

## ÍNDICE DE PERIGO DE INCÊNDIO FLORESTAL EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO CORREDOR CENTRAL DA MATA ATLÂNTICA, BRASIL NO PERÍODO DE 2001 A 2019

**Romário Oliveira de Santana**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEM),  
Brasília, DF, Brasil  
[romarioambiental1@gmail.com](mailto:romarioambiental1@gmail.com)

**Rafael Coll Delgado**

Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza/Engenharia Agrônômica, Rio  
Branco, AC, Brasil  
[rafaelcolldelgado32@gmail.com](mailto:rafaelcolldelgado32@gmail.com)

**Alexandre Schiavetti**

Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Ilhéus, BA, Brasil  
[aleschi@uesc.br](mailto:aleschi@uesc.br)

**Lídia Raíza Sousa Lima Chaves Trindade**

Universidade de São Paulo, Instituto de Matemática e Estatística (IME), São Paulo, SP, Brasil  
[lidiairaiza@gmail.com](mailto:lidiairaiza@gmail.com)

### RESUMO

O estudo analisou a influência dos episódios de El Niño e La Niña, sobre o índice de perigo de incêndios florestais nas Unidades de Conservação (UCs) do Corredor Central da Mata Atlântica (CCMA) entre 2001 e 2019. Utilizando cinco variáveis meteorológicas (chuva, temperatura média do ar, umidade relativa do ar, evapotranspiração e velocidade do vento), além de dados sobre focos de calor e área queimada, o estudo calculou o índice de perigo de incêndio florestal para 65 UC's. A correlação de Spearman foi aplicada entre o índice e os focos de calor. Os resultados revelaram os episódios de El Niño e La Niña impactam significativamente as variáveis meteorológicas e o índice. Os períodos de El Niño foram associados ao maior número de focos de calor. No total, foram identificados 3741 focos de calor, com maior incidência em UCs de uso sustentável (2888) comparadas às de proteção integral (853). A categoria Áreas de Proteção Ambiental (APA) teve a maior quantidade de focos de calor. O índice de perigo mostrou boa correlação com focos de calor, especialmente para os Parques Nacionais.

**Palavras-chave:** Alterações climáticas. Biodiversidade. Sensoriamento remoto. Unidades de Conservação.

### FOREST FIRE DANGER INDEX IN PROTECTED AREAS OF THE CENTRAL CORRIDOR OF THE ATLANTIC FOREST, BRAZIL FROM 2001 TO 2019

### ABSTRACT

The study analyzed the influence of El Niño and La Niña episodes on the forest fire danger index in the Conservation Units (UCs) of the Central Atlantic Forest Corridor (CCMA) between 2001 and 2019. Using five meteorological variables (rainfall, average air temperature, relative humidity, evapotranspiration, and wind speed), along with data on heat spots and burned areas, the study calculated the forest fire danger index for 65 UCs. Spearman's correlation was applied between the index and the heat spots. The results revealed that El Niño and La Niña episodes significantly impact the meteorological variables and the index. El Niño periods were associated with a higher number of heat spots. A total of 3,741 heat spots were identified, with a higher incidence in sustainable use UCs (2,888) compared to strictly protected ones (853). The Environmental Protection Areas (APA) category had the highest number of heat spots. The danger index showed a good correlation with heat spots, especially for National Parks.

**Keywords:** Climate change. Biodiversity. Remote sensing. Conservation Units.

## INTRODUÇÃO

As UCs são um dos principais mecanismos para garantir a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Pontes et al. 2022; Kauano et al. 2020). Essas áreas são importantes para a preservação dos ecossistemas vitais e regulação climática (Pontes et al. 2022). Além disso, são essenciais para proteção de patrimônios naturais na Mata Atlântica (Crepaldi et al. 2015) e nos demais biomas brasileiros. Na Amazônia, as áreas protegidas ajudam a conter o desmatamento e promovem o desenvolvimento sustentável (Kauano et al. 2020).

Entretanto, as UC's no Brasil enfrentam inúmeros desafios. De acordo com Soares-Filho et al. (2023), apesar dos avanços na conservação, a Amazônia ainda sofre com o desmatamento ilegal e a pressão por desenvolvimento econômico nas suas unidades de conservação. Segundo os dados do Relatório de Desmatamento do MapBiomas no ano de 2023 foram registrados desmatamento de 34.195 ha dentro das unidades de conservação na Amazônia. Na Mata Atlântica, que apresenta um longo histórico de degradação, a urbanização e a agricultura intensiva continuam a ameaçar os remanescentes florestais nas suas áreas protegidas (Mello-Théry, 2023).

Além do desmatamento, as queimadas e incêndios florestais também são um grande problema para as unidades de conservação no Brasil. Queimadas e incêndios florestais constituem uma ameaça substancial às unidades de conservação no Brasil e têm efeito adverso direto na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos (Santana et al., 2022). Essas atividades têm sido as maiores causas de ocorrência de incêndios florestais nas UCs federais no Brasil, segundo o estudo de Costa et al. (2023).

As atividades humanas são as principais responsáveis pela ocorrência de incêndios nas florestais tropicais, mas os regimes de incêndios podem ser alterados quando a ocorrência do modo de variabilidade climático El Niño-Oscilação Sul - ENOS. Os episódios de ENOS são eventos naturais que consistem em aquecimento (El Niño) ou resfriamento (La Niña) da superfície do oceano Pacífico (Tito et al., 2020). Estudos indicam aumento na ocorrência de focos de calor e áreas queimadas em períodos de ENOS, principalmente em eventos El Niño moderado ou forte (Clemente et al., 2017; Andrade et al., 2019; Santana et al., 2020).

Para auxiliar na identificação de incêndios florestais foram desenvolvidos sistemas de classificação de perigo de incêndios para fornecer índices numéricos que tentam estimar a intensidade de possíveis incêndios (Chandler et al., 1983; Sharples et al., 2009; Chelli et al., 2015). O Fire Forest Danger Index (FFDI) McArthur Mark (McArthur Mark, 1967) é um índice muito utilizado na Austrália pelas agências de monitoramento de incêndios para avaliar as condições meteorológicas e emitir alertas de incêndios (Sanabria et al., 2013; Dowdy et al., 2010).

Além disso, a aplicação de tecnologias avançadas como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, é essencial para monitorar e gerenciar os incêndios florestais em áreas protegidas. Borges et al. (2021) demonstram que essas ferramentas podem fornecer dados valiosos para subsidiar o manejo do fogo, permitindo uma resposta mais rápida e eficiente aos incêndios.

O Brasil é o um país de dimensão continental composto por vários domínios ecológicos que apresentam grande riqueza de flora e fauna. Os incêndios florestais colocam em risco a segurança e integridade desses domínios além de colocar em risco a população brasileira (Santana et al., 2022). Estudar e propor métodos que possam auxiliar no monitoramento e prevenção dos incêndios florestais é de fundamental importância principalmente quando o país não apresenta um sistema de alerta eficiente que possa ajudar a sociedade civil e órgãos fiscalizadores de incêndios. Diante do apresentado, o presente estudo tem como objetivo analisar a influência de eventos climáticos extremos (El Niño e La Niña) no índice de perigo de incêndios florestais aplicado para unidades de conservação do Corredor Central da Mata Atlântica (CCMA) no período de 2001 a 2019. O estudo tem como hipótese que os episódios de El Niño e La Niña influenciam significativamente o índice de perigo de incêndios florestais na UC's do CCMA, com o El Niño sendo associado ao aumento do número de focos de calor e áreas queimadas, enquanto a La Niña resulta em menor risco de incêndio devido às condições mais úmidas.

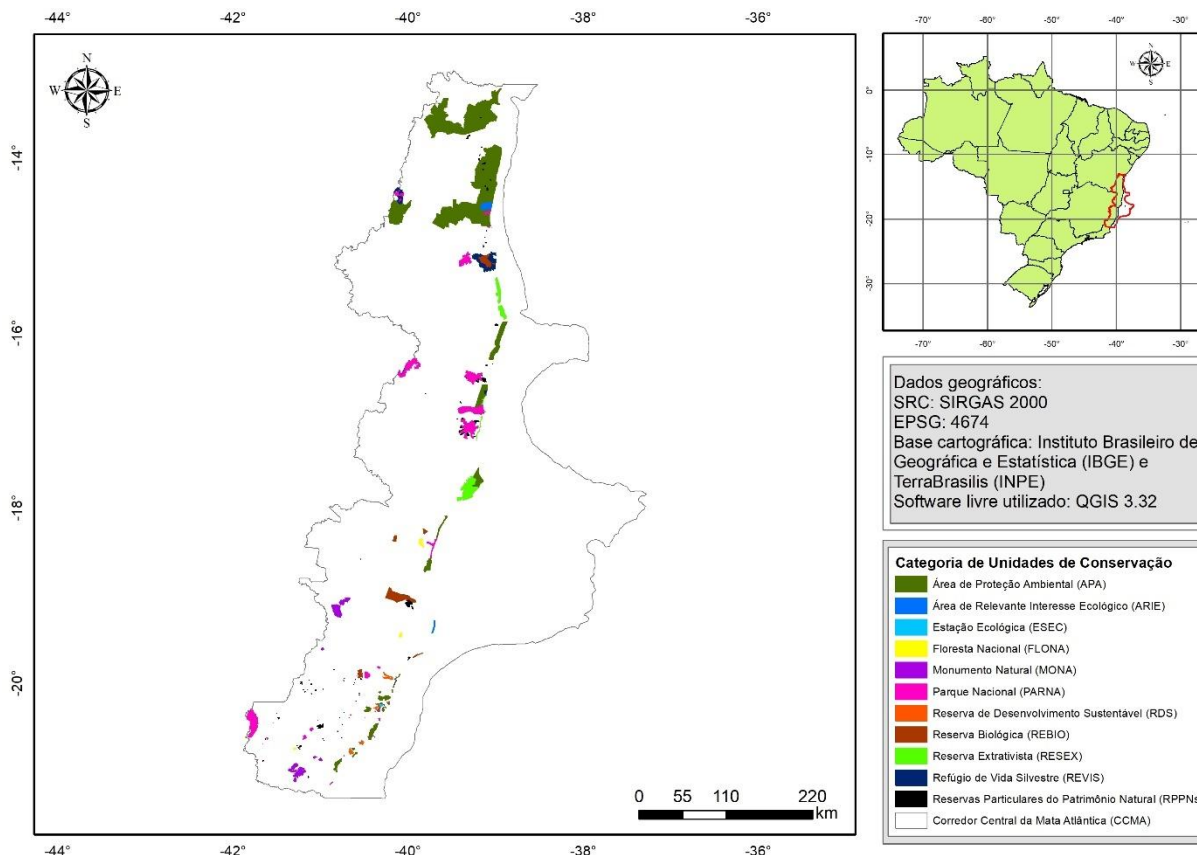
## METODOLOGIA

### *Área de estudo*

O Corredor Central da Mata Atlântica (CCMA) estende-se pela porção sul da Bahia até o sul do Espírito Santo, entre as latitudes 13°0'6.265" e 21°18'35.960" S e as longitudes 41°52'42.627" e

37°16'39.705"W, cobrindo uma área superior a 12 milhões de hectares, a área continental do CCMA apresenta 11017.6051 Km<sup>2</sup> (Santana et al., 2021; Brasil, 2006).

Figura 1 - Localização do Corredor Central da Mata Atlântica e distribuição das unidades de conservação



Fontes: IBGE, 2024; TerraBrasilis (INPE, 2024). Elaboração e organização: Os autores, 2024

### Unidades de Conservação (UC's)

Na área total do CCMA estão inseridas 258 uc's que são de domínio privado ou público (federal, estadual e municipal) de diferentes categorias seguindo a classificação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC - LEI 9.985/2000). Dentre as categorias de uc's a Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) é a que tem maior quantidade de unidades com 145, que representa 56.2% do total de UC's. Para o presente estudo foi analisado apenas as unidades de conservação públicas (Tabela 1) na parte continental do CCMA com área superior a 100 hectares (1 km<sup>2</sup>) e com seus limites territoriais disponibilizados na base de dados de algum órgão governamental.

Tabela 1 - Unidades de Conservação no Corredor Central da Mata Atlântica

| Grupo             | Categoria IUCN (2008)                        | Categoria SNUC (2006)             | CCMA | CCMA* |
|-------------------|--|-----------------------------------|------|-------|
| Proteção Integral | I  | Estação Ecológica (ESEC)          | 4    | 2     |
|                   |  | Reserva Biológica (REBIO)         | 7    | 6     |
|                   | II   | Parque Nacional (PARNA)           | 40   | 19    |
|                   | III  | Monumento Natural (MONA)          | 6    | 4     |
|                   |  | Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) | 4    | 3     |
| IV                | Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) | 4                                 | 2    |       |

| Grupo           | Categoria IUCN (2008) | Categoria SNUC (2006)                        | CCMA | CCMA* |
|-----------------|-----------------------|--|------|-------|
| Uso sustentável | V                     | Área de Proteção Ambiental (APA)             | 37   | 20    |
|                 |                       | Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) | 4    | 4     |
|                 | VI                    | Reserva Extrativista (RESEX)                 | 4    | 2     |
|                 |                       | Floresta Nacional (FLONA)                    | 3    | 3     |
| Total           |                       |  | 113  | 65    |

Legenda: CCMA\* - unidades de conservação utilizadas no presente estudo.  
Fonte: TerraBrasilis (INPE, 2024). Elaboração e organização: Os autores, 2024.

### Dados meteorológicos

Foram utilizados dados meteorológicos validados por Xavier et al. (2016) para as variáveis: chuva (Rf) (mm), temperatura média do ar (Tavg) (°C), umidade relativa do ar (RH) (%), evapotranspiração (ETo) (mm d<sup>-1</sup>) e velocidade do vento (ZonalW) (m s<sup>-1</sup>). Os dados de velocidade do vento são disponibilizados a 2m de altura, então foi utilizado a equação da FAO 56 para convertê-la a 10m de altura. Esses dados têm uma resolução de 0,25° x 0,25° e são disponibilizados para o período de janeiro de 1980 a julho de 2017, para o presente estudo foram utilizados os dados de 1 de janeiro de 2001 a dezembro de 2016. Com o objetivo de aumentar a série de dados foram utilizados dados provenientes de estações limítrofes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil (INMET) para o período de 2017 a 2019. Os dados utilizados do BDMEP representam 15,79%, 3 anos dos 19 analisados, da série histórica analisada.

Além disso, foram utilizados dados de reanálise produzidos pelo NCEP-DOE Reanalysis-2 que estão disponíveis no NOAA/ OAR / ESRL PSD ([www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html)), da variável umidade do solo (SoilM), em mm, para o período de 2001 a 2019.

### Produtos de sensoriamento remoto

Para o presente estudo foram utilizados dados de focos de calor para o período compreendido entre 1 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2019. Esses dados foram obtidos no Fire Information for Resource Management System (FIRMS) (Earthdata, 2024) no formato shapefile. Os dados de focos de calor utilizados no estudo são provenientes do processamento diário em quase tempo real do sensor MODIS abordo dos satélites de referência AQUA e TERRA. Também foram utilizados dados de área queimada provenientes do produto MODIS MCD64A1 (USGS, 2020) que é disponibilizado mensalmente de forma global, com resolução espacial de 500 metros.

Os dados foram agrupados em séries temporais mensais e anuais, posteriormente esses dados foram sobrepostos à área do CCMA, área de cada uma das unidades de conservação. O processamento, tratamento e análise dos dados de focos de calor e área queimada foram realizados no software livre QGIS 3.32.

### Índice de Perigo de Incêndio Florestal McArthur Mark (FFDI)

Para o cálculo do FFDI foi utilizado a temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento a 10m de altura e fator de seca. Quando o fator de seca é considerado igual a 10 (Sharples et al., 2009; Noble et al., 1980) o FFDI pode ser obtido pela Equação 1, a seguir:

$$FFDI \approx 12.5 \exp\left(0.0234U + \frac{1}{30}(T - H)\right) \quad (1)$$

Em que: U = velocidade do vento a 10m de altura (m s<sup>-1</sup>); T = temperatura média do ar (°C); H = umidade relativa do ar (%).

O FFDI foi calculado para área total do CCMA e para as unidades de conservação públicas na área continental do CCMA. O FFDI foi classificado da seguinte forma:  $0 < \text{FFDI} \leq 0.7$  = baixo;  $0.7 < \text{FFDI} \leq 1.5$  = moderado;  $1.5 < \text{FFDI} \leq 2.7$  = alto;  $2.7 < \text{FFDI} \leq 6.1$  = muito alto;  $\text{FFDI} \geq 6.1$  = extremo.

### **Correlação de Spearman**

Para explicar a relação entre as variáveis no presente estudo foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman (Zar, 1972) no software livre R 4.0.2. Foi realizado o teste de correlação por categoria de unidade de conservação para visualizar a relação entre o FFDI e os focos de calor. Os coeficientes de correlação foram classificados da seguinte forma:  $0 < p \leq 0.19$  = correlação desprezível;  $0.20 < p \leq 0.39$  = correlação fraca;  $0.40 < p \leq 0.69$  = correlação moderada;  $0.70 < p \leq 0.89$  = correlação forte;  $0.90 < p \leq 1.00$  = correlação muito forte.

## **RESULTADOS**

### **Variáveis meteorológicas**

Na Figura 2 está apresentado a distribuição das variáveis meteorológicas no Corredor Central da Mata Atlântica para os períodos analisados. Os resultados apresentados no formato de boxplot nos permite identificar a amplitude interquartílica (IQR), outliers e a variabilidade dos dados. A IQR da evapotranspiração é relativamente baixa com o maior valor sendo de 1.52 no El Niño e o menor de 1.36 na Neutralidade, o que reflete a estabilidade dos dados de evapotranspiração no período de estudo.

A IQR para a umidade relativa é maior em El Niño (5,42), refletindo uma maior variação dos dados centrais, enquanto La Niña (4,09) apresenta uma dispersão mais contida. A chuva é a variável com maior IQR, especialmente em períodos de El Niño e Neutralidade, indicando uma grande variação nos valores centrais das chuvas nesses períodos. O IQR da chuva na Neutralidade foi de 75.46 mm, indicando que nesses períodos ocorre uma grande dispersão nos 50% centrais dos dados.

As variáveis com maior número de outliers foram a chuva com quatro outliers identificados durante o período de Neutralidade, a velocidade do vento com três durante o período de La Niña e a umidade do solo com dois durante o período de Neutralidade. Esses resultados sugerem que durante esses períodos foram encontradas algumas anomalias extremas, com valores significativamente fora dos padrões.

A chuva e a umidade do solo foram as variáveis que mostraram maior variabilidade nos eventos climáticos, indicando uma grande variação nas suas condições dependendo do evento. A maior variabilidade da chuva foi encontrada no período de La Niña (59,74 mm), enquanto na Neutralidade (53,09 mm) foi encontrada a menor variação. Para a umidade do solo a maior variabilidade foi identificada no período de El Niño (74,56 mm), enquanto na La Niña (65,48 mm) apresentou menor variação.

A velocidade do vento e a evapotranspiração apresentaram a menor variabilidade, indicando uma menor flutuação durante os períodos analisados. Para evapotranspiração, os períodos de La Niña (0,83 mm d<sup>-1</sup>) e Neutralidade (0,83 mm d<sup>-1</sup>) apresentaram pouca variabilidade, indicando estabilidade na evapotranspiração diária. No período de El Niño (0,93 mm d<sup>-1</sup>), apesar de estável, apresentou uma variabilidade ligeiramente maior. A velocidade do vento foi a variável que apresentou menor variabilidade entre as variáveis analisadas nos diferentes períodos climáticos. Durante El Niño, a variabilidade foi de 0,24 m s<sup>-1</sup>, enquanto na Neutralidade foi ligeiramente maior, com 0,27 m s<sup>-1</sup>, e atingiu o maior valor na La Niña com 0,34 m s<sup>-1</sup>. Esses valores indicam que, embora haja variação na velocidade do vento entre os eventos, essa variação é relativamente pequena em comparação com as outras variáveis analisadas. Isso sugere que a velocidade do vento tem uma maior estabilidade durante diferentes condições climáticas no CCMA.

Durante os eventos de El Niño, foram encontrados os maiores valores de temperatura média, com um pico de 25,43°C em 2015/2016 quando foi registrado um El Niño muito forte (Golden Gate Weather Services, 2024). Esse aumento é consistente com o observado por Andrade et al. (2019), que também



relatam um aumento significativo na temperatura durante anos de El Niño no Estado do Rio de Janeiro. O aquecimento acentuado é uma característica bem documentada desse fenômeno, que resulta em uma intensificação de processos como a evapotranspiração e o estresse térmico na vegetação (Silva Júnior et al. 2019).

No contexto de La Niña, foi encontrado temperaturas médias mais baixas, com o menor valor de 23,80°C em 2017/2018, episódio fraco de La Niña (Golden Gate Weather Services, 2024). Este achado corrobora os resultados de Clemente et al. (2017), que sugerem que La Niña tende a produzir condições climáticas mais amenas e úmidas, o que pode mitigar os impactos do calor extremo observado durante El Niño.

A comparação com o estudo de Lapola et al. (2020) sugere que essas variações de temperatura durante El Niño e La Niña podem aumentar a vulnerabilidade das áreas protegidas, especialmente em regiões como a Mata Atlântica. A persistência de altas temperaturas durante El Niño pode comprometer a resiliência dos ecossistemas, enquanto os períodos mais frios de La Niña, embora potencialmente benéficos a curto prazo, também podem estar associados a outros estresses ambientais.

A velocidade do vento mostrou variações relativamente pequenas, com os valores mais baixos durante El Niño e os mais altos durante La Niña, considerando a série geral de dados analisados. Andrade et al. (2019) e Clemente et al. (2017) sugerem que essas mudanças na velocidade do vento podem influenciar a propagação de incêndios florestais, com ventos mais fortes potencialmente intensificando os focos de calor durante La Niña, enquanto ventos mais fracos durante El Niño podem favorecer a estagnação do ar quente e seco, contribuindo para condições de seca prolongada.

Os resultados do estudo mostram que a umidade relativa do ar foi menor durante El Niño, com um valor mínimo de 73,55% em 2015/2016 quando o evento foi classificado como muito forte (Golden Gate Weather Services, 2024), e maior durante La Niña, alcançando 81,58% em 2017/2018 mesmo sendo episódio fraco (Golden Gate Weather Services, 2024). Isso está de acordo com os achados de Santana et al. (2020), que indicam que a baixa umidade durante El Niño aumenta a suscetibilidade a incêndios florestais. Durante La Niña, a maior umidade pode reduzir esse risco, mas pode também contribuir para outros desafios, como o aumento de doenças fúngicas na vegetação, conforme discutido por Lapola et al. (2020).

No estudo de modelagem da vegetação futura no Corredor Central da Mata Atlântica de Santana et al. (2022), foi feita a ressalva apontando que as mudanças na umidade relativa do ar associadas a eventos climáticos extremos, poderão alterar substancialmente a composição e a distribuição das espécies vegetais nativas da Mata Atlântica.

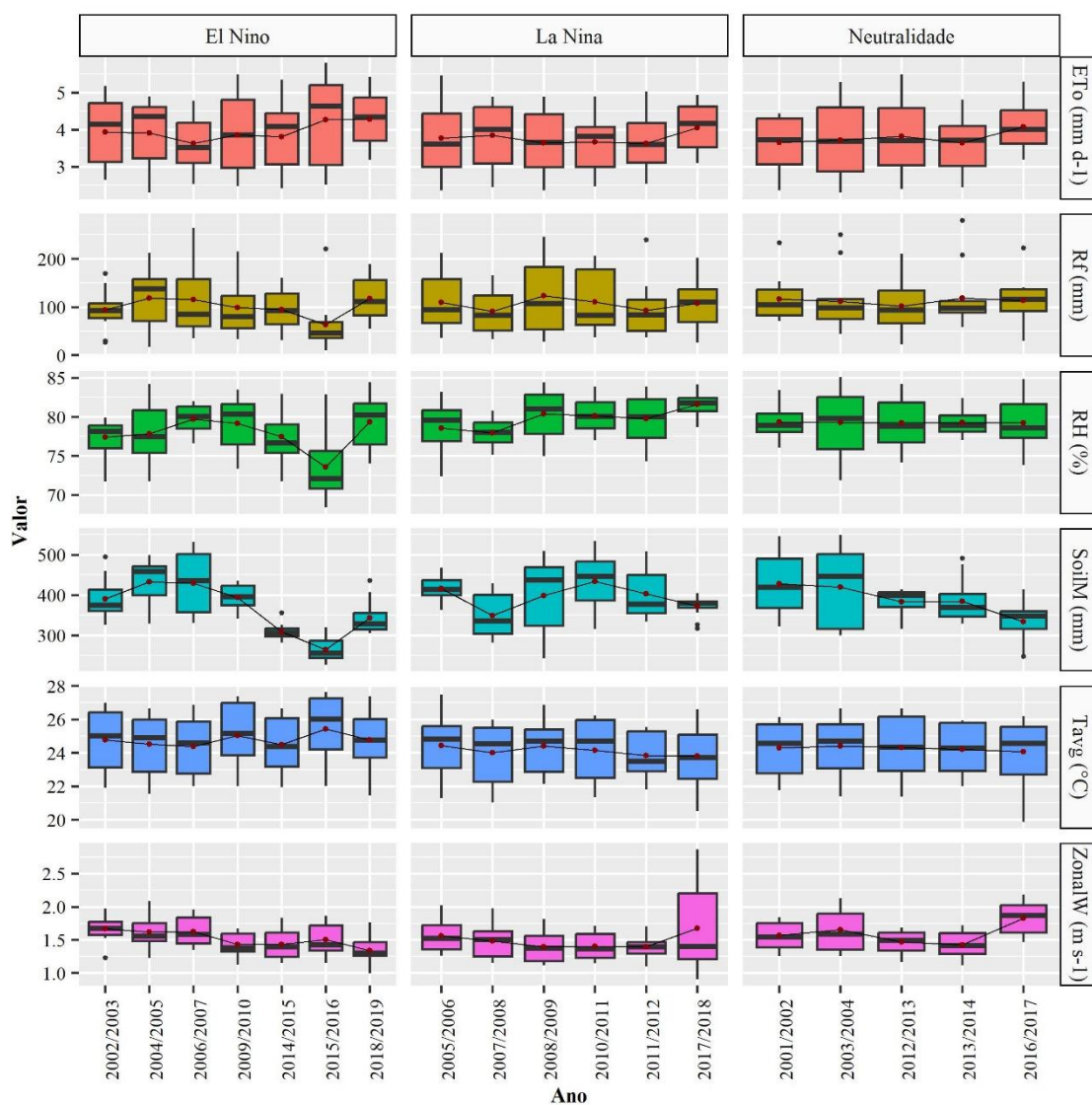
Os resultados indicam que a evapotranspiração foi mais alta durante El Niño, com destaque para o período de 2018/2019 (4,28 mm dia<sup>-1</sup>). Este aumento é condiz com as condições mais secas e quentes, que intensificam a perda de água para a atmosfera. De acordo com Delgado et al. (2022), o aumento da evapotranspiração pode gerar uma degradação maior dos biomas, uma vez que a maior perda de água resulta em seca e menos água disponível no solo para as plantas.

A precipitação foi significativamente menor durante El Niño, com o valor mais baixo registrado em 2015/2016 (62,93 mm), e maior durante La Niña, alcançando 123,02 mm em 2008/2009. Andrade et al. (2019) e Clemente et al. (2017) também relataram reduções acentuadas na precipitação durante El Niño, com impactos significativos sobre a disponibilidade de água e a propagação de incêndios. Durante La Niña, a maior precipitação observada em seu estudo é consistente com o aumento da umidade e o potencial para enchentes, conforme relatado por Lapola et al. (2020).

A umidade do solo foi maior durante La Niña, especialmente em 2010/2011 (433,21 mm) quando foi um episódio forte de La Niña (Golden Gate Weather Services, 2024), e menor durante El Niño, com o valor mais baixo em 2015/2016 (264,52 mm). Delgado et al. (2022) discutem que a redução da umidade do solo durante El Niño pode levar à degradação do solo e das práticas agrícolas, aumentando a vulnerabilidade dos ecossistemas. Este impacto é ainda mais grave em biomas já fragilizados, como a Mata Atlântica. Santana et al. (2022) também exploram como a interação entre clima, vegetação e atividades humanas, como a produção de leite, pode ser afetada por essas variações na umidade do

solo. Eles sugerem que as condições secas durante El Niño podem reduzir a produtividade agrícola, o que é corroborado pelos seus achados de baixa umidade do solo e alta evapotranspiração.

Figura 2 - Distribuição temporal das variáveis climáticas no Corredor Central da Mata Atlântica, Brasil



Fonte: Xavier et al., 2016. Elaboração e organização: Os autores, 2024.

### Distribuição temporal dos Focos de Calor

No período de estudo foram identificados 46,709 focos de calor no Corredor Central da Mata Atlântica (CCMA). Os períodos de El Niño foram os que apresentaram o maior número total de focos de calor (22,476 focos de calor). Esse resultado é semelhante ao que foi observado por Andrade et al. (2019), que também identificaram uma maior ocorrência de focos de calor em anos de El Niño no Estado do Rio de Janeiro, atribuída às condições mais secas e quentes que favorecem a propagação de incêndios florestais (Gois et al. 2020).

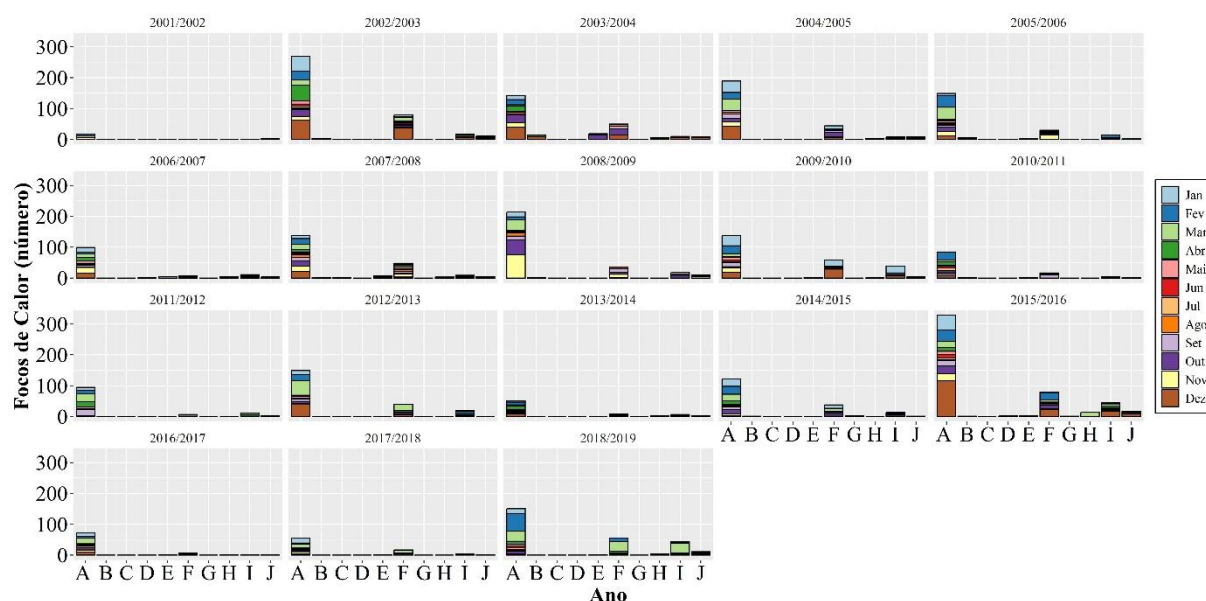
Em 2015/2016, verificou-se a maior quantidade de focos 6.212, anos que apresentaram as maiores temperaturas e mais baixa umidade relativa, fator que aumenta o processo de combustão da vegetação seca. Santana et al. (2020), encontraram padrão semelhante e destacam que períodos de El Niño intensificam o risco de incêndios devido à redução da umidade do solo e ao aumento da evapotranspiração.

Nos períodos de La Niña, o menor número de focos de calor foi observado em 2017/2018 (1.306 focos), sugerindo que as condições mais úmidas típicas de La Niña podem ter contribuído para a mitigação dos riscos de incêndio, como apontado por Clemente et al. (2017). Esses autores também destacam a importância das variações intrarregionais que podem afetar a suscetibilidade a incêndios mesmo durante períodos climaticamente favoráveis.

Dentre as categorias de uc's presentes no CCMA as Áreas de Proteção Ambiental (APA's) apresentaram a maior quantidade de focos no período de estudo (2566 focos de calor) (Figura 3), representando 68,59% do total nas unidades analisada. Esse resultado reflete a extensa área coberta pelas APA's e a possível menor eficácia de monitoramento e controle de incêndios nessas áreas, que são geralmente menos restritivas em termos de uso do solo. Esses valores corroboram com o que foi encontrado por Lapola et al. (2020), que discutiram a vulnerabilidade das áreas protegidas as mudanças climáticas e como categorias menos restritivas, como a APA, poderão ser mais suscetíveis a incêndios, especialmente durante períodos de El Niño.

A categoria de Parques Nacionais (PARNA) também mostrou uma alta incidência de focos de calor (669), destacando o Parque Nacional Histórico do Monte Pascoal como um hotspot, com 385 focos. Esse resultado é preocupante, dado que os PARNA são áreas de proteção integral, onde os incêndios podem ter impactos devastadores sobre a biodiversidade. Santana et al. (2022) discutem como essas áreas protegidas são cruciais para a preservação de espécies ameaçadas e como os incêndios florestais representam uma ameaça significativa, exacerbada pelas condições climáticas extremas.

Figura 3 - Distribuição dos focos de calor em unidades de conservação do Corredor Central da Mata Atlântica



Fonte: EARTHDATA, 2024. Elaboração e Organização: Os autores 2024.

### Áreas Queimadas

Os períodos de El Niño (2015/2016) e de neutralidade (2016/2017) apresentaram as maiores áreas queimadas, com 1.717,75 km<sup>2</sup> e 1.501,75 km<sup>2</sup>, respectivamente. Esses achados reforçam os impactos devastadores dos eventos de El Niño, como discutido por Delgado et al. (2022), que associam o aumento das áreas queimadas à combinação de altas temperaturas, baixa umidade e maior evapotranspiração. Esses fatores criam condições ideais para a propagação de incêndios, especialmente em áreas vulneráveis como a Mata Atlântica.

A concentração de áreas queimadas observadas de setembro a dezembro, com pico em dezembro de 2015 e 2016, coincide com o término da estação seca, quando a vegetação está mais suscetível as chamas. Em concordância com Andrade et al. (2019), os meses de setembro à dezembro também



concentra o número maior de queimadas associado as condições climáticas sazonais e a intensificação dos efeitos do El Niño.

Dentro das áreas protegidas do CCMA, as APA's foram as mais impactadas, com 429,5 km<sup>2</sup> queimados, representando 53,69% do total das áreas queimadas. Esse dado é significativo, considerando a importância dessas áreas para a conservação da biodiversidade e os desafios associados à gestão de incêndios em áreas de uso sustentável. Lapola et al. (2020) destacam que a gestão eficaz dessas áreas é essencial para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas e a preservação da biodiversidade.

A ausência de queimadas nas categorias ESEC, FLONA e RDS pode indicar uma maior eficácia na proteção dessas áreas ou uma menor suscetibilidade ao fogo devido a fatores como localização geográfica, condições ambientais locais ou esforços de gestão e proteção. De Santana et al. (2022) discutem como diferentes estratégias de manejo podem influenciar a resiliência dessas áreas protegidas frente aos distúrbios climáticos.

### ***Índice de Perigo de Incêndio Florestal McArthur Mark (FFDI) para CCMA***

Observou-se na Figura 4 que o FFDI médio anual é mais alto durante os períodos de El Niño (2.56) em comparação aos períodos de La Niña (2.36). Esse fenômeno associado a El Niño geralmente resulta em condições mais secas e quentes, elevando o risco de incêndios florestais. O período 2015/2016 apresentou o FFDI mais alto, enquanto 2006/2007 teve o menor valor entre os períodos de El Niño. A análise revela que, durante a maioria dos eventos El Niño, o FFDI foi classificado como alto, com exceção de 2015/2016, que alcançou a classificação muito alta.

Os períodos de La Niña apresentaram um padrão mais consistente, com todos os períodos analisados apresentando valores médios classificados como altos. O valor médio mais baixo registrado em 2017/2018. O padrão de La Niña tende a trazer condições mais úmidas, reduzindo o risco de incêndio, embora as classificações de FFDI ainda se mantendo bastante alto.

Os valores de FFDI durante os períodos classificados como neutralidade ainda tiveram uma variação menor comparados com de El Niño e La Niña, com 2,23 e 2,51. Esse FFDI sugere uma estabilidade do risco de incêndios florestais nesses períodos.

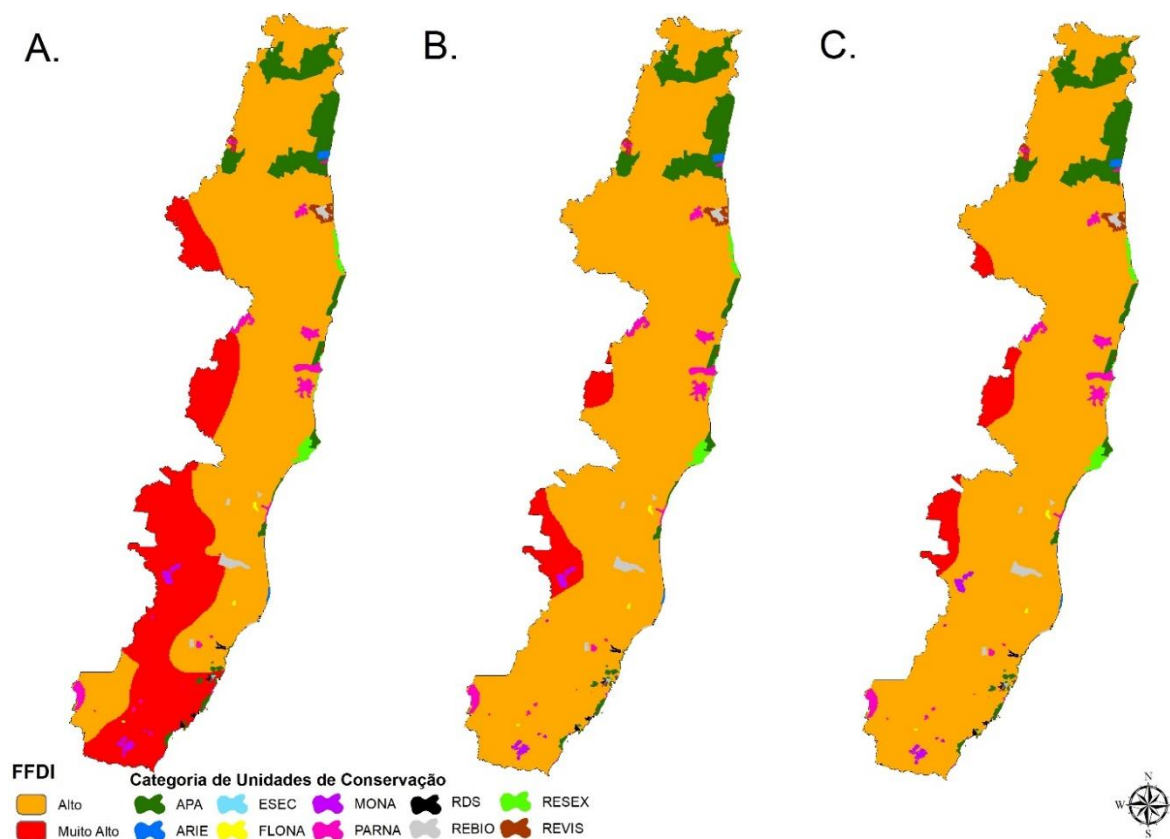
Os maiores valores médios mensais de FFDI foram encontrados em janeiro e outubro, enquanto junho e julho, os menores. Isso poderia ser traduzido no aspecto de riscos de incêndio alto para os inícios e finais de cada ano, demonstrando que esses meses são mais secos e quentes o que pode ser visto acima com os valores das variáveis relacionadas com o clima.

Na Figura 4 está apresentado a distribuição espacial do FFDI no Corredor Central da Mata Atlântica. Na Figura 4 (A.) temos a distribuição do FFDI no período de El Niño, onde é possível observar que as áreas de risco Muito Alto (vermelho) estão mais concentradas e disseminadas, especialmente nas porções sul e central do CCMA. Esse resultado já era esperado, uma vez que nos períodos de El Niño temos condições de maior temperatura e períodos de seca, resultando em condições mais propensas a ocorrência de incêndios florestais. Dentre as categorias de UC's, as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) e Reservas Extrativistas (RESEX) são as mais afetadas por essas condições de maior risco de incêndios.

Em contraste, durante o período de La Niña (Figura 4 B.), o risco de incêndio é significativamente menor. As áreas de risco muito alto desaparecem, restando apenas alguns focos isolados, principalmente na região sul e em algumas áreas da região central. O risco alto (laranja) ainda prevalece no CCMA, mas de forma menos intensa e dispersa em relação ao período de El Niño. As APAs ainda estão nas áreas de maior risco, embora com menos intensidade. Essa redução do risco durante a La Niña evidencia o papel das condições climáticas mais úmidas, conforme nossos dados meteorológicos, na mitigação do perigo de incêndios florestais.

Durante o período de Neutralidade (Figura 4 C.), está mais estabilizado entre os extremos observados nos períodos de El Niño e La Niña. Embora as áreas de risco muito alto ainda existam, especialmente na porção do sul e leste, elas são menos intensas e menos abrangente que nos períodos de El Niño. O risco alto (laranja) ainda predomina em grande parte do CCMA, especialmente em regiões com nas APAs, RESEX e PARNA. No entanto, a extensão das áreas com risco alto é mais moderada em comparação com ao El Niño, indicando uma condição intermediária de perigo durante períodos de neutralidade climática.

Figura 4 - Distribuição espacial do FFDI no Corredor Central da Mata Atlântica durante os períodos de El Niño (A.), La Niña (B.) e Neutralidade (C.)



Fonte: Os autores, 2024.

A categoria ARIE (Área de Relevante Interesse Ecológico) apresentou o menor valor médio de FFDI (2.15) e a MONA (Reserva Extrativista) o maior (2.62). Essa variação entre as UCs pode estar relacionada às características específicas de cada área, como vegetação, tipo de solo e gestão da área.

Em relação aos meses, o maior valor médio mensal foi encontrado no mês de janeiro em oito categorias (APA, ARIE, ESEC, FLONA, PARNA, REBIO, RESEX, REVIS) e em fevereiro para duas (MONA e RDS). O menor valor médio mensal foi encontrado no mês de junho para cinco categorias (APA, FLONA, MONA, PARNA, RDS) e em julho para cinco (ARIE, ESEC, RESEX, REBIO e REVIS). O período 2015/2016 foi o mais crítico em termos de FFDI para todas as categorias, com a MONA apresentando o valor mais alto (3,20). Isso indica a forte relação entre El Niño e aumento do risco de incêndios florestais.

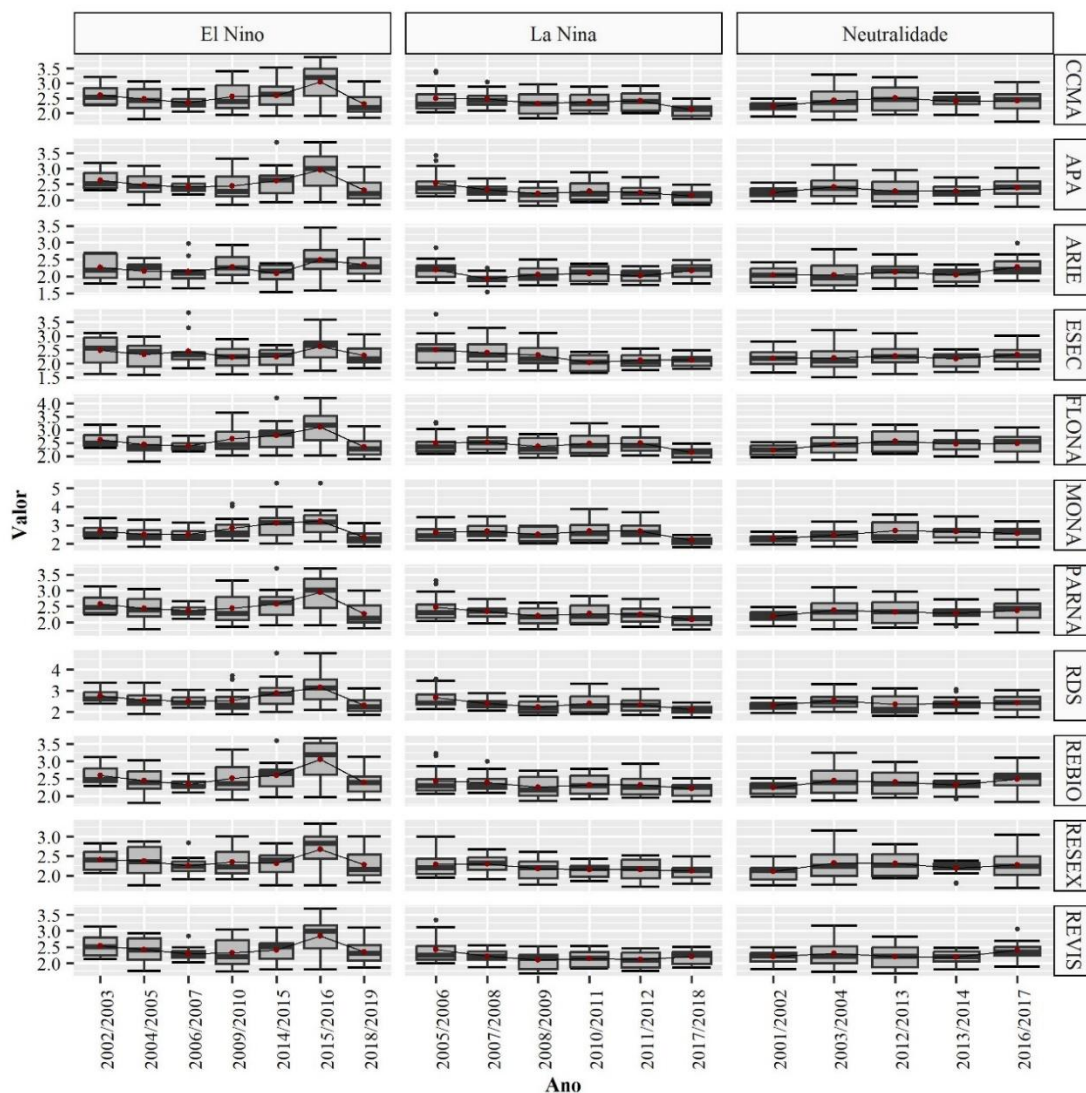
Para os períodos de La Niña os maiores valores em oito categorias apresentaram o maior valor de FFDI em 2005/2006, apenas as categorias MONA (2011/2012) e RESEX (2007/2008) tiveram maiores valores em períodos diferentes. O período 2017/2018 foi o que mais categorias de UC's registraram menor valor do FFDI, sendo 7 em um total de dez. As categorias ARIE (2007/2008), ESEC (2010/2011) e REVIS (2008/2009) foram as que apresentaram menores valores em períodos diferentes das outras categorias.

A utilização de índices com dados meteorológicos como ferramentas de avaliação de risco de incêndios florestais tem se mostrado de grande importância para auxiliar na gestão de áreas vulneráveis e a aplicação do FFDI foi comprovada como uma ferramenta eficiente para identificar áreas e períodos com maiores riscos de fogo no CCMA. No estudo de Oliveira-Júnior et al. (2021), foi utilizado o Índice Meteorológico de Perigo de Incêndio (MFDI), para identificar áreas de maior perigo de incêndio na América do Sul, com base em variáveis climáticas como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. O estudo relevou que o Brasil é o país da América do Sul com maior ocorrência

de focos de calor com destaque para as regiões do MATOPIBA e nas transições entre o Cerrado e Amazônia. Assim como nesse estudo em que a ocorrência de eventos de El Niño resultou em maiores valores de FFDI no trabalho de Oliveira-Júnior et al. (2021) também foi identificada relação entre maiores valores do MFDI e a ocorrência do El Niño. Os autores também identificaram que a variabilidade dos focos de calor está associada aos períodos de El Niño devido ao aumento significativo do número de focos nesses períodos.

A aplicação do FFDI apresentou bons resultados na identificação de quais anos e áreas protegidas apresentam maior risco de incêndios florestais no CCMA. A influência dos eventos ENSO nas variáveis meteorológicas é refletido no FFDI que apresenta seus maiores valores em períodos de El Niño e menores em períodos de La Niña. A utilização de índices no monitoramento de incêndios florestais é uma prática bastante consolidada em alguns países como Canadá (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992) e Austrália (Sneeuwjagt and Bell, 1985; Beck, 1995), no Brasil e em outros países da América do Sul essa é uma prática que ainda precisa melhorar. No caso do Brasil, a falta de uma rede de monitoramento consolidada de estações meteorológicas dificulta a utilização de índices que necessitam de informações climáticas.

Figura 5 - Distribuição temporal do FFDI para diferentes categorias de unidades de conservação no Corredor Central da Mata Atlântica



Fonte: Os autores, 2024.

As categorias de UCs como a MONA e o PARNA Nacional do Alto Cariri, apresentaram maior quantidade de meses na classe "Muito Alto," indicando que elas devem receber atenção especial para medidas de prevenção a incêndios. A variabilidade entre as UCs indica que deve adotado formas manejo adaptadas às características específicas das diferentes categorias de unidade.

As relações entre os episódios de El Niño e La Niña e a ocorrência de incêndios florestais também foi amplamente discutida no estudo de Freitas et al. (2020), que demonstraram como a variabilidade climática, principalmente durante os episódios de El Niño, potencializam a ocorrência de focos de calor na Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. O estudo mostrou que, durante os anos de 2013 e 2015, caracterizados por secas severas e um forte episódio de El Niño, ocorreu aumento expressivo no número dos focos de calor o que resultou em uma redução na cobertura vegetal conforme apresentado pelos números do Índice de Vegetação Melhorado (EVI). Esses resultados corroboram com os encontrados no presente estudo sobre a influência dos episódios de El Niño para o aumento do risco de incêndios florestais nas unidades de conservação do CCMA, indicando que condições climáticas extremas aumentam o perigo de incêndios florestais, especialmente em períodos prolongados de secas.

### **Correlação entre o FFDI e focos de calor para as categorias de unidades de conservação**

O período de El Niño foi o que teve mais valores com o coeficiente correlação (Tabela 2) classificado como moderado também foi aqueles com mais anos na classe forte. Dentre os períodos de El Niño apenas em 2002/2003 não foi identificado nenhuma correlação forte, o que pode indicar variabilidade regional ou eventos climáticos específicos que não se alinham com os resultados esperados. O período de Neutralidade foi o que teve menos anos na classe forte e o que teve coeficientes na classe desprezível, apesar disso foi no período de neutralidade 2003/2004 que foi identificado a maior quantidade de coeficientes fortes, o que pode refletir condições particulares desse período que afetaram o risco de incêndios.

A categoria PARNA foi a que apresentou mais anos com correlação forte, oito anos, seguido pelas categorias APA, ESEC, REBIO e RESEX com quatro anos. A maioria dos coeficientes correlação encontrados foram classificados como moderados, as categorias MONA e RESEX foram as que mais tiveram anos com coeficientes nessa classe (10 anos). As categorias FLONA e RDS foram as categorias com maior quantidade de coeficientes de correlação classificados como fraca (7 anos). As categorias APA e MONA foram as que tiveram maior número de anos com correlação desprezível (5 anos). A ARIE foi a categoria não apresentou nenhum foco de calor nos períodos 2009/2010, 2016/2017, 2017/2018, 2018/2019 e, por isso, não foi calculado o coeficiente de correlação para esses anos.

Tabela 2 - Correlação de Spearman entre focos de calor e FFDI para as categorias de unidades de conservação no Corredor Central de Mata Atlântica

| Ano       | APA   | ARIE  | ESEC  | FLONA | MONA  | PARNA | RDS   | REBIO | RESEX | REVIS |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001/2002 | -0.04 | 0.48  | 0.60  | -0.05 | -0.14 | -0.09 | 0.25  | -0.04 | -0.01 | -0.05 |
| 2002/2003 | 0.18  | 0.67  | 0.64  | -0.22 | 0.47  | 0.55  | -0.14 | 0.19  | 0.43  | 0.34  |
| 2003/2004 | 0.59  | 0.55  | 0.70  | 0.58  | 0.47  | 0.77  | -0.30 | 0.34  | 0.78  | 0.87  |
| 2004/2005 | 0.47  | 0.38  | 0.28  | 0.26  | 0.63  | 0.70  | -0.08 | 0.71  | 0.60  | 0.63  |
| 2005/2006 | 0.48  | 0.40  | 0.80  | 0.52  | 0.25  | 0.75  | 0.32  | 0.57  | 0.50  | 0.56  |
| 2006/2007 | -0.18 | -0.27 | 0.53  | 0.24  | 0.47  | 0.54  | 0.51  | 0.43  | 0.59  | 0.80  |
| 2007/2008 | 0.09  | 0.21  | 0.50  | -0.11 | 0.76  | 0.78  | 0.38  | 0.72  | 0.44  | 0.29  |
| 2008/2009 | 0.31  | 0.40  | 0.80  | 0.58  | 0.41  | 0.42  | 0.27  | 0.46  | 0.59  | 0.21  |
| 2009/2010 | 0.83  | NA    | 0.38  | 0.38  | 0.44  | 0.88  | 0.60  | 0.66  | 0.76  | 0.43  |
| 2010/2011 | -0.03 | 0.27  | 0.29  | 0.20  | 0.41  | 0.51  | 0.22  | 0.56  | 0.43  | 0.43  |
| 2011/2012 | 0.73  | -0.09 | 0.20  | -0.18 | 0.18  | 0.80  | 0.47  | 0.47  | 0.60  | 0.36  |
| 2012/2013 | 0.60  | 0.48  | 0.71  | 0.24  | 0.41  | 0.50  | 0.45  | 0.75  | 0.68  | 0.70  |
| 2013/2014 | 0.28  | -0.09 | -0.47 | 0.20  | 0.02  | 0.22  | 0.53  | 0.07  | 0.30  | 0.57  |
| 2014/2015 | 0.55  | 0.00  | 0.53  | 0.18  | 0.24  | 0.70  | 0.51  | 0.70  | 0.82  | 0.43  |
| 2015/2016 | 0.33  | -0.19 | 0.25  | 0.60  | -0.05 | 0.80  | -0.26 | 0.64  | 0.63  | 0.71  |
| 2016/2017 | 0.30  | NA    | -0.32 | 0.45  | 0.57  | 0.32  | 0.52  | 0.11  | 0.03  | 0.38  |



|           |      |    |    |    |       |      |    |      |       |      |
|-----------|------|----|----|----|-------|------|----|------|-------|------|
| 2017/2018 | 0.73 | NA | NA | NA | 0.11  | 0.16 | NA | NA   | -0.09 | 0.16 |
| 2018/2019 | 0.80 | NA | NA | NA | -0.40 | 0.55 | NA | 0.60 | 0.37  | 0.63 |

Legenda: laranja = correlação forte; amarelo = correlação moderada; verde claro = correlação fraca; verde forte = correlação desprezível. NA = sem correlação.

Fonte: Os autores, 2024.

O FFDI apresentou boa correlação com a área queimada e focos de calor em todos os períodos com destaque para o período de El Niño onde foram encontrados os maiores valores dos coeficientes de correlação. O FFDI também apresentou valores de coeficientes de correlação satisfatórios com focos de calor a nível das categorias de áreas protegidas. Esses resultados indicam boa aplicação do FFDI na área do CCMA para indicar quais áreas apresentaram maiores perigos de incêndios florestais. A utilização de índices de perigo de incêndios que integram variáveis meteorológicas e de combustível para identificar o potencial do risco de incêndios florestais são importantes ferramentas para auxiliar no planejamento, tomadas decisões e emissões de alertas (Plucinski et al., 2020).

Os bons resultados de correlação entre focos de calor e FFDI a nível de áreas protegidas além de indicar o bom desempenho do índice para identificar quais áreas apresentaram maiores riscos de incêndios também ajudam na identificação das áreas que necessitam de melhores investimentos no combate e prevenção ao fogo. Dentre as categorias de áreas protegidas, a PARNA foi a que apresentou melhor resultado de correlação entre focos de calor e o FFDI. A ocorrência de fogo nessas áreas serve como indicador da pressão das atividades humanas dentro e na zona de amortecimento dessas áreas protegidas. Os PARNA's são áreas de proteção integral, ou seja, seu objetivo é preservar a natureza não sendo admitido a exploração dos recursos de forma direta, com exceção de casos previstos na Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000 (Brasil, 2000).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse estudo demonstraram que os episódios de El Niño e La Niña apresentaram influência significativa nas variáveis meteorológicas e no Índice de Perigo de Incêndios Florestais (FFDI) no Corredor Central da Mata Atlântica. Durante os episódios de El Niño, observou-se um aumento expressivo nos focos de calor, especialmente nas UC's de uso sustentável, o que reforça a necessidade de uma maior atenção para essas áreas. Em contrapartida, os episódios de La Niña, apresentaram menor risco de incêndios florestais, evidenciando a importância da variabilidade climática no monitoramento dos incêndios florestais.

A utilização do FFDI como ferramenta para identificar áreas de maior risco de incêndios nas UC's se mostrou eficaz, indicando que o índice poderá contribuir para o planejamento de medidas preventivas e de resposta rápida em períodos críticos. A categoria de UC's de proteção integral, principalmente os Parques Nacionais, apresentou uma boa correlação entre o FFDI e os focos de calor, o que ressalta a importância de políticas públicas voltadas para a preservação dessas áreas.

Este estudo também reforça a necessidade de fortalecer a rede de monitoramento meteorológico no Brasil, especialmente em regiões de alta vulnerabilidade, como a Mata Atlântica, para que seja possível aprimorar a acurácia dos índices de perigo de incêndios florestais. A aplicação de tecnologias avançadas, como o sensoriamento remoto, se torna fundamental para subsidiar o manejo sustentável e a preservação da biodiversidade em face das mudanças climáticas.

Futuros trabalhos podem explorar a relação de outras variáveis, como o uso da terra, com o FFDI, para oferecer uma visão mais detalhada do perigo de incêndios florestais em unidades de conservação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à NASA pela disponibilização gratuita dos dados utilizados. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsa de doutorado. Ao Programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, C.F. et al. Fire outbreaks in extreme climate years in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Land Degradation & Development*, v. 30, n. 11, p. 1379-1389, 2019. <https://doi.org/10.1002/ldr.3327>



- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Seção 1, p. 1. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm). Acesso em: 02 abril de 2024.
- BRASIL, O. O corredor central da Mata Atlântica: uma nova escala de conservação da biodiversidade. **Ministério do Meio Ambiente, Conservação Internacional e Fundação SOS Mata Atlântica**, 2006.
- BECK, J. A. Equations for the forest fire behaviour tables for Western Australia. **CALM Science**, v. 1, n. 3, p. 325-348, 1995.
- BORGES, K.M.R. et al. Sensoriamento remoto e Geoprocessamento como subsídio ao manejo do fogo e ao combate aos incêndios florestais em Unidades de Conservação Federais. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 168-178, 2021. <https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i2.1685>
- CHELLI, S. et al. Adaptation of the Canadian fire weather index to Mediterranean forests. **Natural Hazards**, v. 75, p. 1795-1810, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1397-8>
- CLEMENTE, S. dos; OLIVEIRA, J.F. de; PASSOS LOUZADA, M.A. Focos de calor na Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 669-677, 2017. <https://doi.org/10.1590/0102-7786324014>.
- COSTA, A.G. et al. Causas e período de ocorrência de incêndios florestais em unidades de conservação federais brasileiras de 2006 a 2012. **Ciência Florestal**, v. 33, p. e69028, 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509869028>
- CREPALDI, M. O. S. et al. Joias do patrimônio natural as unidades de serviço do corredor central da mata atlântica. 1ed. Belo horizonte: conservação internacional, 2015. Disponível em: <http://www.terrabrasis.org.br/ecotecadigital/images/abook/pdf/2sem2015/outubro/Uma%20Rede%20no%20Corredor.pdf>. Acesso em 02 de março de 2024.
- DELGADO, R. C., DE SANTANA, R. O., GELSLEICHTER, Y. A., & PEREIRA, M. G. Degradation of South American biomes: What to expect for the future? **Environmental Impact Assessment Review**, v. 96, p. 106815, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106815>
- DOWDY, E.; RITCHEY, K.; KAMPHAUS, R.W. School-based screening: A population-based approach to inform and monitor children's mental health needs. **School mental health**, v. 2, p. 166-176, 2010. <https://doi.org/10.1007/s12310-010-9036-3>
- EARTHDATA, N.A.S.A. Fire information for resource management system (FIRMS). 2024. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- FREITAS, W. K. et al. Influence of fire foci on forest cover in the Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 115, p. 106340, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106340>
- GOIS, G. D., FREITAS, W. K. D., & OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. D. Spatial-temporal of fire foci in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Biosci. j.(Online)**, p. 1008-1017, 2020. <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n3a2020-47769>
- GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. **ENSO Years based on Oceanic Niño Index (ONI)**. 2024. Available at: <http://ggweather.com/enso/oni.htm> Acesso em 17 de setembro de 2024.
- INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraBrasilis: plataforma de dados geográficos**. Disponível em: <http://terrabrasis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em 18 de março de 2024.
- KAUANO, É.E. et al. Do protected areas hamper economic development of the Amazon region? An analysis of the relationship between protected areas and the economic growth of Brazilian Amazon municipalities. **Land Use Policy**, v. 92, p. 104473, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104473>
- LAPOLA, D.M. et al. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. **Conservation biology**, v. 34, n. 2, p. 427-437, 2020. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>
- MAPBIOMAS – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, Disponível em: <http://mapbiomas.org> (Acesso em 05 de dezembro de 2023).
- MAPBIOMAS, 2020. Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. (Acesso em 21 de janeiro de 2024).
- MARTHUR, A.G. Prescribed burning in Australian fire control. **Australian Forestry**, v. 30, n. 1, p. 4-11, 1966. <https://doi.org/10.1080/00049158.1966.10675391>

- MCARTHUR, A.G. Fire behaviour in eucalypt forests. Leaflet No. 107. **Forest Research Institute, Forestry and Timber Bureau, Canberra**, 1967.
- MELLO-THÉRY, N.A. de. The Brazilian Atlantic Forest: occupation, death and protection of forest remnants and biodiversity. **CIRAS discussion paper No. 90: Lifetime of Urban, Regional and Natural Systems: examining examples from Brazil and Japan**, v. 90, p. 27-37, 2019. [https://doi.org/10.14989/CIRASDP\\_90\\_27](https://doi.org/10.14989/CIRASDP_90_27)
- NOBLE, I.R.; GILL, A.M.; BARY, G.A.V. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. **Australian Journal of Ecology**, v. 5, n. 2, p. 201-203, 1980. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1980.tb01243.x>
- OLIVEIRA-JUNIOR, J.F. et al. Fire foci in South America: Impact and causes, fire hazard and future scenarios. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 103623, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103623>
- PLUCINSKI, M.P.; SULLIVAN, A.L.; MCCAW, W.L. Comparing the performance of daily forest fire danger summary metrics for estimating fire activity in southern Australian forests. **International journal of wildland fire**, v. 29, n. 10, p. 926-938, 2020. <https://doi.org/10.1071/WF19185>
- PONTES, E.J.; FERNANDES, G.W.; ALMEIDA NETO, P.P. Fatores a serem observados na criação de Áreas Protegidas: o caso do Parque Nacional do Descobrimento (Prado/BA). **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-39010>
- SANABRIA, L.A. et al. Spatial interpolation of McArthur's forest fire danger index across Australia: observational study. **Environmental modelling & software**, v. 50, p. 37-50, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.08.012>
- SANTANA, R.O.; DELGADO, R.C.; SCHIAVETTI, A. Future spatial modeling of vegetation in the Central Atlantic Forest Corridor, Brazil. **Frontiers in Conservation Science**, v. 3, p. 946669, 2022. <https://doi.org/10.3389/fcsc.2022.946669>
- SANTANA, R.O.; DELGADO, R.C.; SCHIAVETTI, A. Modeling susceptibility to forest fires in the Central Corridor of the Atlantic Forest using the frequency ratio method. **Journal of environmental management**, v. 296, p. 113343, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113343>
- SANTANA, R.O.; DELGADO, R.C.; SCHIAVETTI, A. The past, present and future of vegetation in the Central Atlantic Forest Corridor, Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100357, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100357>
- SCHNEIDER, B.H.; BELL, D.T. A simple, effective technique for rapid measurement of fuels in low shrub communities [conservation; controlled burning]. **Australian Forest Research (Australia)**, 1985.
- SHARPLES, J.J. et al. A simple index for assessing fire danger rating. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, n. 6, p. 764-774, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.11.004>
- SILVA JÚNIOR, L.A.S. et al. Fire dynamics in extreme climatic events in western amazon. **Environmental Development**, v. 32, p. 100450, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.06.005>
- SOARES-FILHO, B.S. et al. Contribution of the Amazon protected areas program to forest conservation. **Biological Conservation**, v. 279, p. 109928, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.109928>
- TITO, T.M. et al. Assessment of evapotranspiration estimates based on surface and satellite data and its relationship with El Niño–Southern Oscillation in the Rio de Janeiro State. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08421-z>
- XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>
- ZAR, J.H. Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. **Journal of the American Statistical Association**, v. 67, n. 339, p. 578-580, 1972. <https://doi.org/10.1080/01621459.1972.10481251>

Recebido em: 12/08/2024

Aceito para publicação em: 21/10/2024