

# **IMPACTO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EM ECOSSISTEMAS DE MANGUEZAIS: UM ESTUDO DE CASO NO LITORAL SUL DE SÃO PAULO**

Marcelo Garcia Rossi <sup>1</sup>  
Milena Pires de Sousa <sup>2</sup>

## **INTRODUÇÃO**

Eventos climáticos extremos são manifestações de eventos climáticos que sempre aconteceram, como chuvas, alterações em umidade do ar, mudanças de temperatura e etc, ocorrendo de formas mais intensas, prolongadas ou em grande volume. Esses eventos têm ocorrido com maior recorrência e com grandes impactos em ecossistemas de manguezais.

Manguezais são definidos como “ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, sujeito ao regime das marés” (SCHAEFFER-NOVELLI, Y, 1995)

As mudanças climáticas afetam substancialmente os manguezais por meio do aumento do nível do mar, aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos e tempestades, aumento da temperatura do ar e do mar e mudanças na precipitação. Esses fatores estão inter-relacionados e são espacialmente variáveis em escalas regionais (LIMA et al, 2023)

Tais eventos podem trazer implicações importantes para a vulnerabilidade das populações costeiras que dependem dos recursos dos manguezais, além de diversos desequilíbrios que podem modificar a paisagem e a biodiversidade nos locais.

O sensoriamento remoto, por outro lado, é uma técnica poderosa para monitorar e analisar a superfície terrestre a partir de imagens capturadas por satélites ou sensores aéreos. Ele se distingue na análise de condições climáticas e alterações do uso do solo por fornecer dados detalhados e em grande escala sobre ambos os aspectos. Para condições climáticas, o sensoriamento remoto pode captar variações na temperatura da superfície, umidade do solo e cobertura de nuvens, permitindo o monitoramento de fenômenos como tempestades e ondas de

---

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo – SP, [marcelorossi@usp.br](mailto:marcelorossi@usp.br);

<sup>2</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo – SP, [milenasousa@usp.br](mailto:milenasousa@usp.br);

calor. Já no caso das alterações do uso do solo, ele permite a detecção de mudanças na cobertura terrestre, como desmatamento, expansão urbana e agricultura, ao comparar imagens em diferentes períodos. Enquanto a análise climática se foca em variáveis atmosféricas e meteorológicas, a avaliação das mudanças no uso do solo concentra-se na observação de transformações na paisagem e no impacto dessas mudanças sobre os ecossistemas e a infraestrutura.

A pesquisa avalia a viabilidade da utilização de imagens de satélite voltadas para alterações no uso do solo para a detecção de eventos climáticos extremos em ecossistemas de manguezais. O estudo foi conduzido ao longo do litoral sul do Estado de São Paulo, especificamente nas regiões de Iguape e Cananéia.

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

Foram obtidas imagens de sensoriamento remoto do satélite Sentinel 2 e utilizado o método de detecção de mudanças nas imagens pela análise de componentes principais. As bandas do Sentinel 2, utilizadas foram a azul (B2), verde (B3), vermelho (B4) e infravermelho (B8).

Os dados das imagens foram gerados com foco em duas áreas: Ilha dos Papagaios, em Iguape-SP, utilizada nesse estudo como uma área de controle, onde sabidamente ocorreu um evento climático extremo em 30 de maio de 2019, e para uma porção da Ilha do Cardoso (em Cananéia-SP), ocorrido na data provável de janeiro de 2019.

Para testar o método de detecção de mudanças, foram geradas componentes principais (ou PCs - *principal components* em inglês) antes e após o evento climático extremo. A ideia básica das componentes principais é eliminar a correlação entre as bandas de uma imagem de satélite e concentrar as informações em um número reduzido de componentes que contenham a maior parte da variabilidade dos dados. Para isto, uma sequência de transformações lineares é aplicada com o objetivo de eliminar a correlação entre as bandas.

No presente trabalho, foram geradas 4 componentes principais a partir das bandas do vermelho e infravermelho próximo em duas datas diferentes (antes e depois do evento extremo), com resultados bons na segunda PC.

Os resultados obtidos na análise das imagens foram comparados com dados de estações meteorológicas presentes nas áreas de estudo para entender as condições climáticas no local e

na data de estudo para validar os dados que foram obtidos através das imagens de satélite. Além disso, algumas tabelas foram geradas de forma intermediária para auxiliar as comparações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ilha dos Papagaios – Condições Climáticas

Segundo Lima *et al* (2023), o evento climático extremo ocorrido na Ilha dos Papagaios, em Iguape-SP, começou com uma instabilidade atmosférica em 29 e 30 de maio de 2019. Em 30 de maio, a estação meteorológica de Iguape registrou 95,6mm de chuva, com rajadas de vento de até 48km/h e picos de chuva horária de 25mm/h. Cabe lembrar que, segundo a classificação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) chuvas horárias acima de 10mm/h já são consideradas chuvas fortes.

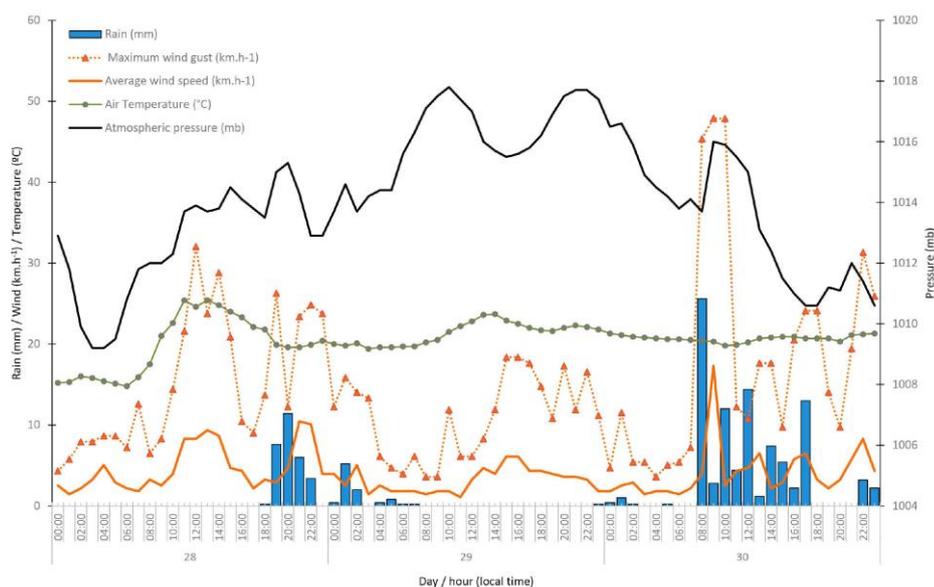


Figura 1 – Condições climáticas na estação meteorológica de Iguape (SP). Fonte: LIMA *et al* (2023).

Enquanto isso, na torre da estação meteorológica instalada pelos pesquisadores na Ilha dos Papagaios, foram registradas rajadas de vento de 58,8km/h (o que equivale a ventos fortes na escala de Beaufort) que, associado com raios e granizo, destruiu a estação aproximadamente às 08:30 horas.

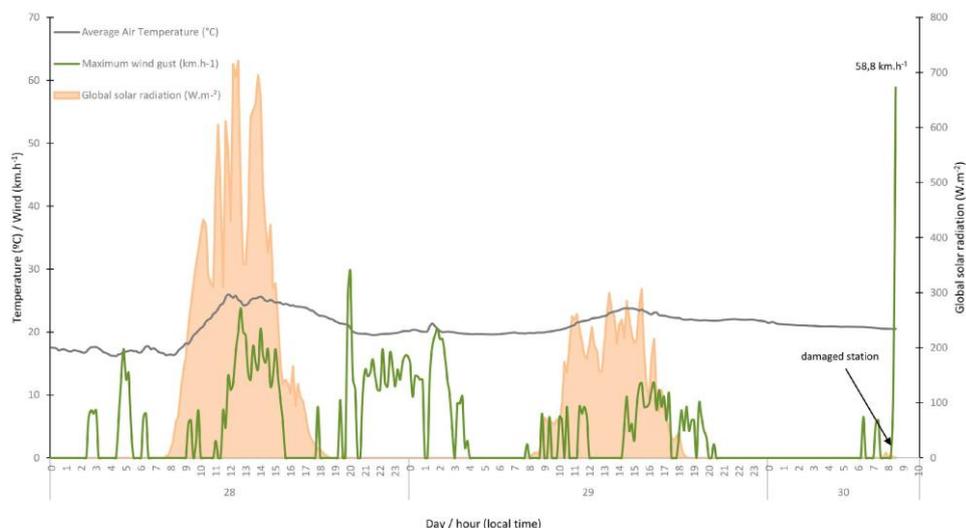


Figura 2 – Condições climáticas na estação meteorológica da Ilha dos Papagaios. Fonte: LIMA *et al* (2023).

### **Ilha dos Papagaios – Detecção de Mudanças**

As imagens obtidas através da análise por componentes principais têm altíssima correlação com as do o estudo de Lima *et al* (2023), que mensuraram a área afetada pelo evento climático extremo por outros métodos de detecção, no caso o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e o LAI (*Leaf Area Index* – Índice de Área Foliar).



Figura 3 - Resultado da segunda PC das bandas vermelha e infravermelha na Ilha dos Papagaios.

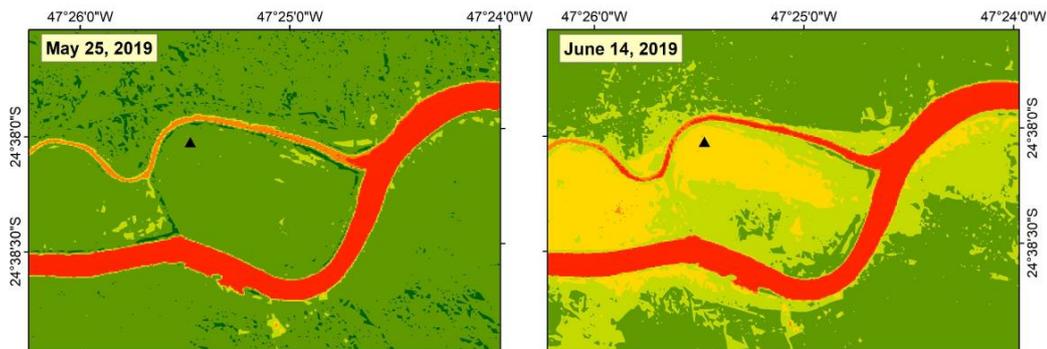


Figura 4 - Resultado de LIMA et al (2023) por NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

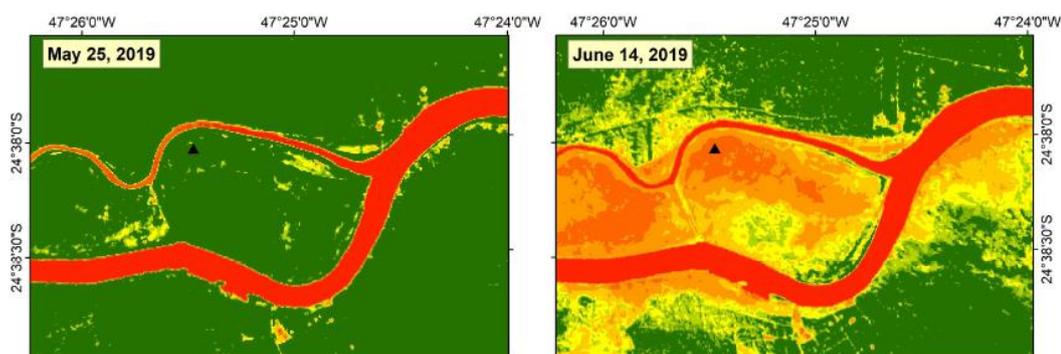


Figura 5 - Resultado de LIMA et al (2023) por LAI (*Leaf Area Index* - Índice de Área Foliar).

Quando analisada a tabela de *factor loading* das PCs geradas, é corroborada a relevância da escolha da segunda PC, que mostra um aumento da reflectância da banda vermelha e uma diminuição da banda infravermelha após o evento extremo, sugerindo uma diminuição de área foliar.

	Antes		Depois	
	R	NIR	R	NIR
PC1	-0,51	0,97	-0,30	0,97
<b>PC2</b>	<b>0,00</b>	<b>0,22</b>	<b>0,33</b>	<b>-0,25</b>
PC3	0,82	-0,01	0,87	0,04
PC4	-0,26	-0,01	0,21	0,01

Tabela 1 - *Factor loadings* das PCs geradas.

### **Ilha do Cardoso – Condições Climáticas**

Próximo de Iguape, em outro local de manguezal, no fim de 2018 ou início de 2019, ocorreu também um evento climático extremo. O local, na Ilha do Cardoso (em Cananéia-SP), é conhecido como “Peixinho”.

Devido ao espaçamento das imagens de satélite no espectro do visível disponíveis gratuitamente através do Google Earth™, não é possível estabelecer com precisão a data do evento climático extremo na Ilha do Cardoso, apesar de ser possível afirmar uma possível data de 5 ou 7 de janeiro de 2019, a partir dos registros meteorológicos de estações próximas ao local estudado.

Na estação meteorológica de Cananéia-SP, choveu, segundo o INMET, 98,3mm de chuva no dia 5 de janeiro e 93,2mm no dia 6 (volume equivalente à precipitação de 95,6mm ocorrida em Iguape no dia 30 de maio de 2019, quando ocorreu o evento extremo da Ilha dos Papagaios). Já a estação meteorológica de Paranaguá, no Estado do Paraná, que também fica próxima à região estudada, foi registrada precipitação de mais de 30mm nos dias 5 e 6 de janeiro (segundo dados do site meteostat.net).

Já segundo a empresa Meteoblue™, através de dados obtidos via série histórica disponibilizada em seu site, foi possível identificar precipitação pesada na estação de Cananéia no dia 05 de janeiro, com um pico de 29,8mm em uma hora. Também foram observadas rajadas de vento de mais de 40km/h no dia 5 e de 54km/h no dia 7 de janeiro, que foi um dia em que não ocorreu precipitação.

Já em uma estação meteorológica operada pelos professores Emerson Galvani (USP) e Nádia Lima (USP) na porção norte da Ilha do Cardoso, foi possível registrar uma concentração de ventos no dia 7 de janeiro, com rajadas de moderados 36 km/h mas com intensa flutuação na direção do vento, variando de 350° para 50° alternadamente em períodos de minutos.

Infelizmente, a partir dos dados meteorológicos obtidos, não é possível saber ao certo qual evento climático extremo afetou de forma mais significativa o manguezal: se as chuvas do dia 5 de janeiro, as rajadas de vento no próprio dia 5 ou as rajadas mais fortes do dia 7, ou a mudança constante de direção do vento no dia 7. De qualquer forma, o manguezal foi de fato afetado por algum (ou diversos) desses eventos, como o método de detecção de mudanças a partir de componentes principais evidenciou.

### **Ilha do Cardoso – Detecção de Mudanças**

O método de detecção de mudanças utilizado através das informações previamente obtidas na Ilha dos Papagaios foi aplicado, nos mesmos moldes, na Ilha do Cardoso. Ou seja, foi novamente usado o método de componentes principais, a partir das bandas do vermelho e infravermelho próximo.

No espectro do visível, a destruição do ecossistema já pode ser observada pela comparação das imagens antes e depois do evento extremo.



Figura 6 – Impacto no ecossistema do evento extremo (espectro do visível).

Através da análise por detecção de mudanças usando o método de componentes principais, a extensão das áreas afetadas (em tons claros nas imagens obtidas da segunda PC nas bandas 4 e 8) fica evidente.



Figura 7 – Resultado da segunda PC das bandas vermelha e infravermelha na Ilha do Cardoso.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos métodos utilizados nesse trabalho pode-se verificar que a análise por detecção de mudanças pode ser útil para identificar locais onde ocorre devastação no ecossistema de manguezais a partir de eventos climáticos extremos, o que pode vir a ensejar uma resposta mais rápida a eventos dessa natureza.

**Palavras-chave:** Eventos Climáticos Extremos; Impactos Ambientais; Manguezais; Detecção de Mudanças; Análise por Componentes Principais.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo auxílio parcial para participação do evento. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

GOOGLE EARTH . Disponível em <[www.google.com.br/earth/](http://www.google.com.br/earth/)> Acesso em 27 de junho de 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <[portal.inmet.gov.br](http://portal.inmet.gov.br)> Acesso em 27 de junho de 2024.

Lima, N.; Cunha-Lignon, M.; Martins, A.; Armani, G.; Galvani, E. Impacts of Extreme Weather Event in Southeast Brazilian Mangrove Forest. *Atmosphere* 2023, 14, 1195. Disponível em: <[https:// doi.org/10.3390/atmos14081195](https://doi.org/10.3390/atmos14081195) > Acesso em 25 de junho de 2024.

METEOBLUE. Disponível em <[www.meteoblue.com/pt/tempo](http://www.meteoblue.com/pt/tempo)> Acesso em 27 de junho de 2024.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995, p. 7