo evento.

Os índices NBR e NDWI não foram empregados na amostragem de dados, pois não demonstraram uma expressividade ou responsividade significativa no escopo da análise da saúde vegetal, quando comparados ao NDVI e SAVI.

### **3.6 Análise Estatística**

Os pixels extraídos das regiões de interesse indicadas na Figura 2 foram utilizados conforme descrito no tópico 3.5. O formato de saída dessa amostragem é uma tabela matricial de dados, que possibilita a sua inserção em diversas ferramentas de análise, como Excel, LibreOffice Calc, bibliotecas em Python, R e outras. Para este estudo, foi feita a combinação entre bibliotecas em Python e o LibreOffice Calc.

#### **3.6.1 Definição do Conjunto Estatístico**

Como base de análise das seis áreas indicadas na Figura 2, foram definidas como relevantes a média e mediana, assim como o desvio padrão.

A média e a mediana permitem caracterizar um grupo amostral resumindo seu conjunto de dados a apenas um valor, enquanto a utilização do desvio padrão se mostra útil na avaliação da homogeneidade do grupo, indicando o quanto os valores do grupo amostral se distanciam da média. Essa combinação permite que valores representativos do grupo sejam obtidos à medida que a homogeneidade da população também é testada a partir do desvio padrão.

Em complemento às medidas apresentadas acima, as medidas de amplitude máxima e mínima também foram adicionadas à análise. Essa adição pode se mostrar útil tanto na

testagem da homogeneidade das áreas, quanto na indicação de recuperação ou não de uma dada população, complementando as medidas de posição e dispersão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Identificação Inicial dos Danos

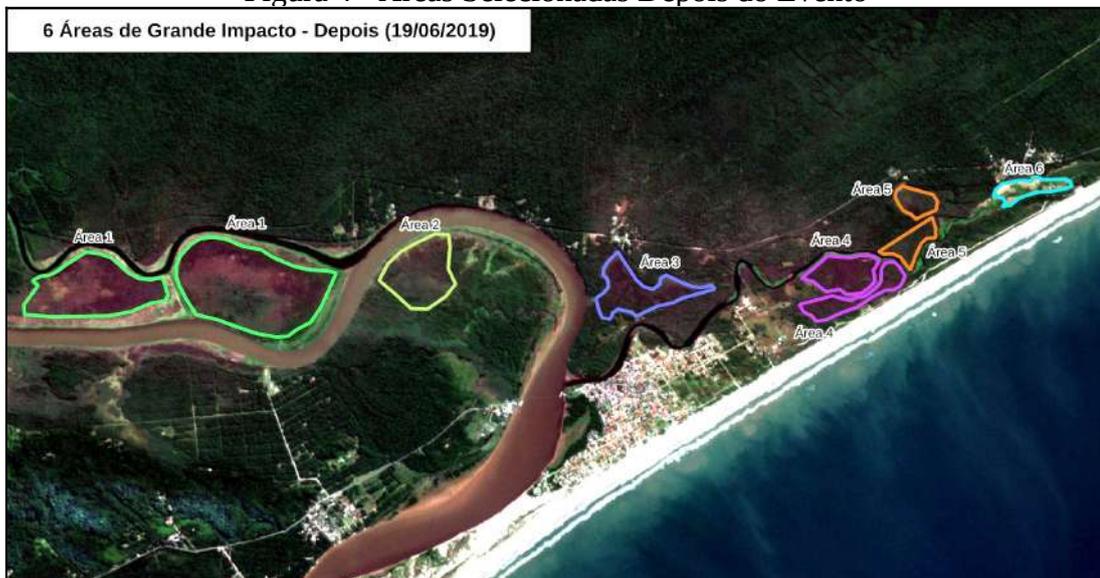
A composição colorida (RGB) possibilitou a identificação das diferenças na estrutura dos manguezais nas áreas selecionadas, como mostrado na Figura 4. Devido à intensidade do fenômeno ocorrido, a caracterização dos danos à vegetação local já se mostrava evidente em imagens de cores naturais, decorrente da grande perda de área foliar causada pelo evento, como evidenciado na comparação entre as Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Áreas Seleccionadas Antes do Evento



Fonte: O Autor

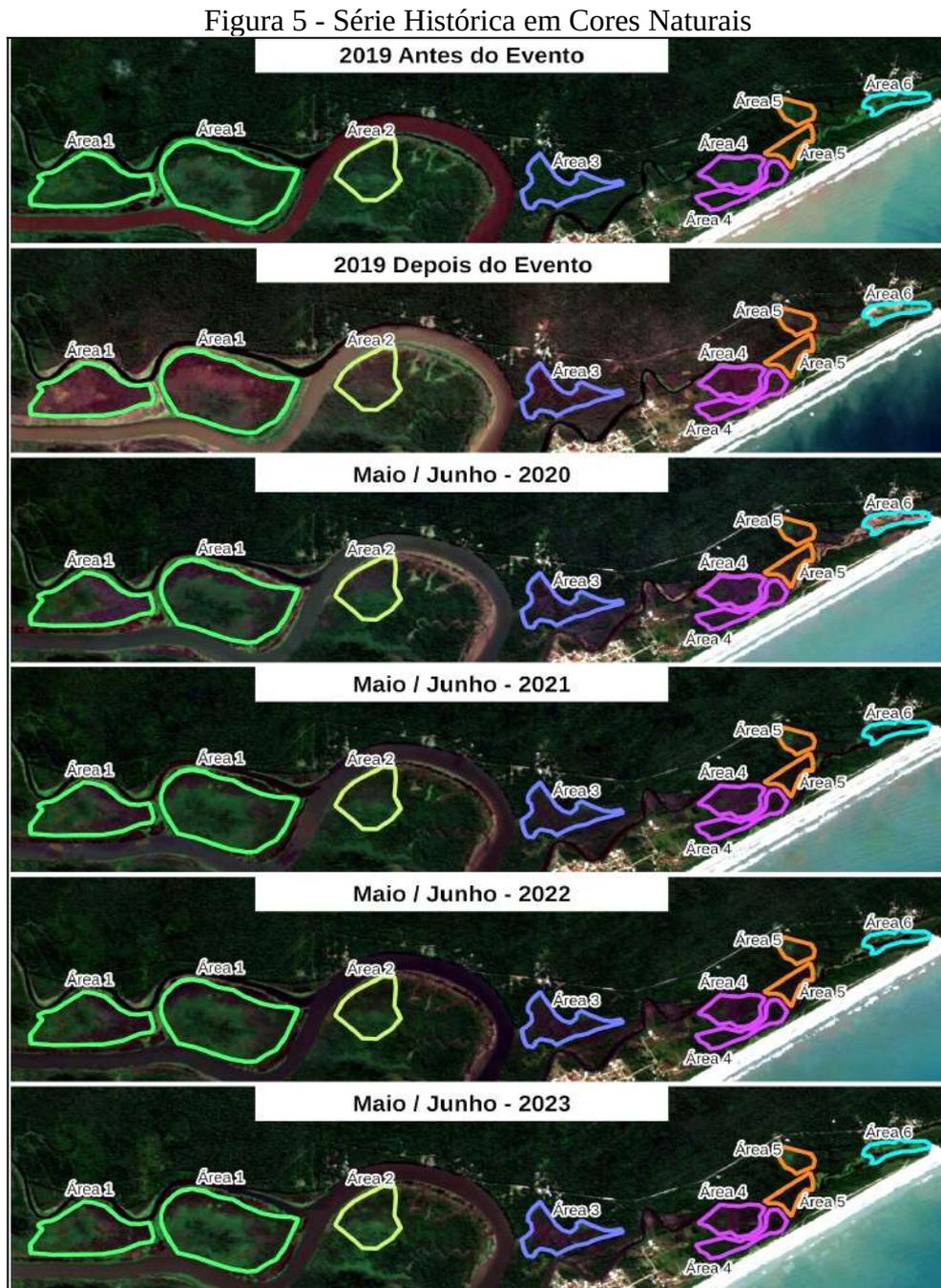
Figura 4 - Áreas Seleccionadas Depois do Evento



Fonte: O Autor

## 4.2 Comparação Visual da Série Histórica

Como indicado no tópico 4.1, devido à intensidade dos danos, a visualização dos mesmos por meio de cores naturais foi possível, estendendo-se também ao longo dos anos analisados, conforme indicado na Figura 5.



Fonte: O Autor

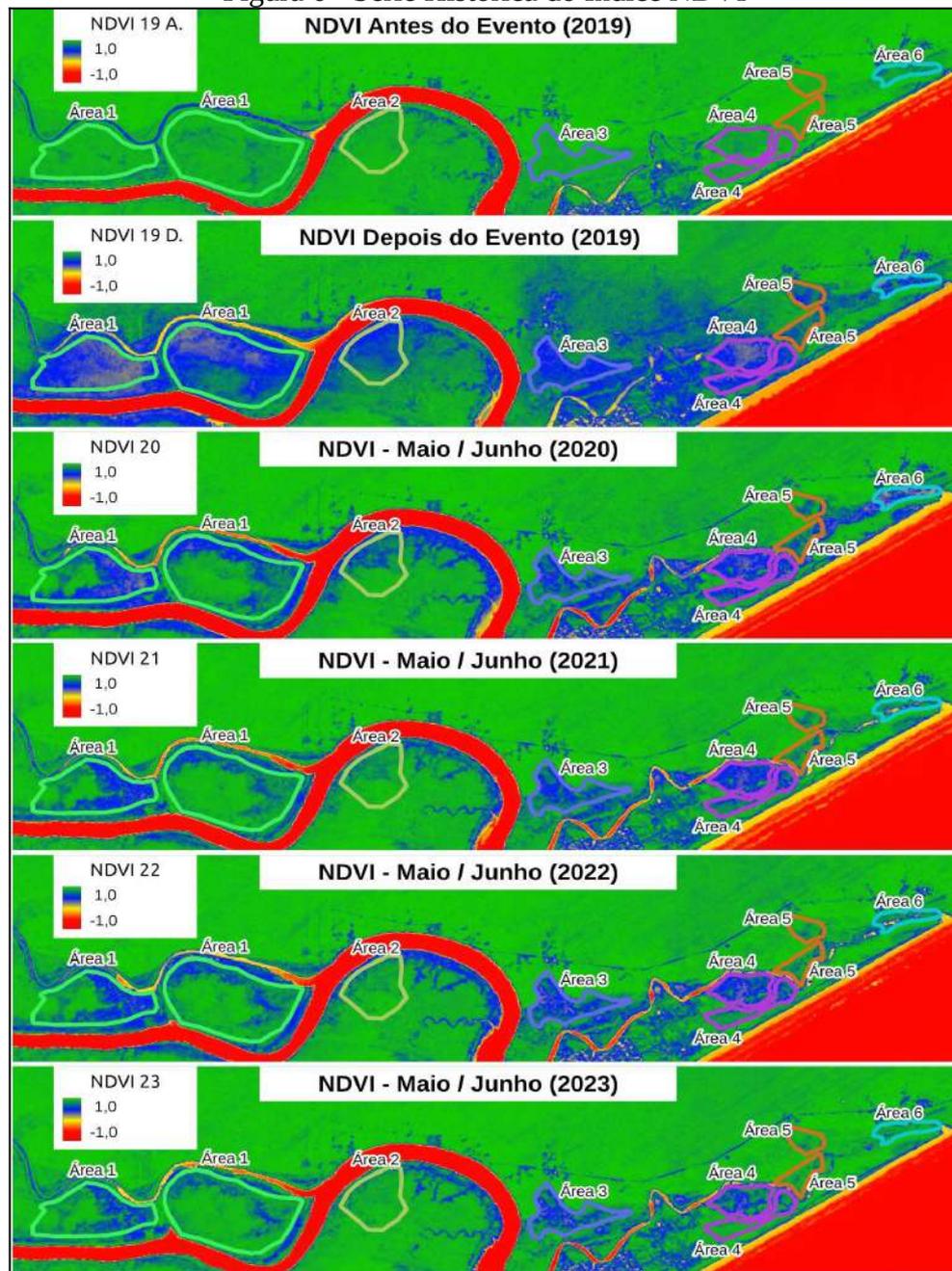
### 4.2.1 Série Histórica do Índice NDVI

Analisando a Figura 5, os danos se mostram mais evidentes no ano de 2019, ainda apresentando uma diferenciação no ano de 2020. No entanto, no intervalo dos anos de 2021 a 2023, o contraste entre as áreas danificadas e saudáveis diminuiu. Iniciou-se aqui a

necessidade da aplicação de índices com o objetivo de identificar valores de superfície não perceptíveis nas imagens de cores naturais.

Como apresentado no tópico 2.2.2, um dos índices de vegetação mais utilizados em análises de sanidade vegetal é o índice NDVI. A série histórica realizada com esse índice é indicada na Figura 6.

Figura 6 - Série Histórica do Índice NDVI



Fonte: O Autor

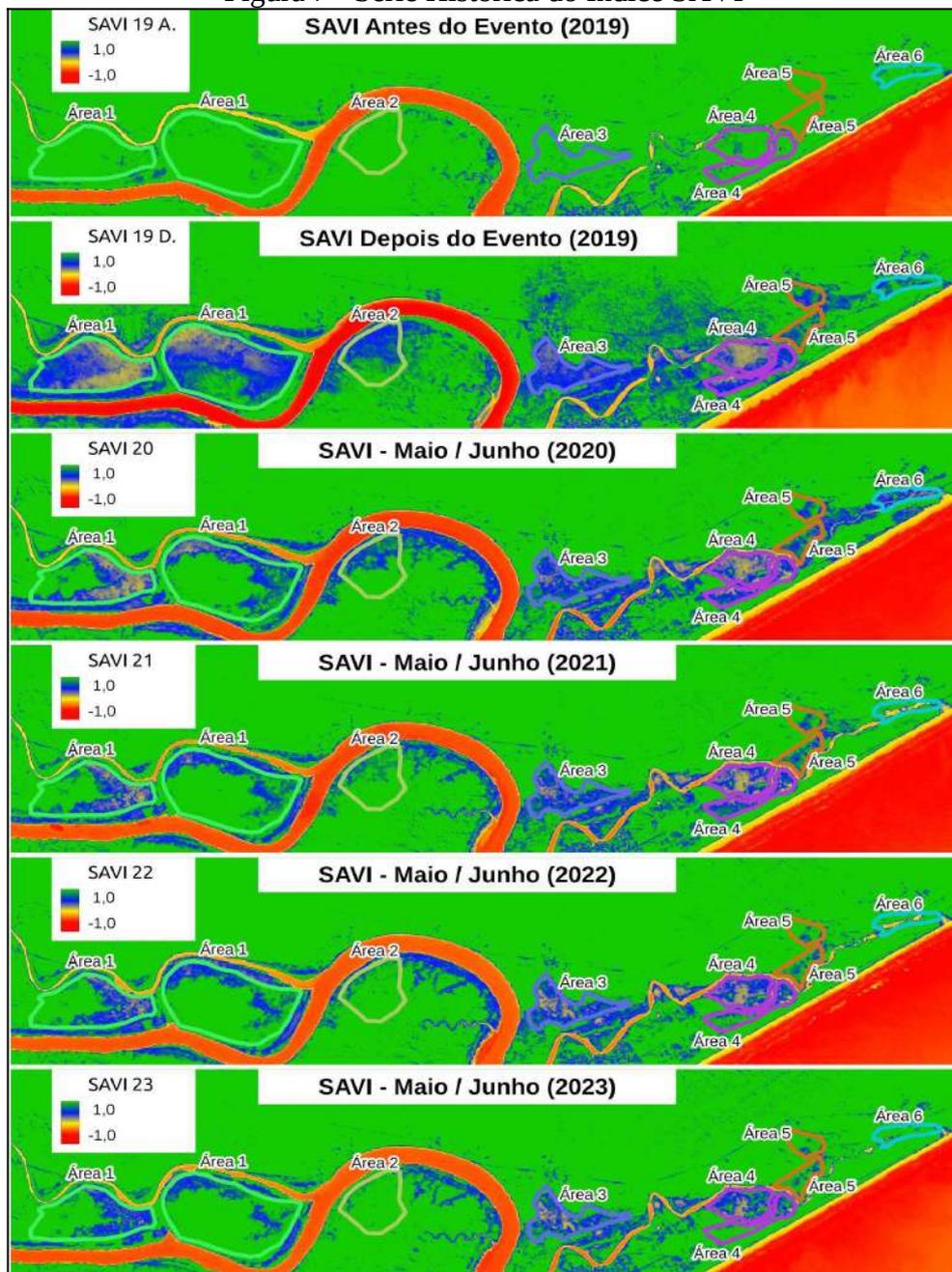
A maior parte dos valores representativos de áreas vegetadas é indicada nas cores azul e verde, com a representação em azul indicando sanidade vegetal mais baixa e valores em verde indicando sanidade vegetal mais alta. No índice NDVI, corpos d'água são representados

pelos valores negativos em vermelho, o que ocorre devido a uma maior reflectância da água na banda do infravermelho próximo em comparação com a banda do vermelho.

#### 4.2.2 Série Histórica do Índice SAVI

Assim como no índice NDVI, na paleta de cores utilizada no índice SAVI, os valores negativos são expressos na cor vermelha, e todos os outros padrões de cores seguem o já explicitado no item 4.2.1. No entanto, por representar uma porcentagem menor de valores negativos na imagem, este índice pode apresentar cores visualmente mais suaves nos corpos d'água devido ao fator de correção aplicado, indicado no item 2.2.2.

Figura 7 - Série Histórica do Índice SAVI



Fonte: O Autor

Ao corrigir a limitação do índice NDVI em áreas de vegetação mais esparsa, o índice SAVI é capaz de distinguir áreas mais afetadas, principalmente em comparações visuais.

### 4.3 Análise Estatística

Como apresentado no tópico 4.2, comparações visuais mostraram-se de grande valia na identificação e análise preliminar das áreas afetadas; no entanto, também puderam ser identificadas suas principais limitações. No decorrer da análise de uma série histórica, áreas que apresentam sinais relativos de recuperação podem, aos poucos, tornar-se cada vez mais similares às áreas saudáveis, o que, por meio de uma análise apenas visual, pode se mostrar enganoso.

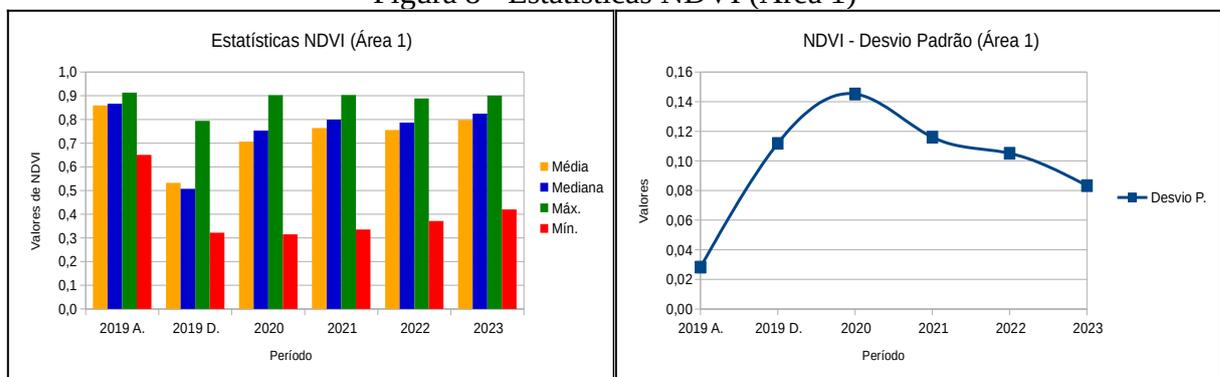
Diante do cenário apresentado, uma análise estatística se mostra de grande valia no intuito de obter bons índices de confiabilidade analítica, permitindo mensurar de forma mais precisa as condições do processo de recuperação das áreas afetadas ou, de fato, verificar se há um processo de recuperação em constante evolução.

Como já indicado no item 3.4 da metodologia apresentada, as análises ocorreram de forma individual entre as seis áreas delimitadas, permitindo a identificação de possíveis peculiaridades em cada uma delas. Posteriormente, realizou-se uma análise geral das seis áreas, com o objetivo de obter métricas gerais da região afetada pelo evento.

No que diz respeito à interpretação dos gráficos a serem apresentados no próximo tópico, destaca-se o fato de não constarem valores negativos, uma vez que as seis áreas de interesse definidas não possuem corpos d'água sensíveis à resolução utilizada no estudo.

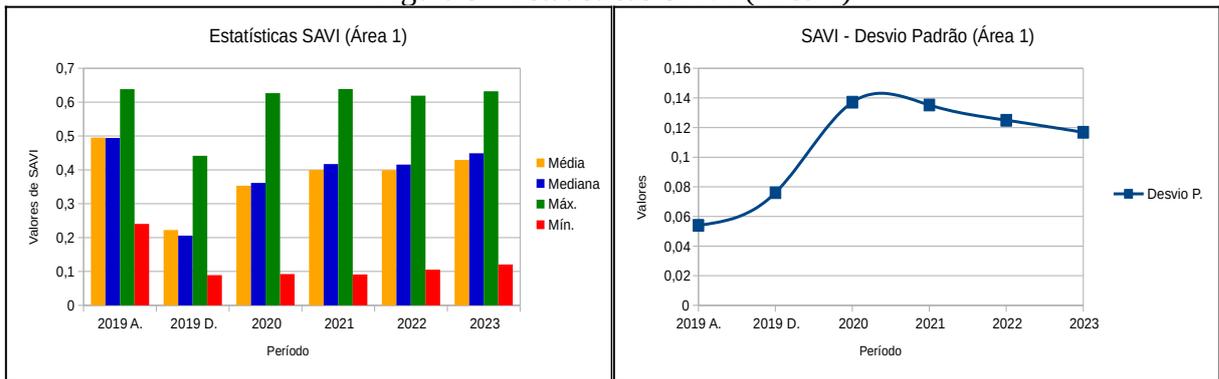
#### 4.3.1 Análise Estatística da Área 1

Figura 8 - Estatísticas NDVI (Área 1)



Fonte: O Autor

Figura 9 - Estatísticas SAVI (Área 1)



Fonte: O Autor

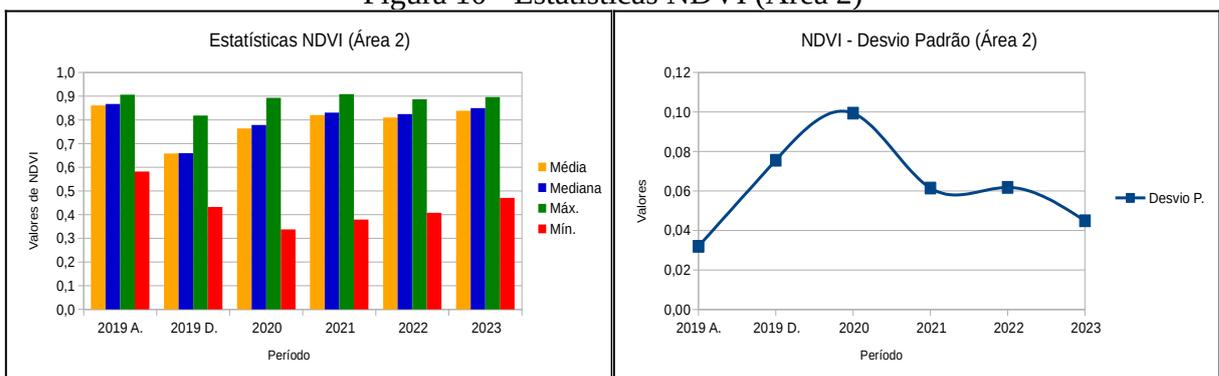
As Figuras 8 e 9 mostram a evolução das métricas do NDVI e SAVI na série histórica. Percebe-se uma queda significativa de todos os valores se considerarmos, respectivamente, o período anterior e posterior ao evento (2019 A.) e (2019 D.). A partir do ano de 2020 os indicadores da área 1 apresentaram melhoras, se mantendo estatisticamente estáveis até o ano de 2023.

É perceptível um aumento tanto da média quanto da mediana dos valores de ambos os índices entre os anos de 2022 e 2023, assim como um aumento dos valores mínimos encontrados. Essas características são um forte indicativo de que a área vem apresentando evoluções em sua recuperação.

Quando analisados os gráficos de desvio padrão, é evidente o aumento de valores, o que indica o aumento da heterogeneidade da área, principalmente logo após o evento. Apesar da curva descendente, os valores de NDVI e SAVI se mantêm consideravelmente mais dispersos que os anteriores à chuva. Isso indica maior heterogeneidade da sanidade da vegetação nesta área.

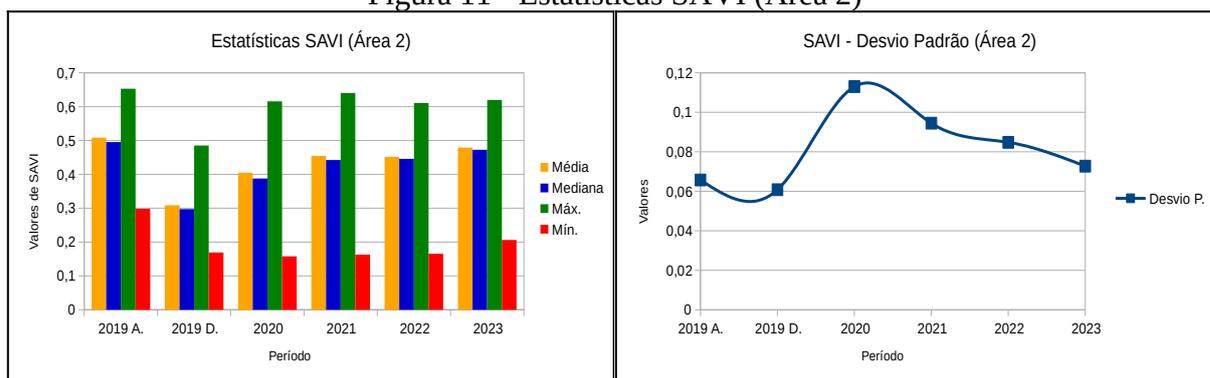
#### 4.3.2 Análise Estatística da Área 2

Figura 10 - Estatísticas NDVI (Área 2)



Fonte: O Autor

Figura 11 - Estatísticas SAVI (Área 2)



Fonte: O Autor

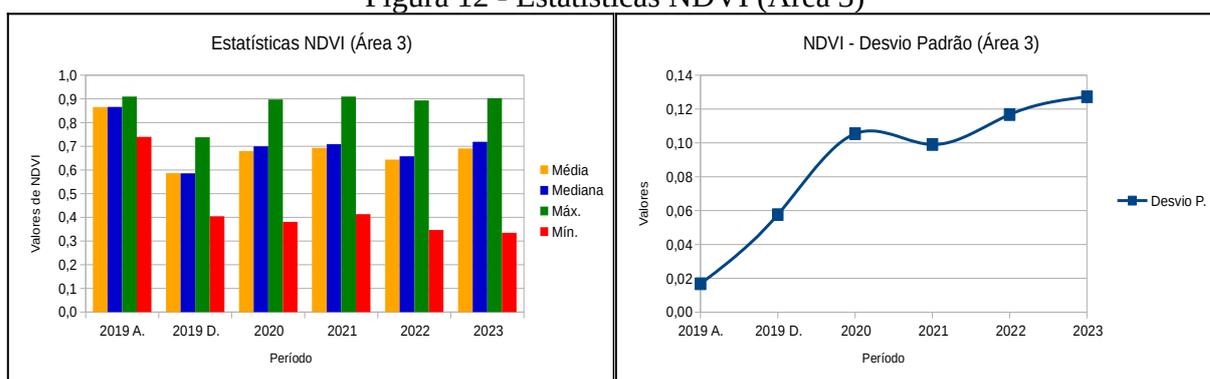
Assim como o apresentado no tópico 4.3.1, os indicadores da sanidade vegetal da área 2 sofreram uma queda significativa nos valores de sanidade vegetal logo após o evento (2019 D.), também demonstrando um cenário de evolução estável entre os anos de 2020 e 2023, melhorando de forma gradual os valores de média e mediana, assim como apresentando valores mínimos mais altos.

Quanto à heterogeneidade da área 2, os gráficos de desvio padrão demonstram formas similares nos dois índices, também indicando que a área se tornou mais heterogênea após o evento, tendo seu pico entre os anos de 2020 e 2021, assim como observado na área 1 (Figura 8 e Figura 9). Porém, ao observar a curva apresentada em todo o período analisado, observa-se uma tendência à queda dos valores, o que pode indicar um quadro de recuperação geral da área.

Observa-se uma diferença significativa nos valores iniciais de desvio padrão entre os períodos (2019 A.) e (2019 D.), onde o índice NDVI apresenta um aumento exponencial da heterogeneidade, enquanto o índice SAVI apresenta um leve aumento da homogeneidade nesse mesmo período. Este pode ser um cenário propiciado pela menor sensibilidade do índice NDVI em baixas densidades vegetais.

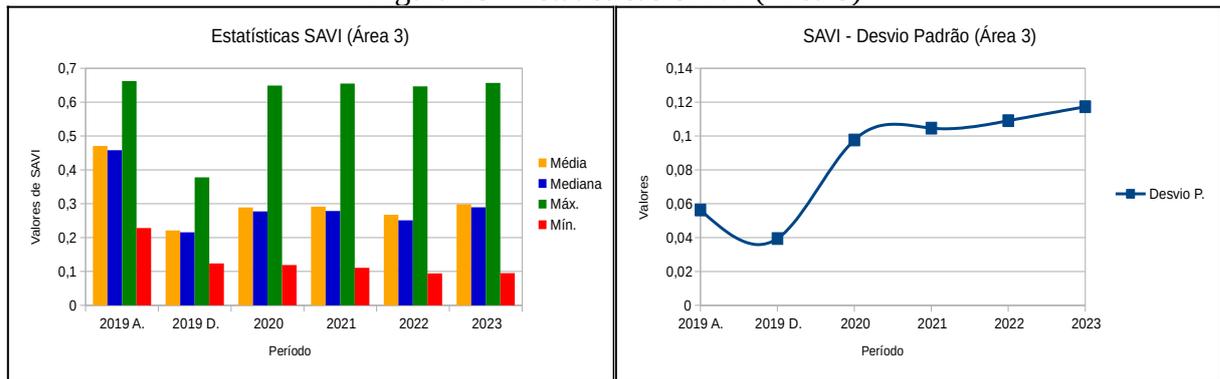
### 4.3.3 Análise Estatística da Área 3

Figura 12 - Estatísticas NDVI (Área 3)



Fonte: O Autor

Figura 13 - Estatísticas SAVI (Área 3)



Fonte: O Autor

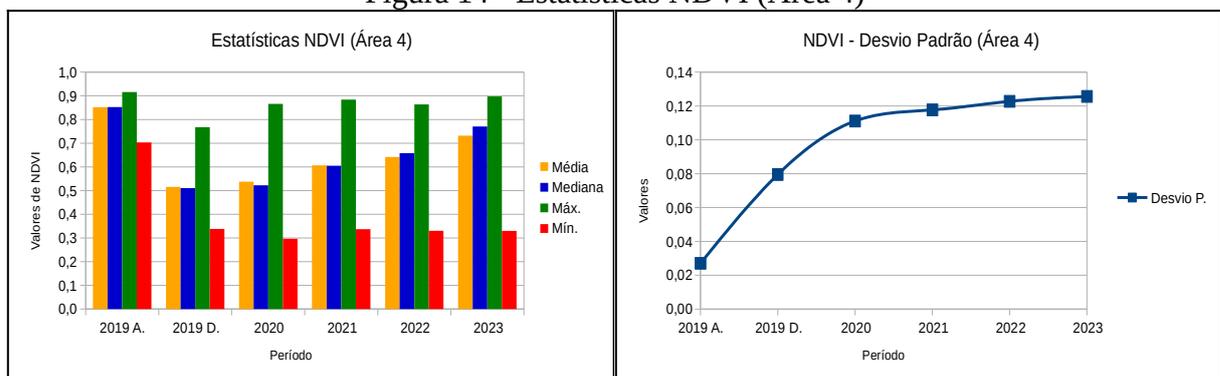
A área 3 se enquadra em uma das áreas mais danificadas pelo evento climático. Além da queda dos valores de vitalidade vegetal após evento, essa área manteve valores consistentemente baixos em relação à sua vitalidade anterior e uma baixa evolução em sua recuperação.

Somasse aos baixos indicadores de recuperação, um desvio padrão crescente, o que indica além de uma baixa recuperação, que esta área está se tornando cada vez mais heterogênea, o que pode ser um indicativo que uma parcela significativa da vegetação desta área não está se recuperando.

Assim como apresentado no item 4.3.2, o gráfico de desvio padrão do índice SAVI destoa em seu período inicial do gráfico do índice NDVI. Além dos motivos já apresentados, isso também pode indicar um grande dano de forma homogênea nessa área, o que fez com que toda a amostragem de sanidade vegetal apresentasse valores mais baixos na extensão definida para área 3 naquele período.

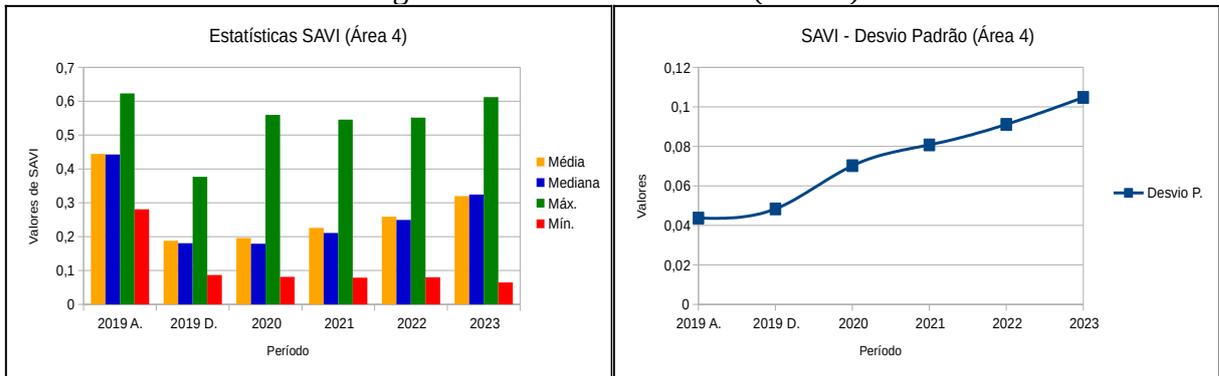
#### 4.3.4 Análise Estatística da Área 4

Figura 14 - Estatísticas NDVI (Área 4)



Fonte: O Autor

Figura 15 - Estatísticas SAVI (Área 4)



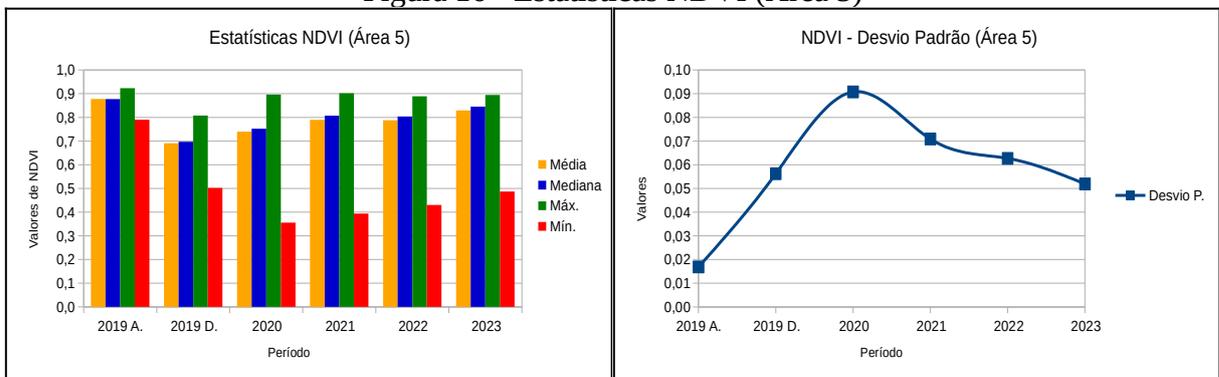
Fonte: O Autor

A área 4, assim como as anteriores, também apresenta um padrão de queda significativa dos valores de sanidade após o evento, apresentando uma melhora geral dos indicadores de sanidade no período de 2020 a 2023. Porém, se nota a manutenção dos valores mínimos encontrados na área, o que pode ser um indicador de que parte da população se mantém inalterada e apresentando valores de sanidade baixos.

Como confirmação do exposto, os valores de desvio padrão dessa área cresceram de forma exponencial e até o momento ainda indicam a possibilidade de aumento, o que aponta uma forte tendência à heterogeneidade da área em questão que, nesse cenário, pode representar que parte da população foi atingida de forma permanente e não esboça recuperação.

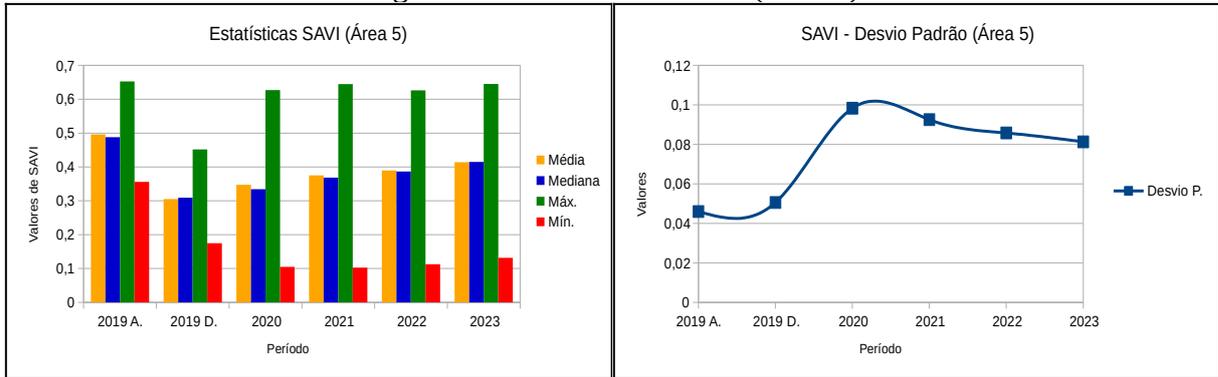
#### 4.3.5 Análise Estatística da Área 5

Figura 16 - Estatísticas NDVI (Área 5)



Fonte: O Autor

Figura 17 - Estatísticas SAVI (Área 5)



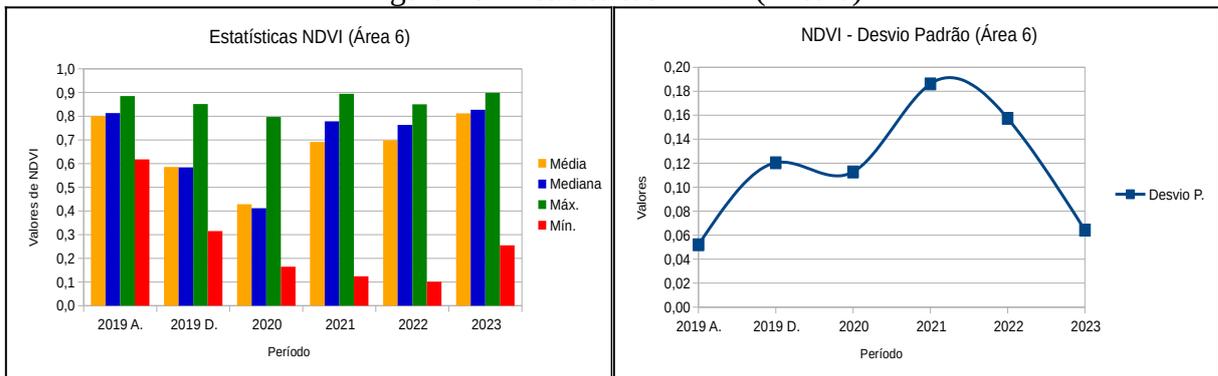
Fonte: O Autor

Como característica dominante, a área 5 também apresenta quedas abruptas de sanidade após o evento climático. Essa área também apresenta melhoras crescentes no período de 2020 a 2023, mas apresenta valores mínimos baixos nesse mesmo período, o que também indica uma recuperação desigual da área.

Os valores de desvio padrão da área 5, se mantêm altos mesmo 4 anos após o evento, porém, sua tendência de queda é visível, sendo mais amena do que as áreas 1 (Figura 8 e Figura 9) e 2 (Figura 10 e Figura 11), mas melhores e mais promissoras do que as áreas 3 (Figura 12 e Figura 13) e 4 (Figura 14 e Figura 15).

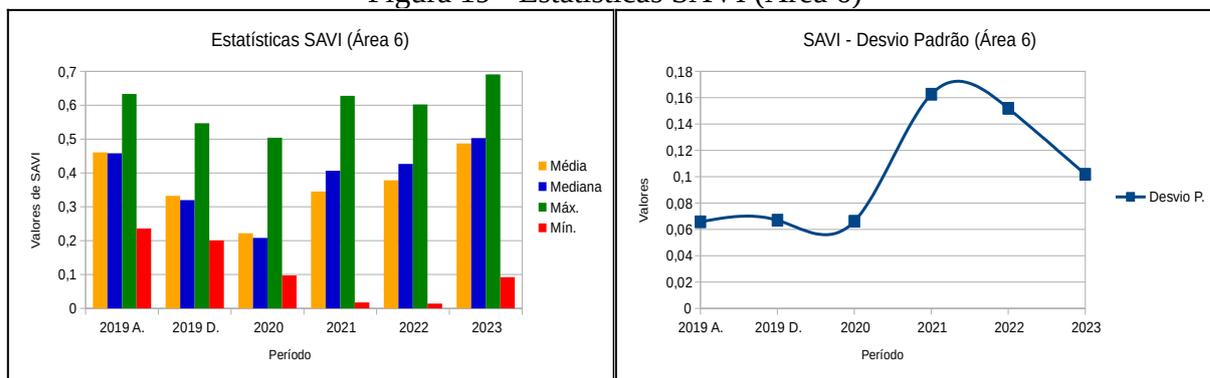
#### 4.3.6 Análise Estatística da Área 6

Figura 18 - Estatísticas NDVI (Área 6)



Fonte: O Autor

Figura 19 - Estatísticas SAVI (Área 6)



Fonte: O Autor

A área 6 segue um padrão de evolução muito similar ao das apresentadas anteriormente, principalmente quando comparada com as características das áreas 1 (Figura 8 e Figura 9) e 2 (Figura 10 e Figura 11), mantendo o padrão de baixos valores de sanidade vegetal próximo ao período do evento, seguido de uma posterior melhora gradual desses indicadores.

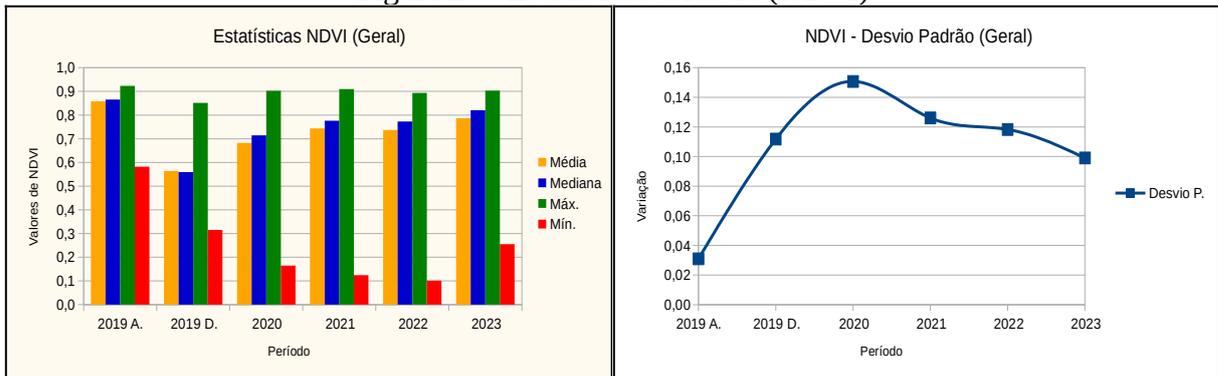
Uma característica peculiar apresentada por essa área, encontra-se nos valores de sanidade vegetal do ano de 2020, onde os indicadores são visivelmente mais baixos do que os apresentados logo após o evento (2019 D.). Isso pode ser um indicativo de que a área 6 apresentou uma significativa dificuldade inicial de recuperação se comparada com as outras áreas.

O ano de 2020 apresentou baixos valores no seu desvio padrão, o que quando correlacionado com os baixos valores de sanidade vegetal, pode indicar um dano generalizado na área nesse período, o que pode ser observado na Figura 7. Apesar desse cenário, após o ano de 2022 essa área passou a apresentar um considerável declínio dos valores de desvio padrão, o que somado ao aumento dos indicadores de sanidade vegetal, pode indicar uma recuperação considerável da área 6.

#### 4.4 Estatísticas Globais

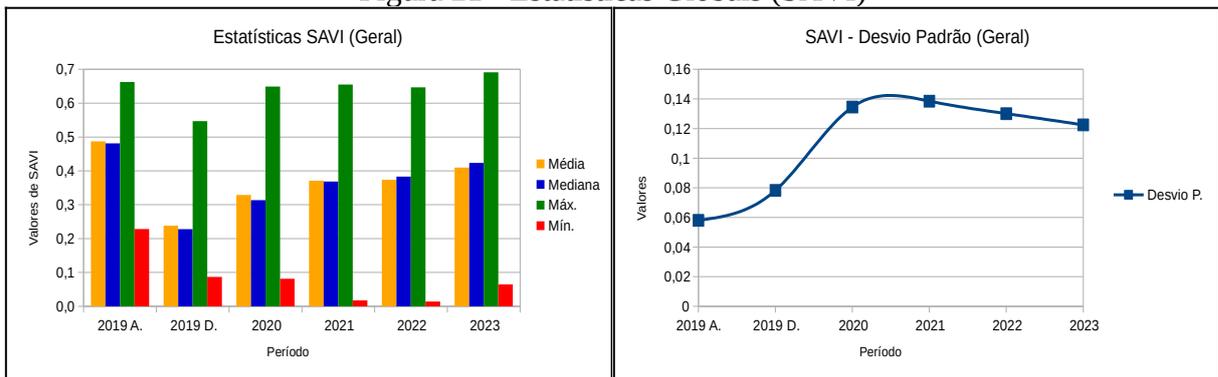
Como forma de obter um panorama geral do processo de recuperação das seis áreas apresentadas neste estudo, uma análise estatística abrangente foi aplicada para compreender os processos que ocorrem na região afetada pelo evento climático.

Figura 20 - Estatísticas Globais (NDVI)



Fonte: O Autor

Figura 21 - Estatísticas Globais (SAVI)



Fonte: O Autor

De forma geral, as estatísticas globais seguem um padrão semelhante ao apresentado na maior parte das áreas analisadas, indicando declínio nos valores de sanidade vegetal próximo ao evento, seguido de uma melhora amena entre os anos de 2021 e 2022 e um avanço mais significativo no ano de 2023.

Assim como as medidas apresentadas no parágrafo anterior expressam uma possível melhora regional, os valores de desvio padrão também corroboram com esta hipótese, apresentando os maiores índices de heterogeneidade entre os anos de 2020 e 2021. No entanto, indicam um declínio desses valores nos anos seguintes. Isso, aliado ao aumento dos indicadores de sanidade vegetal, pode indicar um cenário de recuperação global da região afetada pela dinâmica da chuva de granizo ocorrida na região em 2019.

#### 4.4.1 Análise Geral

Ao considerar o panorama geral, observaram-se padrões consistentes, mas também foram reconhecidas as peculiaridades de cada região, destacando a complexidade do impacto e recuperação da vegetação afetada.

Uma grande parte das áreas analisadas registrou uma queda significativa nos valores de sanidade vegetal imediatamente após o evento, indicando o impacto negativo na sanidade vegetal. Entretanto, a partir do ano de 2020, uma melhoria geral é observada, refletida no aumento da média e mediana dos indicadores. Essa tendência positiva se acentua em 2023, sugerindo uma recuperação mais substancial das áreas atingidas.

A análise dos desvios padrão revela um aumento da heterogeneidade nas áreas logo após o evento climático, indicando que os impactos e o processo de recuperação não ocorreram de maneira linear. Apesar da tendência à queda nos anos subsequentes, os desvios padrão ainda permanecem mais elevados do que os observados no período anterior ao evento. Isso sugere que, embora a região como um todo esteja se recuperando, há variações significativas na resposta da vegetação nas diferentes áreas.

A observação de desvios padrão mais elevados nos primeiros anos pós-evento indica uma maior variabilidade na resposta da vegetação. Isso também pode estar relacionado a fatores como topografia, composição do solo, tipo de vegetação, nível de dano e outros elementos locais que não foram contemplados por este estudo.

A persistência de valores mínimos em algumas áreas sugere que uma parcela da população vegetal pode não estar se recuperando totalmente, o que pode indicar algum nível de dano permanente. Isso também indica a importância de abordagens diferenciadas para cada área.

Embora as tendências gerais apontem para uma recuperação positiva da sanidade vegetal, é importante considerar as especificidades de cada área. Estratégias de manejo e restauração devem ser adaptadas para abordar as particularidades de cada região, garantindo uma recuperação que possa ser mais efetiva.

A compreensão dos padrões e a implementação de ações direcionadas são essenciais para promover a resiliência da vegetação diante de eventos climáticos extremos, garantindo a preservação a longo prazo da biodiversidade e da saúde dos ecossistemas afetados.

A recuperação de áreas de mangue afetadas por eventos climáticos é importante para restaurar os serviços ecossistêmicos que os manguezais fornecem. O monitoramento da recuperação de áreas de mangue é importante para garantir que os manguezais sejam restaurados de forma eficaz. O monitoramento pode ajudar a identificar áreas que precisam de

mais intervenção e a avaliar o sucesso das medidas de recuperação que podem vir a ser aplicadas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo metodológico de analisar áreas previamente identificadas se mostrou de grande efetividade para o estudo, se comparado à uma análise global da área sem delimitação prévia. Este método permitiu não apenas a criação de um modelo mais simples e com menor número de amostras, como também demonstrou consistência estatística.

Os índices NDVI e SAVI foram eficientes e complementares na metodologia utilizada, o que permitiu uma análise histórica adequada de como a vegetação reagiu aos danos desde os primeiros momentos após o evento climático até os dias atuais, apresentando uma boa consistência dos valores de reflectância contidos nas imagens e permitindo analisar a vegetação de forma mais independente de outras variáveis do ambiente.

A aplicação de medidas estatísticas foi efetiva para analisar os impactos na região. Essa abordagem possibilitou a superação de limitações visuais, permitindo maior assertividade mesmo em intervalos de menor contraste entre determinados períodos da série histórica. Isso possibilitou a utilização de um critério analítico mais preciso na comparação das áreas e na avaliação da evolução individual de cada uma delas.

Para se obter uma maior confiabilidade sobre a recuperação da região afetada, a continuação analítica de séries históricas pode permitir um acompanhamento mais preciso das alterações ocorridas nas áreas afetadas.

A fim de aprofundar as análises e obter informações mais precisas sobre o estado de recuperação das áreas afetadas, algumas ações futuras podem ser propostas, incluindo um maior número de variáveis na análise, como relevo, tipo de vegetação e solo. A incorporação dessas variáveis pode proporcionar um monitoramento mais preciso das áreas afetadas, permitindo melhores estudos de campo e, se necessário, a implementação de práticas de manejo mais eficazes.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê editorial, 2003.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. **MAR PEQUENO**. [S. l.], 23 dez. 2013. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/tv/396024-mar-pequeno/#:~:text=O%20document%C3%A1rio%20Mar%20Pequeno%20visita,com%20o%20estado%20do%20Paran%C3%A1>. Acesso em: 1 nov. 2023.
- CARVALHO, Natália. **Ecosistemas de carbono azul e as sinergias entre medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e eventos extremos: o caso dos manguezais da baía de Sepetiba - RJ**. 2020. 339f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.
- DA SILVA, Greicy Kelly et al. Análise de projeções das mudanças climáticas sobre precipitação e temperatura nas regiões hidrográficas brasileiras para o século XXI. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)**, v. 55, n. 3, p. 420-436, 2020.
- DA SILVA DIAS, Maria Assunção Faus. Eventos climáticos extremos. **Revista usp**, n. 103, p. 33-40, 2014.
- DE FREITAS, Cláudia Virgínia M.; DA SILVA, Maria Lúcia Pereira. Mudanças do Clima: Análise das Conferências que trataram do Mercado de Carbono e seus principais resultados. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 75332-75342, 2020.
- DEYOE, H.; Lonard, R.I.; Judd, F.W.; Stalter, R., and Feller, I. Biological flora of the tropical and subtropical intertidal zone: Literature review for Rhizophora mangle L. **Journal of Coastal Research**, Florida, ISSN 0749-0208, 2020.
- ESA. **Sentinel Online: SENTINEL-2 MISSION GUIDE**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 13 set. 2023.
- ESCUIN, S.; NAVARRO, R.; FERNÁNDEZ, P. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 4, p. 1053-1073, 2008.
- GUEDES, Terezinha Aparecida et al. Estatística descritiva. **Projeto de ensino aprender fazendo estatística**, p. 1-49, 2005.
- HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.
- ICMBIO; MMA. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília: [s. n.], 2018. Atlas. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/atlas-dos-manguezais-do-brasil-pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. **Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. Setembro de 2014.

LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, 2015.

MAXIMIANO, Liz Abad. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.

MCFEETERS, Stuart 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.

MENESES, P. R., & ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ONU. UNESCO afirma que manguezais são aliados do ser humano na luta contra as mudanças climáticas. [S. l.], 26 jul. 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/83822-unesco-afirma-que-manguezais-s%C3%A3o-aliados-do-ser-humano-na-luta-contra-mudanc%C3%A7as-clim%C3%A1ticas>. Acesso em: 22 jun. 2023.

ROBERTS, Dar A. et al. **Hyperspectral vegetation indices**. In: **Hyperspectral indices and image classifications for agriculture and vegetation**. CRC press, 2018. p. 3-26.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo (Org.). **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5. ed. José Mateo Rodriguez; et al. - Fortaleza: Edições UFC, 2017. 222 p.

ROUSE, J. W; Haas, R. H; Schell, J. A; & Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ETRS. In: **Third ETRS Symposium**, NASA SP353, Washington, DC. 1: 309-317. 1973.

SANTOS, Carla. Estatística descritiva. **Manual de auto-aprendizagem**, v. 2, 2007.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. A diversidade do ecossistema manguezal. In: **Atlas dos Manguezais do Brasil** (1ª ed.). Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. ICMBio, Brasília, D.F, p. 23-36, 2018b.

SILVA, Charlei Aparecido da Silva (Org.). **Geografia e Natureza: experiências e abordagens de pesquisas**. Dourados: Ed. UFGD, 2012. 256 p.

SILVA, Marco Antonio Saraiva da; FARIA, André Luiz Lopes de. Impact evaluation of the extreme weather event in mangroves of the Brazilian Southeast Coast with remote sensing. **Sociedade & Natureza**, v. 34, 2022.

SCHIER, Raul Alfredo. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 7, 2003.

SERVINO, Ricardo Nogueira; Gomes, Luiz Eduardo de Oliveira; Bernardino, Angelo Fraga. Extreme weather impacts on tropical mangrove forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion. **Science of the Total Environment**. New York, USA; n. 628, p.233-240, 2018. doi:10.1016/j. scitotenv. 2018.02.068.

TAUB, D. Effects of Rising Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide on Plants. **Nature**, 2010.