



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - UFBA**

Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores

Mestrado em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores

**IARA SILVA DE MACÊDO**

**Variação Temporal na Ocorrência de Incêndios no Parque  
Nacional da Chapada Diamantina e suas Zonas de Amortecimento**

**Salvador, Fevereiro/2025**

**IARA SILVA DE MACÊDO**

**Variação Temporal na Ocorrência de Incêndios no Parque  
Nacional da Chapada Diamantina e suas Zonas de Amortecimento**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Ecologia: Teoria, Aplicação e  
Valores, como parte dos requisitos  
exigidos para obtenção do título de  
Mestre em Ecologia: Teoria,  
Aplicação e Valores.

Orientador: Dr. Pavel Dodonov

**Salvador, Fevereiro/2025**

Dados internacionais de catalogação-na-publicação  
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Macêdo, Iara Silva de.

Varição temporal na ocorrência de incêndios no Parque Nacional da Chapada Diamantina e suas zonas de amortecimento / Iara Silva de Macêdo. - 2025.

45 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Pavel Dodonov.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Salvador, 2025.

1. Ecologia das paisagens. 2. Fogo e ecologia. 3. Incêndios florestais - Prevenção e controle. 4. In cêndios florestais - Parque Nacional da Chapada Diamantina (BA). 5. Parque Nacional da Chapada Diamantina (BA) - Conservação. I. Dodonov, Pavel. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. III. Título.

CDD - 577.5098142

CDU - 502(813.8)

**“Nada na vida é para ser temido, apenas compreendido. Agora é a hora de compreender mais, para que possamos temer menos.” (Marie Curie)**

## **Agradecimentos**

A finalização desse trabalho marca um passo de extrema importância na minha vida acadêmica e pessoal. É uma realização executar um trabalho na área onde eu nasci e fui criada, a Chapada Diamantina, em especial Lençóis, sempre será o meu lar. Conteí com o apoio e a ajuda de várias pessoas e instituições.

Ao meu orientador Pavel, agradeço por todo esforço, paciência e ensinamentos. Foram dois anos de descobertas, muito incentivo e sempre afirmando que sim, seria possível. Agradeço também a Leonardo, meu colega de laboratório, pelas significativas contribuições.

Muito obrigada à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), minha agência de financiamento, sem esse apoio financeiro seria impossível realizar essa pesquisa.

Agradeço a Deus, que me deu forças desde o momento que saí de minha casa e voei para longe. À minha família, meu cachorro e meus amigos próximos, que são poucos, porém, verdadeiros. Obrigada por sempre me mostrarem que posso ser muito mais do que acredito.

**Muito obrigada!**

## SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	6
TEXTO DE DIVULGAÇÃO .....	7
RESUMO: .....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUÇÃO:.....	11
JUSTIFICATIVA: .....	18
OBJETIVO: .....	19
MATERIAIS E MÉTODOS:.....	19
ÁREA DE ESTUDO:.....	19
OBTENÇÃO DE DADOS:.....	21
TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS: .....	22
Comparação do número de focos de calor dentro e fora do PNCD .....	23
Avaliação da sazonalidade dos focos de calor .....	24
Análise da relação entre focos de incêndio e o fenômeno El Niño .....	25
RESULTADOS:.....	25
NÚMERO DE INCÊNDIOS DENTRO E FORA DO PNCD.....	25
SAZONALIDADE DOS FOCOS DE CALOR.....	28
RELAÇÃO ENTRE INCÊNDIOS E O FENÔMENO EL NIÑO .....	33
DISCUSSÃO:.....	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS: .....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	40

## TEXTO DE DIVULGAÇÃO

Há muito tempo o fogo vem provocando alterações na biogeografia das paisagens de todo o planeta, causando fortes impactos em todo o funcionamento dos ecossistemas terrestres e agindo como um dos agentes de seleção natural que molda as comunidades vegetais que conhecemos hoje. Os incêndios naturais influenciaram a evolução de muitas espécies, tornando o fogo parte integrante do funcionamento de alguns ecossistemas. Os ecossistemas brasileiros possuem diferentes respostas à presença do fogo, sendo possível caracterizá-los de acordo com suas características, como ecossistemas dependentes, independentes ou sensíveis à presença do fogo.

Os ecossistemas considerados sensíveis à presença do fogo são as florestas tropicais úmidas como a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica. Esses ecossistemas não apresentam indicativos históricos de evolução influenciada pelo fogo e suas espécies não possuem qualquer tipo de adaptação que as tornem resistentes ou resilientes após uma queimada, o impacto do fogo nesses ecossistemas, em geral, é muito severo. Já a Caatinga é caracterizada por ser um ambiente independente do fogo. Eventos de queimadas naturais são raros, como consequência, esse ecossistema não apresenta adaptações a queimadas frequentes. Os ecossistemas que necessitam de queimadas periódicas para manutenção de seus processos ecológicos e características ecossistêmicas são denominados dependentes do fogo. Três ecossistemas fazem parte dessa classificação: o Cerrado, o Pantanal e o Pampa.

O presente estudo foi realizado utilizando dados de focos de calor dos últimos 26 anos, para a área do Parque Nacional da Chapada Diamantina e os seis municípios que fazem parte de sua zona de amortecimento, sendo áreas onde predominam fitofisionomias do cerrado. A vegetação desse ecossistema desenvolveu adaptações para sobreviver e se regenerar após incêndios.

Durante o período do levantamento de dados, foram registrados 28.835 focos de calor, sendo que 7.513 ocorreram dentro do parque e 21.322 fora dele. Foram realizadas análises estatísticas para avaliar a densidade de focos dentro e fora do PNCD, os resultados mostraram que a densidade de incêndios dentro e fora do PNCD é diferente, sendo que o número mediano de incêndios por km<sup>2</sup> por ano é menor dentro do PNCD do que fora dele.

Em certos anos, como 2008 e 2015, houve um número muito alto de incêndios dentro do parque, o que aumentou a média geral de incêndios nesse local. Isso pode estar relacionado a fatores climáticos e mudanças na forma de cuidar da vegetação, que pode ter levado a um acúmulo de biomassa seca.

Ao analisar a sazonalidade da região foi possível constatar que existe um padrão bem claro, com temporadas de seca e de chuvas bem definidas. Dessa maneira, observou-se que a época mais propícia para a ocorrência de incêndios é entre setembro e novembro, em alguns anos se estendendo até dezembro, destacando a necessidade de ajuste nas estratégias de manejo adequado para esse padrão sazonal.

Também foram feitas análises para correlacionar o aumento no número de focos com interferências de fenômenos climáticos naturais como o El Niño, porém, não houve relação estatisticamente significativa entre o El Niño e os focos de calor registrados para a área estudada. Durante os períodos críticos, de setembro a dezembro, é importante intensificar as medidas de prevenção, como contratar brigadistas temporários, realizar campanhas de conscientização e aumentar a fiscalização. Também é crucial manejar a biomassa seca através de queima controlada ou outras alternativas. As áreas em volta do parque apresentam um alto número de incêndios, geralmente tendo início antes de atingir o Parque. Programas de educação e conscientização nos municípios vizinhos são fundamentais para ajudar na prevenção de incêndios. Ferramentas modernas, como drones e imagens de satélite, podem auxiliar na detecção rápida de incêndios e na tomada de decisões.

## RESUMO:

A ocorrência de incêndios com alta frequência pode ser altamente danosa aos ecossistemas, até mesmo para os que necessitam do fogo para sua manutenção. Essa alta frequência pode alterar a paisagem, tornando-a mais aberta, e alterar as fitofisionomias, fazendo com que haja maior dominância de gramíneas. O Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) está entre as Unidades de Conservação Federais com maior número de focos de incêndio no Brasil. A presente pesquisa propõe uma análise temporal dos focos de incêndios dentro do PNCD e nas suas zonas de amortecimento, os municípios que fazem parte do parque, nos últimos 26 anos. As informações a respeito dos focos de calor, utilizadas para essa análise foram extraídas do banco de dados do INPE. Dessa maneira, foi possível constatar que os anos que mais tiveram focos de incêndios foram 2008, 2012, 2015 e 2021, com destaque para 2008 e 2015 que foram os únicos anos em que houve mais focos para área de dentro do PNCD que em seu exterior nas zonas de amortecimento. Os maiores números de focos estão concentrados nos municípios de Mucugê, Andaraí e Lençóis, sendo que os meses em que mais são registrados focos de incêndio, tanto dentro quanto fora do PNCD, foram os meses de setembro, outubro e novembro. Nos últimos 26 anos foram quantificados 28.835 focos de incêndios em todo o PNCD e nos municípios que fazem parte de sua zona de amortecimento. Desse valor total, 7513 focos foram dentro do PNCD e 21.322 focos foram fora do Parque, nas zonas de amortecimento. No período em que foi realizado a análise temporal, ocorreram fenômenos como o El-Niño, mas não houve uma relação estatisticamente significativa entre a intensidade do fenômeno El Niño e o número de focos de incêndios. A densidade média de focos foi maior dentro do PNCD, com uma diferença média estatisticamente significativa. No entanto, a densidade mediana de focos foi maior fora do Parque, indicando que, embora a quantidade total de focos possa ser maior fora do parque, a intensidade dentro do parque é relevante. As áreas ao redor do PNCD desempenham um papel crucial na proteção do parque, com a maioria dos focos de incêndio ocorrendo nessas zonas, sendo fundamental incluir essas áreas no plano de manejo do Parque.

Palavras-chave: Cerrado, clima, queimadas, El-Niño, Unidade de conservação.

## **ABSTRACT**

The occurrence of high-frequency fires can be highly damaging to ecosystems, even those that require fire for their maintenance. This high frequency can alter the landscape, making it more open, and change the phytophysionomies, leading to greater dominance of grasses. The Chapada Diamantina National Park (PNCD) is among the Federal Conservation Units with the highest number of fire outbreaks in Brazil. This research proposes a temporal analysis of fire outbreaks within the PNCD and its buffer zones, the municipalities that are part of the park, over the last 26 years. The information regarding fire outbreaks, used for this analysis, was extracted from the INPE database. It was thus possible to verify that the years with the most fire outbreaks were 2008, 2012, 2015, and 2021, with 2008 and 2015 standing out as the only years with more outbreaks within the PNCD than in its surrounding buffer zones. The highest numbers of outbreaks are concentrated in the municipalities of Mucugê, Andaraí, and Lençóis, with the most fire outbreaks occurring in the months of September, October, and November, both within and outside the PNCD. Over the past 26 years, a total of 28,835 fire outbreaks were quantified in the entire PNCD and the municipalities that are part of its buffer zone. Of this total, 7,513 outbreaks were within the PNCD, and 21,322 outbreaks were outside the park, in the buffer zones. During the period of temporal analysis, phenomena like El Niño occurred, but there was no statistically significant relationship between the intensity of the El Niño phenomenon and the number of fire outbreaks. The average density of outbreaks was higher within the PNCD, with a statistically significant mean difference. However, the median density of outbreaks was higher outside the park, indicating that while the total number of outbreaks may be higher outside the park, the intensity within the park is significant. The areas around the PNCD play a crucial role in protecting the park, with most fire outbreaks occurring in these zones, making it essential to include these areas in the park's management plan.

**Keywords:** Cerrado, climate, wildfire, El Niño, Protected Area.

## **INTRODUÇÃO:**

O fogo vem provocando alterações na biogeografia de paisagens por todo o globo, desde a era Paleozóica, no período Siluriano, há cerca de 443 milhões de anos. Devido às condições climáticas desse período e o surgimento de plantas terrestres, o ambiente ficou sujeito a eventos de incêndios naturais pela primeira vez, dessa maneira, causando fortes impactos em todo o funcionamento dos ecossistemas terrestres (Pausas & Keeley 2009). Desde então, o fogo tem agido como um dos agentes de seleção natural que molda as comunidades vegetais conhecidas atualmente (Lamont e He, 2017).

Os incêndios naturais influenciaram a evolução de muitas espécies, tornando o fogo parte integrante do funcionamento de alguns ecossistemas (Bowman et al., 2011). O fogo desempenha um papel crucial em ecossistemas de savanas, contribuindo para o equilíbrio entre as populações de gramíneas e plantas lenhosas. (Sankaran et al. 2005), influenciando diretamente a dinâmica e estrutura das populações vegetais (Whelan 1995, Bond & van Wilgen, 1996). Além disso, atua diretamente na remoção de serrapilheira, pode controlar espécies dominantes que, sem a ocorrência do fogo, atuam como barreira para o estabelecimento e persistência de outras espécies (Hoffmann, 1996). Existem espécies que possuem mecanismos responsáveis por promoverem queimadas recorrentes, podendo assim se manter (Christensen, 1985).

Os ecossistemas brasileiros possuem diferentes respostas à presença do fogo, sendo assim é possível caracterizá-lo, de acordo com suas características edáficas e topográficas, como dependente, independente ou sensível à presença do fogo (Pivello et al., 2021). No Brasil, os ecossistemas considerados sensíveis à presença do fogo são as florestas tropicais úmidas como a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica. Esses ecossistemas não apresentam indicativos históricos de evolução influenciada pelo fogo e suas espécies não possuem qualquer tipo de adaptação que as tornem resistentes ou resilientes após uma queimada. Assim como em outros ecossistemas, é fundamental que haja uma fonte de ignição, como raios e atividades antrópicas, para que se inicie um incêndio em ambientes como a Floresta Amazônica.

Os materiais inflamáveis precisam estar organizados de maneira relativamente contínua, o microclima também deve possibilitar que esses materiais sequem abaixo do

nível de combustão (Pivello et al., 2021). Logo, os incêndios ocorrem com maior frequência em áreas degradadas, onde o microclima e a disponibilidade combustível foram modificadas. Em um cenário sem modificações na vegetação e consequentemente no microclima natural, o tempo de retorno do fogo natural é de centenas ou até mesmo milhares de anos. O impacto do fogo nesses ecossistemas, em geral, é muito severo, a exemplo da perda da camada de serrapilheira, a qual protege o solo da erosão e recicla os nutrientes, outro impacto muito grande é a perda de brotos e plantas pequenas (Kauffmann e Uhl, 1990).

Já a Caatinga é caracterizada por ser um ambiente independente do fogo. Eventos de queimadas naturais são raros, devido à sua vegetação, que não possui combustível contínuo e inflamável, e à baixa incidência de raios na região. Como consequência, esse ecossistema não apresenta adaptações a queimadas frequentes (Pivello et al., 2021).

Os ecossistemas que necessitam de queimadas periódicas para manutenção de seus processos ecológicos e características ecossistêmicas, são denominados dependentes do fogo. No território brasileiro três biomas se enquadram nessas características, o Cerrado, o Pantanal e o Pampa. Incêndios naturais nesses ambientes são tipicamente de superfície, consumindo basicamente os estratos herbáceos, com diâmetro inferior ou igual a 6mm, são queimadas relativamente breves e pouco intensas e com uma frequência natural de retorno do fogo de em média três a seis anos (Tavares, 2017). Pesquisas que analisaram carvão e pólen apontam que o fogo está presente no Cerrado desde muito antes do surgimento dos *Homo Sapiens* na América do Sul, datando de pelo menos trinta e dois mil anos atrás (Fidelis e Pivello, 2011).

No Cerrado e no Pantanal as queimadas naturais costumam ocorrer nos meses de transição entre a estação seca e entra na temporada de chuva. É justamente nesse período que há ocorrência de raios, com a vegetação seca acumulada no solo o ambiente se torna propício a incêndios. Sob tais condições, típicas desse ecossistema, o fogo não se espalha por vastas áreas, pois as chuvas que ocorrem em seguida o extinguem, prevenindo incêndios florestais de grandes proporções (Fidelis e Pivello, 2021).

Essa influência do fogo levou ao desenvolvimento de diversas adaptações na vegetação, o que lhe permite sobreviver e se regenerar de maneira eficaz. A presença de uma espessa cortiça nos troncos das árvores, tão características do cerrado, é um claro

exemplo de tais adaptações, bem como a proteção das gemas e a presença de órgãos subterrâneos (Rizzini e Heringer 1962), muitas vezes lenhosos, como xilopódios e rizomas. Estas raízes especializadas armazenam nutrientes e água, permitindo que as plantas sobrevivam durante as estações secas. Os xilopódios têm uma estrutura espessa e suculenta, e muitas vezes se regeneram rapidamente após distúrbios como incêndios (Mendonça et al., 1998). A capacidade de rebrotamento, o qual pode ocorrer por órgãos subterrâneos ou a partir da base do caule, caracteriza uma das principais estratégias de sobrevivência em ambientes com regimes de fogo (Fidelis e Pivello, 2011).

Savanas frequentemente queimadas, como no cerrado, a germinação é um pré-requisito fundamental para a sobrevivência juvenil. Porém, se as plantas crescem o suficiente para escapar dos danos do fogo, algumas espécies podem perder a capacidade de germinar completamente, embora outras permaneçam germinadoras vigorosas (Bond et al., 2001). Tal característica se mostra de extrema importância, tendo em vista que as gemas aéreas ainda não estão protegidas pela casca da árvore, como ocorre em indivíduos adultos (Hoffmann e Moreira, 2002). Em ambiente com regimes de fogo frequentes, muitas espécies de vegetação lenhosa juvenil, que ainda não possuem capacidade de rebrotamento, sofrem grandes perdas na parte aérea, correndo sérios riscos de serem suprimidas ou eliminadas de tais ambientes (Hoffmann et al., 2012).

Já as espécies herbáceas têm como principal adaptação para coevoluir com o fogo, uma modificação na estrutura foliar, para manter suas gemas protegidas (Coutinho, 1980). Além dessas adaptações morfológicas e fisiológicas na vegetação do Cerrado, o fogo também atua em processos ecológicos, sendo que queimadas periódicas são essenciais para o rebrotamento, a ciclagem de nutrientes, a frutificação e o estabelecimentos de plântulas de várias espécies (Pivello e Coutinho, 1982). Algumas plantas possuem sua floração induzida pelo fogo, enquanto para outras o fogo estimula a abertura de seus frutos e permite a quebra de dormência de suas sementes, estimulando a germinação (Coutinho 1990, Auld e O'Connell 1991).

Os ecossistemas, sejam ele dependente ou sensível ao fogo, possuem suas espécies adaptadas a condições específicas de seus diferentes regimes de fogo. Não existe espécie adaptada ao fogo, existem espécies adaptadas a um regime particular de fogo, o qual inclui, dentre outros fatores, a frequência, sazonalidade e intensidade do fogo e os padrões

de consumo de combustível (Keeley et al., 2011). A intensidade do fogo é influenciada principalmente pela quantidade de biomassa fina acumulada na área, como gramíneas e galhos finos (Fidelis et al. 2010).

A sazonalidade do fogo desempenha um papel fundamental nos efeitos dos incêndios florestais sobre a estrutura e função dos ecossistemas (Zhang et al., 2014; Huesca et al., 2009). Contudo, as práticas humanas de manejo da terra também podem influenciar a dinâmica temporal dos incêndios florestais (Archibald, 2016). Ao investigar o impacto da sazonalidade climática do fogo nos biomas brasileiros, Araújo, Ferreira e Arantes (2012) observaram também a influência de fenômenos meteorológicos, como dados de precipitação e eventos como El Niño e La Niña, identificando a relação entre esses fatores e a distribuição do fogo nessas formações vegetais (Jesus et al., 2020).

Os seres humanos podem alterar o regime natural de fogo de diversas formas, seja diretamente, por meio do uso da terra para atividades como preparo de áreas de cultivo, caça ou práticas agropecuárias (Fidelis e Pivello, 2011), ou indiretamente, por meio do aquecimento global e das mudanças climáticas. Em regimes de incêndios de origem antropogênica, como na região do Mediterrâneo, as ignições tendem a ser espacialmente concentradas devido à autocorrelação espacial das atividades humanas (Caldarelli et al., 2001; Gonzalez Olabarria et al., 2012).

Modificações no regime natural do fogo altera a frequência e a intensidade das queimadas, o que pode alterar a fitofisionomia da região (Mesquita, 2008). Essas mudanças geram diversos efeitos negativos para a biodiversidade, incluindo o risco de extinção de espécies de animais e plantas, além de promover a erosão do solo, que perde sua proteção natural (Mesquita, 2008).

Áreas queimadas com uma frequência muito grande tendem a se tornar mais abertas e possuir maior dominância de graminóides, já que a alta frequência de queimadas afeta negativamente a sobrevivência de árvores jovens (Moreira 2000, Miranda *et al.* 2002, 2009) e assim favorece o crescimento de graminóides, que não serão limitados pelo sombreamento. Incêndios podem também favorecer o crescimento do estrado herbáceo, através do depósito de cinzas e nutrientes no solo (Coutinho 1982, 1990, Pivello & Coutinho 1992, Kauffman *et al.* 1994).

Os efeitos negativos do fogo também afetam as populações humanas, pois a fumaça resultante da queima de biomassa, devido à sua composição, é prejudicial à saúde. Quando inalada, pode penetrar nos pulmões e na corrente sanguínea, causando problemas respiratórios e cardiovasculares, além de estar associada a milhares de mortes prematuras por ano (Nawaz e Henze, 2020). Além dos impactos diretos na saúde, como apontado pela UNEP (2016), o fogo também pode reduzir o rendimento das colheitas. Há ainda prejuízos indiretos, como alterações na qualidade do ar, que afetam a qualidade de vida das populações (Pivello et al., 2021).

Caracterizado como a savana com maior biodiversidade do mundo (Myers et al., 2000), o Cerrado tem sido severamente ameaçado pelo uso indiscriminado do fogo. Mesmo sendo legalmente permitido uso do fogo para fins agrícolas, grande parte das queimadas são praticadas de maneira ilegal, sem uma autorização prévia dos órgãos responsáveis, principalmente quando as queimadas são associadas ao desmatamento e à supressão da vegetação nativa (Pivello et al., 2021).

Incêndios provocados pela ação humana ocorrem na estação seca, queimando extensas áreas, enquanto os incêndios naturais frequentemente são menores, sendo mais rapidamente extintos pela chuva (Ramos-Neto e Pivello, 2000). Assim o uso eficiente do fogo depende da compreensão das relações entre fogo e suas causas, bem como a relação entre o fogo e os múltiplos processos ecológicos que ele afeta (Archibald et al., 2017).

As políticas atuais de combate a incêndios foram implementadas em resposta ao uso intenso do fogo para desmatamento e manejo de pastagens no Brasil, especialmente ao longo do século XX. Durante esse período, consolidou-se a visão de que o fogo é sempre prejudicial para os ecossistemas (Durigan e Ratter, 2016). Essa perspectiva, juntamente com as preocupações relacionadas ao aquecimento global e às mudanças climáticas, sustentou as estratégias modernas de supressão de incêndios (Dias, 2006), ignorando o papel ecológico essencial do fogo na preservação da biodiversidade da rica flora e fauna do Cerrado (Durigan e Ratter, 2016).

Em áreas onde são estabelecidas Unidade de Conservação (UC) é comum haver a retirada de todo tipo de distúrbio (Huston, 2004). A política do fogo zero prevalece no Brasil desde a era colonial, inclusive em ecossistemas dependentes do fogo. Em meados

da década de 1970, quando iniciaram estudos científicos a respeito do fogo, começou a desenvolver-se um pensamento diferente sobre o tema (Pivello, 2021).

Excluir totalmente o fogo em ecossistemas dependentes do fogo, ocasionará consequências graves como a perda de biodiversidade e o acúmulo de combustível que levaria a incêndios catastróficos (Pivello, 2021), modificando a fisionomia da vegetação (Moreira, 2000). Passado um certo período, haverá acúmulo de uma quantidade excessiva de biomassa morta, a qual é extremamente inflamável (Fidelis, 2010).

A ocorrência e a extensão dos incêndios estão diretamente relacionadas com as condições do clima, a topografia e o tipo de cobertura vegetal, a qual corresponde ao material combustível (Soares et al., 2008). O clima no cerrado brasileiro é predominantemente tropical sazonal, caracterizado por duas estações bem definidas, uma estação chuvosa, geralmente de outubro a abril com precipitação média anual variando entre 1.200 mm e 1.800 mm e temperaturas elevadas, com máximas acima de 30°C. E uma estação seca que vai de maio a setembro, com níveis extremamente baixos de precipitação, o que pode levar a longos períodos de seca. A umidade relativa do ar também tende a ser bastante baixa, muitas vezes ficando abaixo de 30%. As temperaturas podem variar bastante, com calor durante o dia e noites mais frias (Nascimento et al., 2020). Além dessas características, o cerrado também sofre com a influência de diversos eventos climáticos como o El Niño, que podem alterar a frequência e intensidade das chuvas, impactando ecossistemas e produção agrícola.

Embora a espécie humana modifique significativamente o regime natural do fogo, fenômenos naturais como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) também estão diretamente associados ao aumento de focos de incêndio no país, configurando-se como um dos principais fatores de variabilidade climática em escala global. Um dos mais fortes registrados ocorreu entre o verão de 2014/2015 até o outono de 2016. A ocorrência desse fenômeno causou grandes impactos em esfera global, com seca em algumas regiões e inundações em outras (Diniz et al., 2019).

Em algumas regiões do Brasil, em especial o Cerrado, a gestão do fogo é um dos aspectos que mais demandam atenção por parte dos gestores das unidades de conservação (Borges et al., 2021). A legislação brasileira que permite o uso do fogo nos Parques Nacionais para fins de conservação e manejo é recente. O primeiro decreto que dispôs

sobre o assunto foi o regulamento de parques nacionais (decreto nº 84.017/1979), que em parágrafo único, afirma que o fogo poderia ser usado como técnica de manejo, quando indicado no plano de manejo da unidade (Castro, 2019). Mesmo havendo uma preocupação em preservar os ecossistemas através da criação de UCs, ocorrem diversos tipos de degradação nessas áreas. A ocorrência de fogo, por exemplo, em áreas protegidas caracteriza-se como uma das mais importantes fontes de alteração e destruição tanto de flora quanto de fauna, comprometendo assim os recursos naturais presentes nestes locais (Morelli et al., 2009).

Uma pesquisa realizada por Savioli e Nascimento (2022), constatou que do total de focos de queimadas entre o período de 1999 e 2018 no Cerrado, pouco mais de 3% ocorreram no interior de Unidades de Conservação de Proteção integral, 5% em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, 9,4% em Terras Indígenas e 0,4% em Territórios Quilombolas. Assim, apesar de serem constituídas como áreas legalmente protegidas, é recorrente a ocorrência de eventos de queimadas no interior de tais áreas, seja através de fonte de ignição natural, ou seja, causadas por descargas elétricas, condições meteorológicas propícias e disponibilidade de material combustível, e de origem antrópica, especificamente para construção e abertura de aceiros (Morelli et al., 2009).

A sazonalidade das chuvas e os efeitos climáticos no cerrado são essenciais para entender o ciclo natural do fogo e permitem a implementação de práticas de manejo que protegem tanto o ecossistema quanto as atividades humanas (França et al., 2007). Os ritmos fenológicos da vegetação de savana estão intimamente ligados à sazonalidade. Variações na época das queimadas podem impactar a produtividade primária e a floração das plantas. Portanto, entender como a produtividade primária e a fenologia variam conforme as queimadas ocorrem em diferentes épocas é essencial para o manejo dos ecossistemas. Queimadas fora de época podem deixar a vegetação mais vulnerável a distúrbios (França et al., 2007).

O desenvolvimento do Manejo Integrado do Fogo (MIF) foi efetuado a partir de 2008, tem sido cada vez mais aplicado em UCs federais no país. Através do MIF é possível realizar o controle de material combustível disponível, e assim, diminuir drasticamente o risco de grandes incêndios, além de permitir também a integração de algumas práticas desenvolvidas por povos nativos (Pivello et al., 2021). As UCs

desempenham um papel vital na proteção do cerrado contra queimadas, implementando diversas estratégias de manejo de fogo e conservação ecológica.

Nenhum Plano de Manejo Integrado do Fogo para o Parque Nacional da Chapada Diamantina foi localizado, segundo afirmação do atual (2024) gestor do PARNA, Cezar Gonçalves, é previsto que esse plano seja elaborado para o ano seguinte, 2025. Para que haja avanço no manejo do fogo, é também necessário entender que o fogo ocorre em um complexo ecológico e socioeconômico. De acordo com Pivello e colaboradores (2021), é preciso desenvolver um manejo de maneira integrada com outros setores políticos, em especial aqueles que estão vinculados com posse e gestão de terra e de acordo com as agendas das mudanças climáticas.

## **JUSTIFICATIVA:**

Pesquisas sobre as queimadas no Cerrado são extremamente importantes, especialmente considerando as alterações que os regimes naturais de fogo têm sofrido nesse ecossistema e que o fogo é parte integrante e naturais de ecossistemas presentes no planeta. Ainda há muita carência de conhecimento quando o assunto diz respeito a queimadas no Cerrado baiano. Nos ambientes pirofíticos o fogo não deve ser totalmente excluído, e sim devidamente manejado (Sampaio et al., 2016), evitando que haja bruscas variações temporais nas ocorrências de incêndios.

A Chapada Diamantina, porção baiana dentro do complexo de vegetação da Cadeia do Espinhaço, apresenta alta diversidade de espécies associada à presença de diferentes tipos de vegetação. É considerada uma região de extrema importância biológica, tendo vários estudos ampliando as listas de espécies, inclusive endêmicas, de diversos grupos nela representados (Santos, 2022). Os municípios que serão foco do estudo estão localizados na Chapada Diamantina, com uma porção de cada município inserida no Parque Nacional da Chapada Diamantina.

O Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) vem sofrendo com queimadas severas e alterações no seu regime natural de fogo. Foi realizado um trabalho em 2011 por Mesquita avaliando através de imagens de satélite um período entre 1973 e 2010 a extensão das áreas afetadas pelos incêndios no PNCD e em suas áreas circundantes de

dez quilômetros. O resultado mostrou que nesses trinta e sete anos, 61% da área do Parque e 37,6% da área circundante foram afetados por incêndios (Gonçalves et al., 2011).

Uma pesquisa mais atual, realizada em 2022 por Anjos e colaboradores (Anjos et al., 2022), apontou que houve uma significativa variação interanual na área total queimada anualmente no PNCD entre 1990 e 2019, período em que foi feito o estudo. Especificamente em 2008, registrado como o ano em que teve uma maior área queimada, cerca de 439 km<sup>2</sup>. Foi detectado que pelo menos 68%, cerca de 1030km<sup>2</sup>, da área do Parque foi queimado pelo menos uma vez durante esse período estudado.

## **OBJETIVO:**

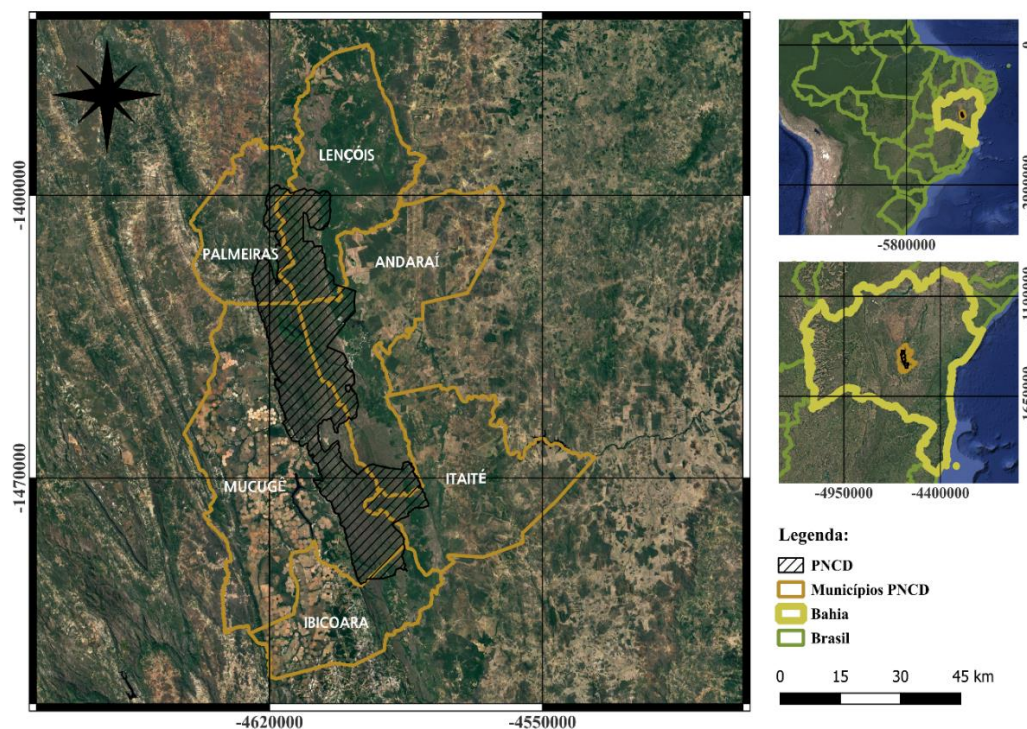
O objetivo do estudo foi analisar a dinâmica temporal de incêndios de julho de 1998 a dezembro de 2024. A partir do levantamento dos dados de focos de calor durante esse período, também foi realizada uma comparação entre os focos de dentro e fora do PNCD. Também foi feita uma análise da sazonalidade das queimadas, assim como a avaliação de uma possível correlação dos números de focos de calor com o fenômeno El Niño.

## **MATERIAIS E MÉTODOS:**

### **ÁREA DE ESTUDO:**

De acordo com Velloso et al. (2002), o Complexo da Chapada Diamantina caracteriza-se como um mosaico de diferentes formações vegetacionais, incluindo formações xerofíticas, típicas da caatinga, cerrado, diferentes tipos de mata (secas e úmidas), além de campos rupestres, que ocorrem geralmente em altitudes acima de 1.000 m, onde existem mais afloramentos rochosos. O clima dessa região é apontado por Stradmann (1998) como semiúmido com estações chuvosas bem definidas entre abril e setembro, sendo que estudos realizados por Mesquita et al., (2011) e Gonçalves et al. (2011) discutem a possibilidade desse período se estender, a depender dos eventos de alteração climática como o El Niño.

O Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) (figura 1) é uma unidade de conservação federal, que está localizada na região central do estado da Bahia, no Brasil. A área do PNCD equivale a 152 mil hectares, com uma extensão territorial que abrange seis municípios: Andaraí, Ibicoara, Itaité, Lençóis, Mucugê e Palmeiras (Leite et al., 2017).



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo, abrangendo os municípios que compõem o Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD – Bahia).

Em todo o território da Chapada Diamantina é possível presenciar o fogo, de maneira frequente, queimar grandes extensões de formações campestres de Cerrado, atingindo inclusive campos rupestres de áreas montanhosas, ambientes onde existem diversas espécies endêmicas da região. Áreas com fitofisionomias campestres são consideradas extremamente inflamáveis, por conta da elevada quantidade de combustível fino. Essa vegetação ocorre em cerca de 76,8% do PNCD, também existem formações campestres na zona de amortecimento do Parque (Castro e Kauffman 1988, Kauffman *et al.* 1994, Bond *et al.* 2005, Pivello 2006, Miranda *et al.* 2009).

## **OBTENÇÃO DE DADOS:**

Para obtenção de dados de focos de calor, foram utilizados satélites equipados com sensores ópticos que operam na faixa térmica-média de 4 $\mu$ m e cujos dados são recebidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Atualmente, a Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do INPE processa operacionalmente as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18 e NOAA-19, as imagens MODIS dos satélites polares NASA TERRA e AQUA, além das imagens dos satélites geoestacionários GOES-12, GOES-13 e MSG-2. Cada satélite de órbita polar gera pelo menos um conjunto de imagens por dia, enquanto os satélites geoestacionários produzem várias imagens por hora (IBAMA, 2022).

Os arquivos contendo informações a respeito dos focos de calor no estado da Bahia foram baixados em formato *shapefile* (*SHP*), utilizando gratuitamente a base de dados BDQueimadas disponibilizado pelo INPE, os quais são atualizados a cada três horas, através do site <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Os focos de calor são monitorados por uma gama de satélites. Para essa pesquisa os satélites utilizados foram AQUA\_M-T, ATSR, GOES (08, 10, 12 e 13), MSG (02 e 03), NOAA (12, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21), NPP-375, TERRA\_M-T, TERRA\_M-M e o TRMM para todo o levantamento temporal avaliado, cujo intervalo de tempo é de 01 de julho 1998 a 31 de dezembro de 2024, totalizando 26 anos de monitoramento.

O monitoramento diário de queimadas utiliza um satélite de referência, cujos dados diários de focos detectados são usados para compor a série temporal ao longo dos anos e permitir a análise de tendências no número de focos em mesmas regiões durante períodos de interesse. De 1999 até 09 de agosto de 2007, o satélite de referência foi o NOAA-12, sendo substituído posteriormente pelo AQUA\_M-T. Mesmo com o satélite de referência, a relação entre foco e queimada não é direta nas imagens de satélite. Um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km. Dentro desse pixel pode haver uma ou várias queimadas distintas, resultando na indicação de um único foco. Se uma queimada for muito extensa, ela será detectada em vários pixels vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma única grande queimada (IBAMA, 2022). É comum uma mesma queimada ser detectada por vários satélites, por esse motivo, dados com a mesma coordenada geográfica e o mesmo dia e horário foram eliminados para evitar repetição de informações.

Os arquivos *shapefile* continham informações diversas, porém, neste trabalho foram priorizados os dados de localização, as coordenadas geográficas, as datas de ocorrência dos focos e os satélites. Para obter os dados dos municípios e se faziam parte da área do PNCD ou não, foi feita a combinação de dados do *shapefile* das queimadas com outros dois *shapfiles*: um com o contorno dos municípios e outro com o contorno do PNCD. O site do INPE permite baixar dados no intervalo de 12 meses, não mais que isso, portanto um arquivo *shapefile* foi baixado para cada ano.

A Oscilação de El Niño (ONI), medida utilizada para monitorar e definir os eventos de El Niño e La Niña, foi utilizada para analisar a correlação do fenômeno climático El-Niño com os focos de calor na área de estudo, através da combinação dos dados de focos de calor com os dados médios anuais do ONI. Os dados médios anuais do ONI foram extraídos do site Climate Prediction Center - ONI, sendo utilizados registros dos últimos 26 anos, mesmo período equivalente aos dados de focos de calor da área de estudo.

#### **TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS:**

A leitura e refinamento dos dados foram realizados através do software livre QGIS Desktop, Versão 3.28.6, onde os *shapefiles* dos focos de calor foram interseccionados com os *shapefiles* da UC do Parque Nacional da Chapada Diamantina. Os dados resultantes do cruzamento geraram novos arquivos *shapefile*, um para cada ano analisado. Estes foram exportados no formato *Comma-separated values* (CSV) e em seguida foram compilados em apenas um arquivo para ser acessado no ambiente R, como mostra o esquema na Figura 2.

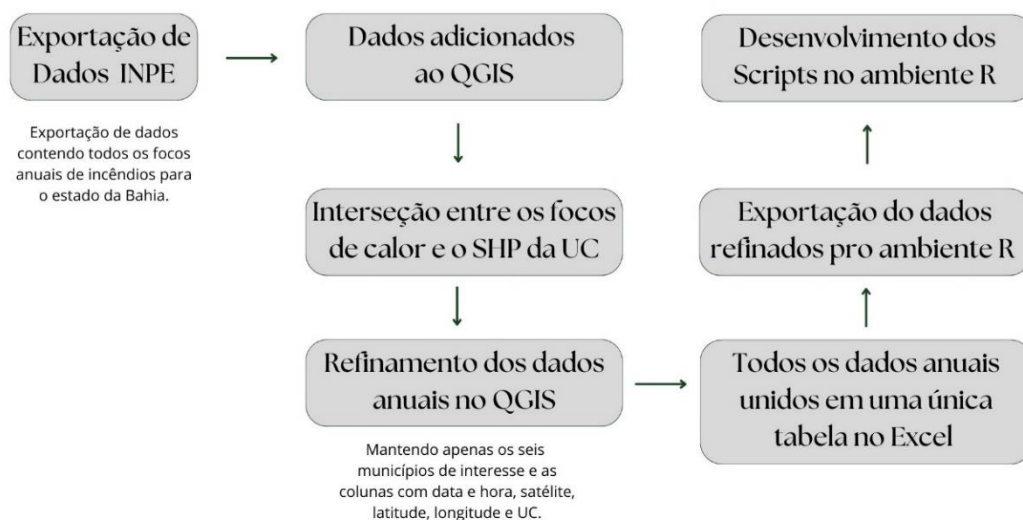


Figura 2. Ilustração da maneira como os dados foram tratados (Instituto Nacional e Pesquisas espaciais (INPE), Shapefile (SHP)).

### Comparação do número de focos de calor dentro e fora do PNCD

Inicialmente, foi calculada a densidade média e a mediana de focos por ano, dentro e fora do PNCD, para cada município, assim como o desvio-padrão, e foi testada a significância da diferença entre a) a média dentro e fora, b) a mediana dentro e fora e c) desvio-padrão dentro e fora do PNCD por um teste de permutação, o qual aleatorizada a local (se dentro ou fora) de cada observação, mas mantinha o município. Assim, foi desenvolvido no ambiente R (R Core Team, 2024) um script que realiza uma análise comparativa dos focos de calor dentro e fora do Parque Nacional da Chapada Diamantina.

Inicialmente converte a área que estava em hectares para quilômetros quadrados, então calcula-se a densidade de focos de calor dentro e fora do PARNA. Em seguida os dados foram reorganizados em um novo *dataframe*, que incluiu o ano, município, Local (dentro ou fora no PNCD), área em km<sup>2</sup> de dentro e de fora do PNCD, número de focos e densidade de focos. Então foram criados gráficos de dispersão para visualizar a relação entre os focos de calor e a localização (dentro ou fora do PNCD). Três testes estatísticos por permutação foram utilizados para comparar a densidade de focos dentro e fora do Parque (um para a média, um para a mediana e um para o desvio-padrão). Essa densidade corresponde ao número de focos dividido por área, para controlar pelas diferenças nos tamanhos dos municípios e das suas porções dentro e fora do PNCD.

## **Avaliação da sazonalidade dos focos de calor**

Foi desenvolvido um outro script, o qual permitia tabelar e quantificar os focos que ocorriam dentro e fora do PARNA, bem como desenvolver gráficos circulares que ilustravam tais resultados. Inicialmente houve a preparação dos dados, carregando os pacotes `lubridate` (Grolemund e Wickham, 2011), `circStats` (Agostinelli e Lund, 2018), `circular` (Agostinelli e Lund, 2024), `scales` (Wickham, Pedersen e Seidel, 2023), `ggplot2` (Wickham, 2016) e `ggthemes` (Arnold, 2024), necessários para manipular os dados e fazer figuras. Seguido da exportação da tabela contendo todos os dados de todos os anos estudados, em seguida removendo as linhas duplicadas, em outro comando removendo a hora e mantendo apenas a data, já que seriam usados apenas os meses e anos para avaliar a sazonalidade das queimadas. Uma coluna com o dia do ano foi criada para posteriormente ser convertida em radianos, possibilitando assim criar um gráfico circular.

Para avaliar a distribuição sazonal dos focos de incêndio ao longo do ano, foram desenvolvidos gráficos circulares de maneira individual para cada município separadamente para dentro e para fora do PNCD. Dessa maneira é possível visualizar qual o mês em que mais tem ocorrências de queimadas. Também foram calculados os ângulos médios, representando o período do ano em que os incêndios estão mais concentrados (Zar, 2010). Além disso, foi feito o teste de Rayleigh (Zar, 2010) para testar se realmente a distribuição dos focos é sazonal ou se é uniforme ao longo dos meses do ano.

No ambiente R foram analisados os dados temporais dos focos de calor usando estatísticas circulares, comparando a sazonalidade dentro e fora do PNCD, para cada município, através do teste de Watson-Williams (Shapiro, 1965), um teste estatístico utilizado para determinar se os grupos (dentro e fora do PNCD) têm médias significativamente diferentes.

Foi realizado o teste de Watson-Williams (Zar, 2010) para comparar as médias angulares entre os grupos, dentro e fora do PNCD. Em seguida, os dados foram armazenados em um *dataframe*. Após a leitura dos dados, foram removidas as linhas duplicadas, ou seja, linhas com a mesma coordenada geográfica, data e horário, e que, portanto, provavelmente correspondem a um único foco de calor. A partir da planilha importada no R, houve a extração do mês e a coluna de data e hora foi convertida para um formato de data. Para realizar uma análise circular, criou-se variáveis como dia do ano (calcula o dia do ano para cada data), conversão para radianos (converte o dia do ano

em graus e depois em radianos) e uma coluna indicando quais dados correspondem a focos de calor dentro e fora do PNCD.

### **Análise da relação entre focos de incêndio e o fenômeno El Niño**

No ambiente R também foi avaliada a relação entre o fenômeno El Niño e os focos de calor nos municípios de estudo, tanto nas áreas de dentro quanto de fora do PNCD. Inicialmente houve a leitura do arquivo contendo os dados com os focos de calor anuais dos municípios, na sequência é lido o arquivo contendo os dados mensais do Índice de Niño Oceânico (ONI), o qual contém dados mensais do ONI, então é calculado o ONI médio anual. O ONI é o principal indicador usado para monitorar os fenômenos climáticos conhecidos como El Niño. Condições de El Niño são considerados presentes quando o ONI é igual ou maior que  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , indicando que a temperatura na região Niño 3.4 está significativamente mais quente que o normal (Souza, 2021).

Para cada município, os dados de focos de calor anuais foram combinados com os dados do ONI médio anual. Os períodos nos quais não houve focos de calor são preenchidos com zero. Foi criado um gráfico de dispersão para visualizar a relação entre o ONI e os focos de calor, com características para cada município. Foi realizado um ajuste de modelos lineares generalizados, usando um modelo de regressão binomial negativa (glm.nb) (Venables e Ripley, 2002), para entender a relação entre o ONI e os focos de calor. Foram extraídos os p-valores dos modelos ajustados e o resumo dos resultados da regressão foi salvo em um arquivo CSV.

Para cada município, um gráfico de dispersão é gerado com a curva de regressão ajustada, mostrando a relação entre o ONI e os focos de calor. Assim, através da combinação dos dados dos focos de calor com os dados médios anuais do ONI, foi possível avaliar a relação entre o fenômeno El Niño e os focos de calor registrados para área estudada. Foram gerados gráficos de GLM com distribuição binominal negativa para visualizar se há uma relação entre o ONI e os focos de incêndio na área de estudo.

## **RESULTADOS:**

### **NÚMERO DE INCÊNDIOS DENTRO E FORA DO PNCD**

Nos últimos 26 anos foram quantificados 28.835 focos de incêndios em todo o PARNA Chapada Diamantina e nos municípios que fazem parte de sua zona de amortecimento. Desse valor total, 7.513 focos foram dentro do PNCD e 21.322 focos foram fora do Parque, nas zonas de amortecimento (Figura 3).

Em 2008 e 2015 houve elevados números de focos, porém, o que o distingue dos outros anos com altos números de focos é que nesses anos, foram valores muito acima da média para a área que pertence ao PNCD.

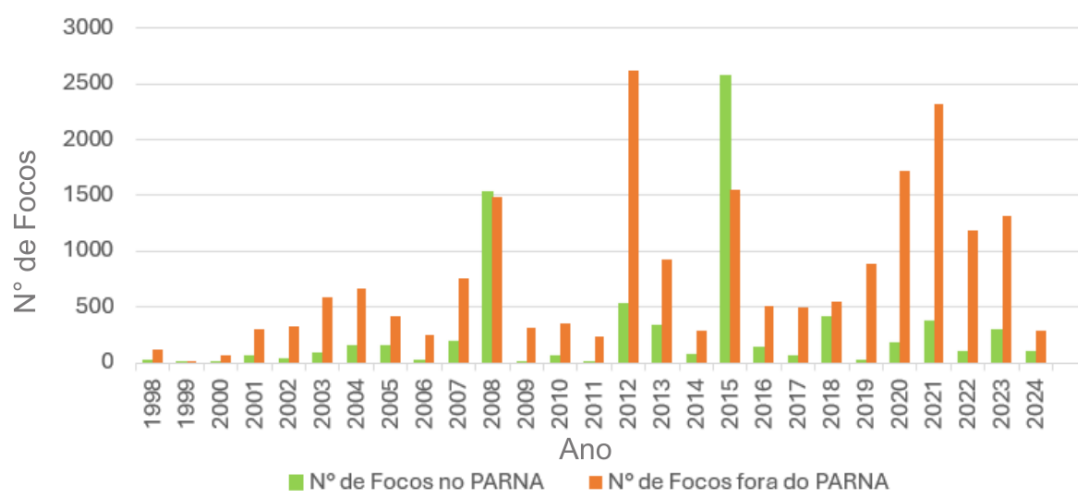


Figura 3. Total com os números de focos de calor anuais dentro e fora do PNCD.

Desse valor total, 5.885 focos ocorreram no município de Andaraí, 2.259 em Ibicoara, 5.026 em Itaeté, 4.994 em Lençóis, 8.369 em Mucugê e 2.302 em Palmeiras. Como é possível observar na tabela 1, a quantidade maior de focos de incêndios concentra-se no município de Mucugê.

MUNICÍPIO	ÁREA DO MUNICÍPIO (ha)	ÁREA DA UC NO MUNICÍPIO (ha)	ÁREA DA UC NO MUNICÍPIO (%)	N° DE FOCOS DENTRO DA UC	N° DE FOCOS FORA DA UC	N° TOTAL DE FOCOS
Andaraí	159.031	29.869	19,50%	777	5108	5885
Ibicoara	81.735	2.770	1,81%	190	2069	2259
Itaeté	133.182	7.037	4,60%	396	4630	5026
Lençóis	128.332	27.075	17,68%	1446	3548	4994
Mucugê	246.215	72.251	47,18%	3593	4776	8369
Palmeiras	73.745	14.143	9,24%	1111	1191	2302

Tabela 1. Área dentro e fora do PNCD e número de focos de calor por município.

A figura 4. compara os valores de dentro do PNCD com os valores de fora do Parque. Essa imagem mostra os pontos (número de focos por ano por município, dentro e fora), a mediana e quartis, e a média representada pelo losango vermelho; cada cor representa um município. Na imagem é possível ver que a densidade média dentro do

PNCD é maior e que a mediana dentro do Parque é menor, o que foi comprovado pelas análises estatísticas ( $p < 0.05$ ; ver abaixo).

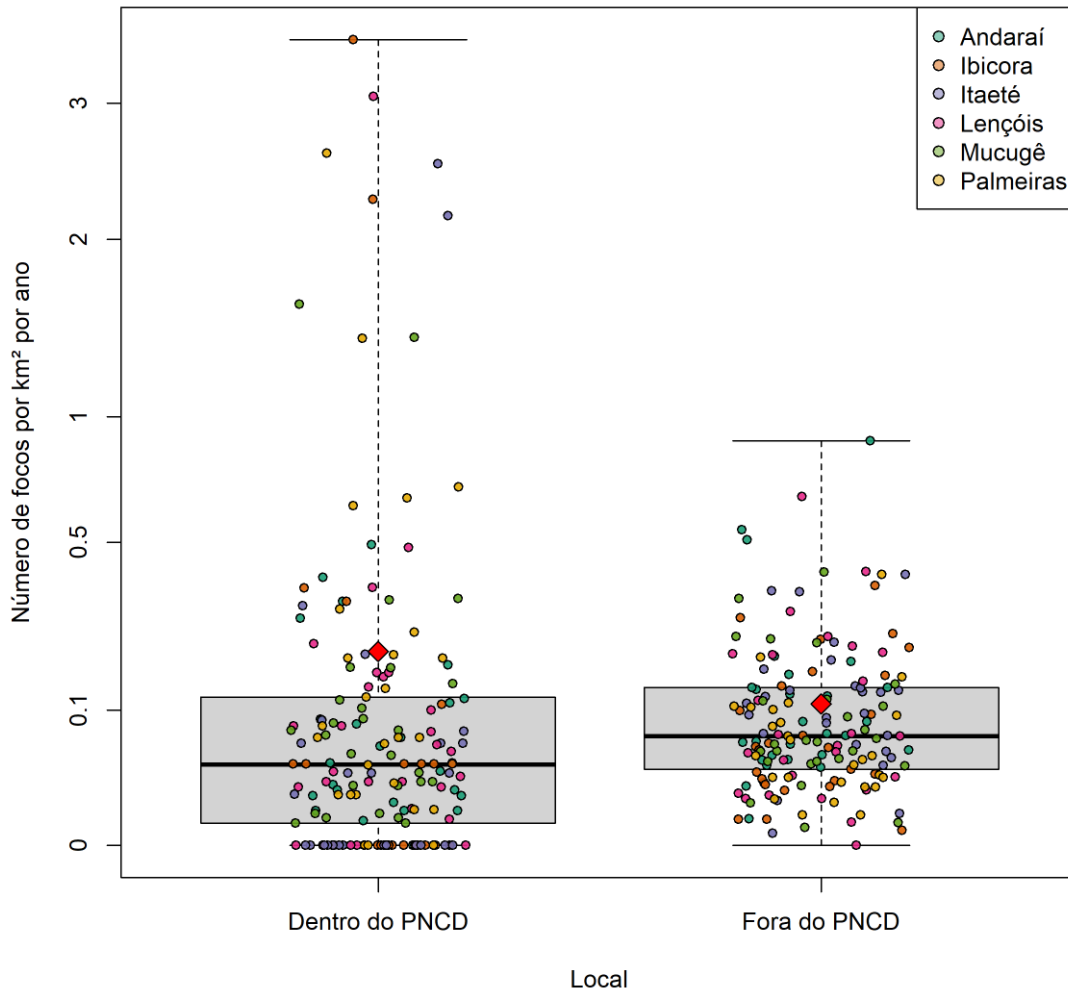


Figura 4. Boxplot representando a média e a mediana dentro e fora do PNCD. Na figura, a linha central representa a mediana, os limites inferior e superior da caixa representam os percentis 25% e 75% respectivamente, os limites das linhas verticais representam os valores mínimo e máximo, e o losango representa a média. Cada ponto no gráfico corresponde ao número de focos em um município em um ano, com os municípios sendo representados por diferentes cores.

Através do teste de permutação foi observado que as médias dentro do PNCD foram maiores do que fora, que as medianas foram maiores fora, e que o desvio foi maior dentro. Após esses resultados, o teste de permutação avaliou as diferenças nas médias, medianas e desvios-padrão das densidades de focos, gerando um *dataframe* com *p* valores (tabela 2).

Parâmetro	Dentro do PNCD	Fora do PNCD	Diferença	P-valor
Média	0,0020	0,0010	-0,00095	0,0155
Mediana	0,00035	0,00065	0,00029	0,0001
Desvio-padrão	0,0054	0,0012	-0,0041	0,0012

Tabela 2. Comparações da média, mediana e desvio-padrão do número de focos de incêndio dentro e fora do Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) por ano por km<sup>2</sup>. Os p-valores foram obtidos por um teste por permutações.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 2, a diferença média negativa (-0,00095) indica que a densidade de focos de calor dentro do PARNA é maior do que fora. É possível notar que dentro do PNCD há alguns valores extremos, fato que colabora de maneira significativa o cálculo da média. O p-valor de 0,0155 sugere que essa diferença é estatisticamente significativa, ou seja, é improvável que essa diferença seja devido ao acaso.

Já a mediana indica que a densidade de focos fora do PNCD é maior que dentro, com uma diferença positiva de 0,00029. O p-valor de 0,0001 mostra que essa diferença entre as áreas é altamente significativa. O desvio-padrão maior dentro do PNCD (-0,0041) sugere uma maior variabilidade na densidade de focos. O p-valor de 0,0012 indica que essa diferença de variabilidade é altamente significativa.

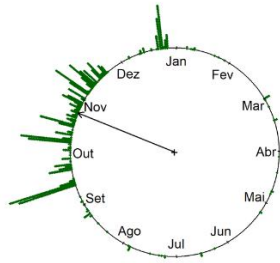
## **SAZONALIDADE DOS FOCOS DE CALOR**

Através do uso de gráficos circulares, uma ferramenta visual utilizada para representar a distribuição dos dados. Assim, constatou-se que os meses em que mais ocorrem incêndios é justamente após a época de seca na região, a qual tem início no mês de setembro. Os meses com maiores focos anuais foram setembro, outubro e novembro, em alguns anos se estendendo até dezembro, sendo esses os meses de maior alerta a riscos de incêndios. É possível visualizar a distribuição sazonal dos focos de incêndio na área de estudo ao longo do ano.

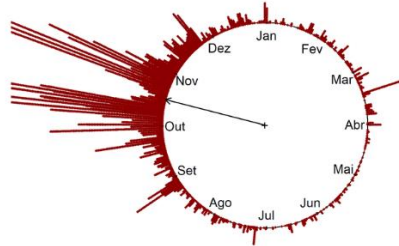
Esses gráficos podem ajudar a identificar padrões temporais nos focos de incêndio, como a concentração em determinados meses. As figuras 05 e 06 mostram esses gráficos, os pontos em vermelho são referentes as áreas fora do PNCD e os pontos verdes são os

focos registrados dentro do PNCD ao longo do período em que o estudo foi realizado. É possível notar que de setembro a novembro, em alguns casos se estendendo até dezembro, são os meses mais críticos, onde tem um maior número de focos de calor, com destaque para as áreas circundantes ao Parque. Para todos os municípios o teste de Rayleigh mostrou que existe uma sazonalidade estatisticamente significativa, tanto dentro quanto fora do PNCD.

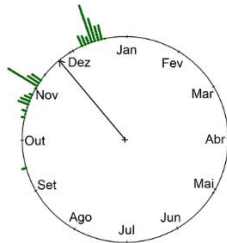
**Andaraí - Dentro do PNCD**



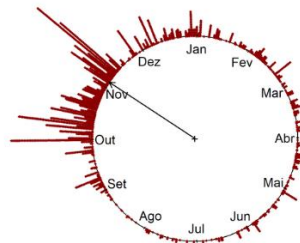
**Andaraí - Fora do PNCD**



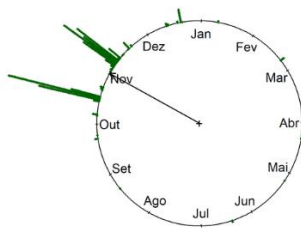
**Ibicoara - Dentro do PNCD**



**Ibicoara - Fora do PNCD**



**Itaete - Dentro do PNCD**



**Itaete - Fora do PNCD**

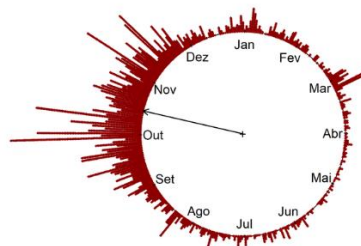


Figura 5. Sazonalidade dos Focos de calor para os municípios de Andaraí, Ibicoara e Itaete, em verde são os focos dentro do PNCD, em vermelho representa os focos de calor fora do PNCD.

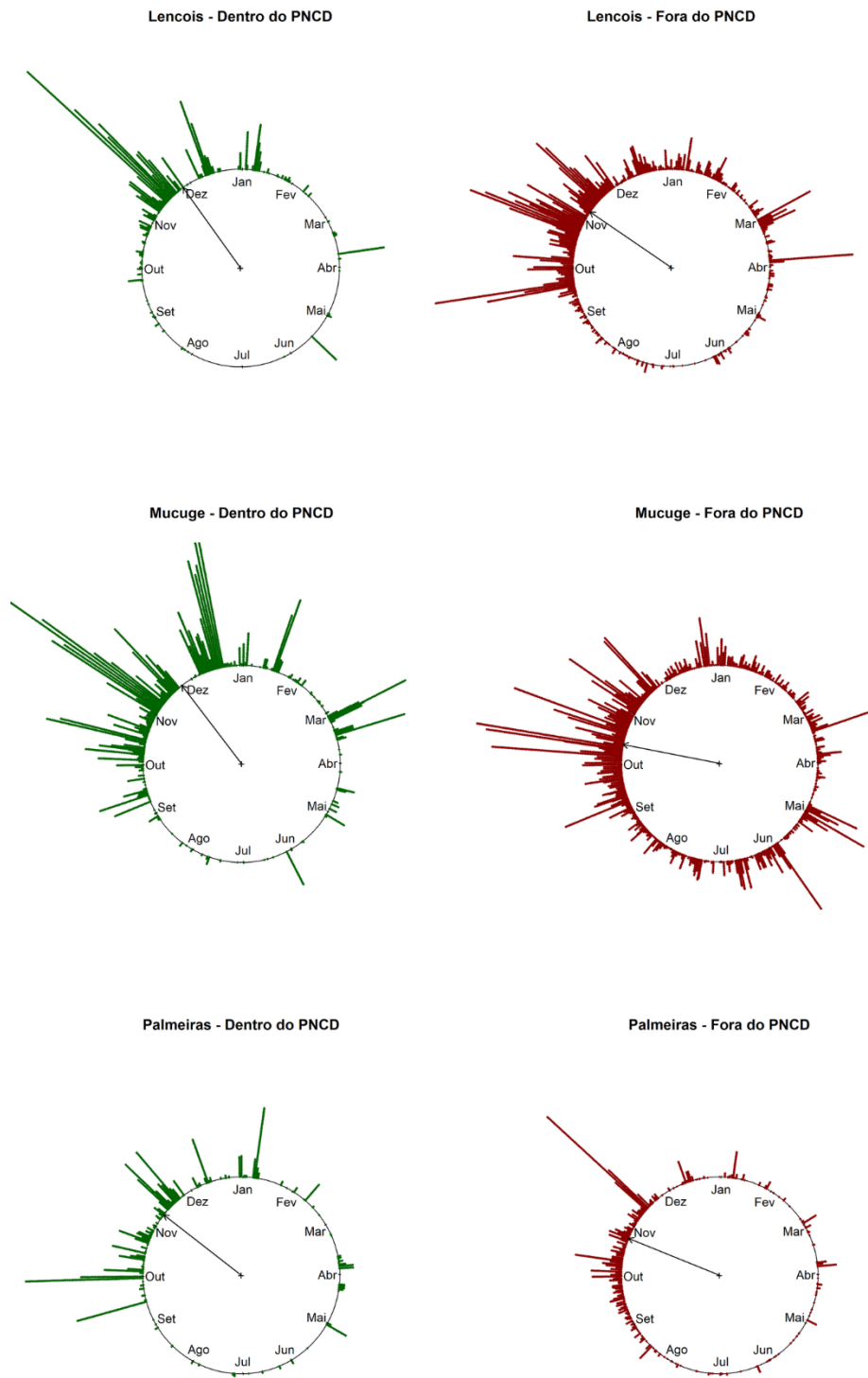


Figura 6. Sazonalidade dos Focos de calor para os municípios de Lençóis, Mucugê e Palmeiras, em verde são os focos dentro do PNCD, em vermelho representa os focos de calor fora do PNCD.

Para analisar os dados temporais dos focos de calor dentro e fora do PNCD, foi utilizada estatística circular e aplicado o teste de Watson-Williams.

<b>Local</b>	<b>Estatística</b>	<b>Data média – dentro do PNCD</b>	<b>Data média – fora do PNCD</b>	<b>P-valor</b>
Andaraí	24.57	23 de outubro	15 de outubro	$p < 0.0001$
Ibicoara	20.19	20 de novembro	03 de novembro	$p < 0.0001$
Itaetê	44.37	30 de outubro	13 de outubro	$p < 0.0001$
Lençóis	165.55	24 de novembro	04 de novembro	$p < 0.0001$
Mucugê	800.77	23 de novembro	11 de outubro	$p < 0.0001$
Palmeiras	47.13	08 de novembro	23 de outubro	$p < 0.0001$

Tabela 3. Resultado do Teste de Watson-Williams, mostrando o local, a estatística de teste, os ângulos médios dentro e fora do PNCD convertidos em data, e o p-valor.

A coluna de Estatística indica a força da diferença entre as médias angulares dos grupos e um p-valor menor que 0.05 indica uma diferença estatisticamente significativa entre as médias angulares dos grupos (dentro e fora do PNCD). Em todos os casos apresentados na imagem, os p-valores são extremamente baixos (próximos de zero, expressos em notação científica com expoentes negativos grandes). Os resultados levam a rejeição da hipótese nula, a hipótese nula é que os ângulos médios dos grupos "Dentro" e "Fora" do PNCD são iguais para um determinado município. Ou seja, os focos de calor tendem a ocorrer em épocas diferentes do ano, dependendo se estão dentro ou fora do parque, para todos os municípios analisados.

No município de Lençóis, por exemplo:

- **Estatística** = 165.55
- **P-valor** =  $p < 0.0001$

Esse p-valor é extremamente pequeno, o que significa que a probabilidade de observar uma diferença tão grande entre os ângulos médios dos focos dentro e fora do parque em Lençóis, se não houvesse diferença real, é praticamente zero. Portanto, rejeitamos a hipótese nula e concluímos que há uma diferença significativa. O mesmo ocorreu para os outros cinco municípios. Observando os gráficos circulares com os ângulos médios, é possível notar que em todos os municípios os incêndios fora do PNCD tendem a ocorrer

mais cedo do que dentro dele, com uma diferença de aproximadamente uma a cinco semanas (Tabela 3).

## RELAÇÃO ENTRE INCÊNDIOS E O FENÔMENO EL NIÑO

Nos gráficos das figuras 7 e 8, é notável que os pontos estão distribuídos de forma aleatória primariamente a partir do resultado do GLM, o que não mostrou uma relação estatisticamente significativa entre o ONI e os focos de calor, logo, não há relação entre o fenômeno El-Niño e os focos de calor registrados para a área estudada. Em todos os municípios os resultados do p-valor foram todos a cima de 0.05, exceto para o município de Lençóis, o qual apresentou o p-valor de 0.04. Cada ponto verde no gráfico representa um ano, é possível notar que para esse município há um outlier elevando a linha.

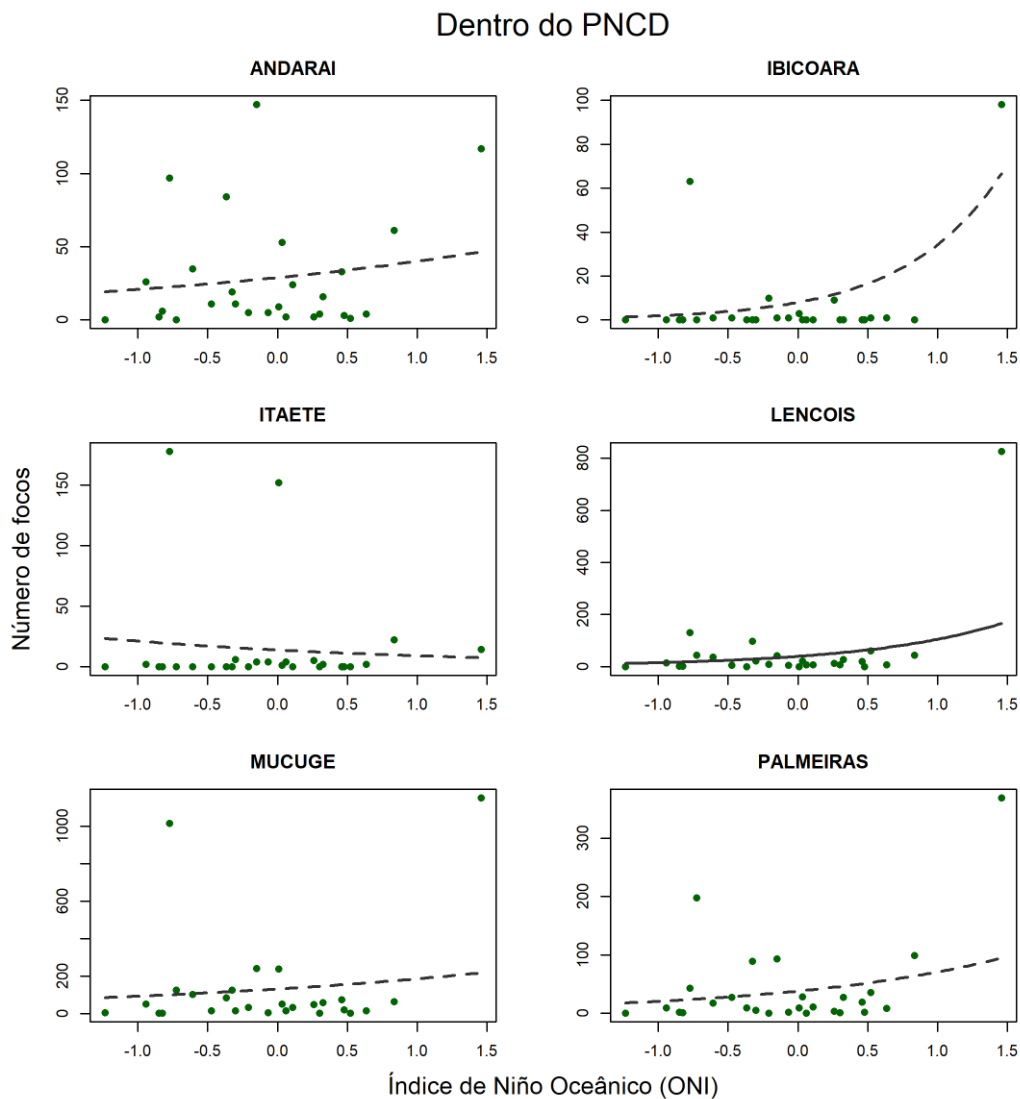


Figura 7. Gráficos de Dispersão mostrando a relação entre duas variáveis: "ONI" no eixo x e "Focos" no eixo y, para as porções dos municípios que estão dentro do Parque Nacional da Chapada Diamantina. As linhas que aparecem nos gráficos representam uma tendência, gerando uma visão mais clara de como as variáveis se relacionam.

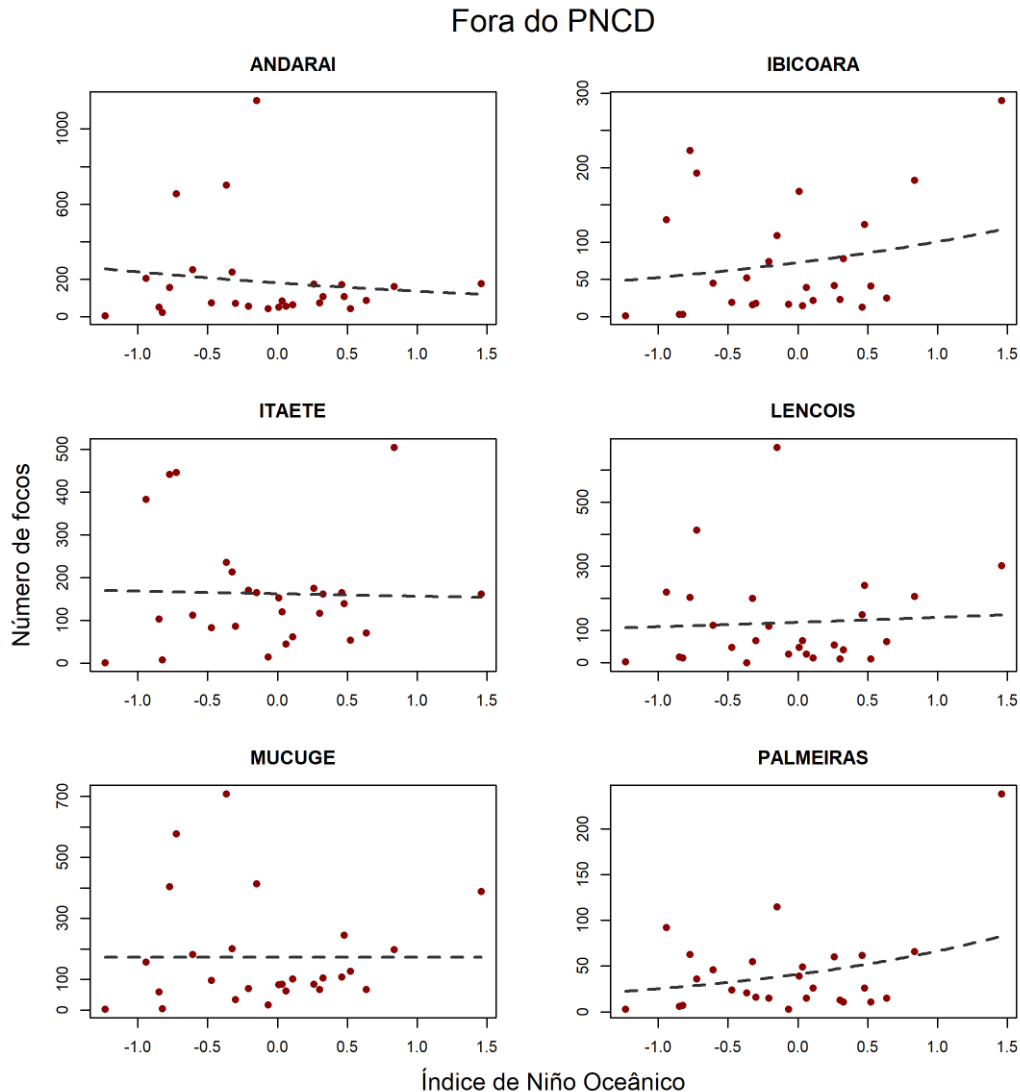


Figura 8. Gráficos de Dispersão mostrando a relação entre duas variáveis: "ONI" no eixo x e "Focos" no eixo y, para as porções dos municípios que estão fora do Parque Nacional da Chapada Diamantina. As linhas que aparecem nos gráficos representam uma tendência, gerando uma visão mais clara de como as variáveis se relacionam.

## DISCUSSÃO:

Os resultados obtidos nessa pesquisa, um estudo que foi realizado ao longo dos últimos 26 anos na área do Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) e nos municípios pertencentes à sua zona de amortecimento, indicam uma grande quantidade de focos de incêndio, totalizando 28.835 ocorrências. Entre essas, uma parcela

significativa de 7.513 foram registradas dentro do PNCD e a maior parte dos focos, totalizando 21.322 fora do Parque, o que ressalta a importância das áreas de amortecimento na preservação dessa unidade de conservação.

As análises estatísticas mostraram que houve diferença significativa na densidade de incêndios para dentro e para fora do PNCD. A média foi maior para dentro do PNCD, indicando que, em alguns anos (2008 e 2015), há um número extraordinário de incêndios dentro do Parque, elevando a média geral. Já a mediana foi menor dentro do PNCD, sugerindo que na maioria dos anos, a quantidade de incêndios dentro do Parque é menor, mas há alguns anos excepcionais com um número muito alto de incêndios que puxam a média para cima. A variação maior dentro do Parque sugere que esses incêndios não seguem um padrão uniforme existindo anos de maior e menor incidência. Nos anos em que houve um número extraordinário de incêndios dentro do Parque, fatores como o clima e mudanças no manejo da vegetação podem ter contribuído para um aumento significativo no número de incêndio, afetando a variabilidade.

Os incêndios são o resultado de interações complexas entre o clima, o fogo, a vegetação e a gestão do território (Abatzoglou et al., 2018). O regime de fogo natural é determinado principalmente pelo clima, sendo este um dos principais fatores que podem influenciar os padrões de incêndios, onde a interação entre precipitação acumulada e sazonalidade determina o acúmulo de combustível durante a estação chuvosa e a umidade do combustível durante a estação seca (Alvarado et al., 2020).

Os anos de 2008 e 2015 apresentaram números de focos de incêndio excepcionalmente altos, muito acima da média anual. Era esperado que esses aumentos sazonais de focos de incêndio fossem atribuídos à influência do fenômeno climático El Niño, que tende a aumentar a temperatura média global e intensificar as condições climáticas secas, exacerbando assim o risco e a ocorrência de incêndios florestais na região (Prestes et al., 2024). Porém, os resultados das análises realizadas para avaliar a correlação entre o ONI e os registros de focos de calor no PNCD, demonstraram que não há uma relação estatisticamente significativa.

Análises anteriores mostraram que a gestão humana da terra, e, portanto, a densidade populacional, tem um impacto significativo na área queimada global (Bistinas et al., 2013). Fatores como o gerenciamento da vegetação também se destacam como um

forte influenciador dos padrões de incêndio. Houve uma remoção de 18.000 cabeças de gado bovino em 2003, conseqüentemente cerca de 32.400 toneladas de matéria seca deixaria de ser consumida anualmente por esses animais, causando um acúmulo de biomassa seca, aumentando o risco de incêndios nos anos seguintes, fato que pode ter influenciado os altos índices de incêndios em 2008, onde cerca de 41% da área do PNCD foi queimada (Mesquita et al., 2011).

A partir desses indicativos é possível ajustar estratégias de manejo eficazes, desenvolvendo um manejo que seja adequado para a área estudada. Neste estudo também ficou clara a importância de realizar estudos periódicos de impacto ambiental para entender as mudanças na dinâmica dos incêndios e adaptar as estratégias conforme necessário. Após analisar a sazonalidade é possível traçar Planos Sazonais, pois durante os períodos críticos, que vai de setembro a dezembro, é fundamental intensificar as medidas de prevenção, como a contratação temporária de brigadistas adicionais, que devem ser capacitados e treinados, assim como realizar campanhas de conscientização e intensificar a fiscalização. A gestão cuidadosa da biomassa seca é crucial, que é possível através da queima controlada, como aceiros, ou alternativas que reduzam o material combustível.

Os resultados das pesquisas mostraram também que as áreas de amortecimento do Parque possuem um alto número de focos de incêndio, e as queimadas costumam ocorrer primeiro nessas zonas de amortecimento que dentro do PNCD, sendo assim, programas de educação e sensibilização nos municípios circundantes são fundamentais para informar sobre a importância da prevenção de incêndios e a preservação do parque. O sensoriamento remoto também é um grande aliado dos gestores de Unidades de Conservação. Ferramentas modernas, como drones e imagens de satélite, podem monitorar a vegetação e detectar focos de incêndio rapidamente, auxiliando na tomada de decisões. Softwares de modelagem que utilizam dados climáticos e históricos de incêndios podem prever áreas de maior risco, permitindo uma abordagem proativa na prevenção (Chen et al., 2024).

Esse levantamento de focos de calor dos últimos 26 anos, mostra um padrão sazonal claro e constante, onde setembro, outubro e novembro são os meses mais críticos para a ocorrência de incêndios, em alguns anos, essa alta incidência se estende até

dezembro. Esta correlação temporal sugere que a seca prolongada aumenta a suscetibilidade da vegetação a ignições, conforme relatado por Silva et al. (2010), que encontraram padrões semelhantes em outras áreas semiáridas do Brasil. A concentração de focos durante o período pós-seca destaca a importância de ações intensificadas de prevenção e combate a incêndios. Porém, vale destacar que os incêndios não se limitam apenas a esses meses. Os dados mostram a presença de focos de calor em quase todos os meses do ano, mesmo que em quantidade menor, indicando que a prevenção e monitoramento precisam ser contínuos.

Assim como já foi citado anteriormente, esses incêndios esporádicos podem ocorrer devido a diferentes fatores como atividades humanas, variações climáticas inesperadas e outras condições locais que afetam a vegetação. A necessidade de um monitoramento anual reforça a ideia de que as estratégias de prevenção não podem ser sazonais. Equipamentos de vigilância e brigadas precisam estar preparados o ano todo, mesmo que de maneira menos intensificada, é preciso estar atento durante todos os meses do ano, considerando tanto os picos sazonais quanto as ocorrências esporádicas, garantindo uma proteção contínua da área. Vale ainda ressaltar que a conscientização da comunidade durante o ano inteiro, é de extrema importância para reduzir o risco de incêndios involuntários.

Ao analisar esse levantamento temporal dos focos de calor, é possível notar que há uma diferença significativa na sazonalidade das queimadas dentro e fora do PNCD. A pesquisa identificou um total de 28.835 focos de incêndio, dos quais 7.513 ocorreram dentro do parque e 21.322 fora do parque. Esse padrão de ocorrência realça a função crítica das áreas de amortecimento na mitigação dos incêndios e na preservação da UC.

Dentro do Parque a ocorrência das queimadas apresenta um comportamento variável, com anos de incidência excepcionalmente alta. Nesses anos, eventos climáticos e mudanças na gestão da vegetação podem ter afetado significativamente a frequência dos incêndios. Como dito anteriormente, a média de incêndios dentro do PNCD foi maior devido a esses anos atípicos, mas a mediana menor indica que a maioria dos anos teve menos focos de incêndio dentro do Parque. Já a ocorrência das queimadas fora do PNCD mostrou um padrão mais constante ao longo dos anos. Embora a quantidade de focos de incêndio tenha sido maior, essa variação não foi tão extrema quanto dentro do parque.

Este aumento na densidade dos incêndios em áreas de amortecimento sublinha a importância de uma gestão contínua e proativa dessas regiões para proteger o parque.

Ao comparar as sazonalidades dentro e fora do PNCD fica clara a necessidade de um manejo sazonal diferenciado para essas duas áreas. Foi notado, por exemplo, que o período de maior concentração da ocorrência dos incêndios fora do PNCD é de aproximadamente uma a quatro semanas anterior a este período dentro do PNCD, o que pode ajudar a direcionar esforços de prevenção dentro e fora do Parque. No interior do parque, é crucial implementar medidas mais rigorosas durante períodos críticos, como a contratação de brigadistas extras e a realização de campanhas de conscientização de setembro a dezembro. Fora do parque, programas de educação e sensibilização são essenciais para reduzir as ocorrências de queimadas nas zonas circundantes.

Os resultados da pesquisa serão apresentados através de palestras para as brigadas voluntárias e nas escolas dos municípios que fazem parte do PARNA Chapada Diamantina, a respeito do fogo e sua importância em ecossistemas inflamáveis, assim como a importância de se manter o regime de fogo regular na região.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS:

O estudo realizado ao longo dos últimos 26 anos no Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) e em seus municípios vizinhos revelou um preocupante número de incêndios, totalizando 28.835 ocorrências, com 7.513 registrados dentro do parque e 21.322 ocorrências fora dele. Esses dados ressaltam a importância das áreas de amortecimento na preservação do parque.

Embora a média de incêndios seja mais alta dentro do PNCD, os incêndios não seguem um padrão uniforme, sendo influenciados por fatores como clima e manejo da vegetação. Por conta da forte relação entre fenômenos climáticos naturais, como o El Niño, com as secas prolongadas na região Nordeste do país, foi feita uma análise para saber se havia relação entre o El Niño que ocorreu entre 2015 e 2016 com o número de focos de calor no PNCD e em suas zonas de amortecimento. A análise mostrou que não há correlação estatisticamente significativa entre o fenômeno climático El Niño e as ocorrências de incêndios no PNCD ou em suas zonas de amortecimento. A remoção de gado em 2003 pode ter contribuído para o acúmulo de biomassa seca, aumentando os riscos de incêndio nos anos seguintes. Esses resultados indicam a necessidade de estratégias eficazes de manejo, como planos sazonais de prevenção, campanhas de conscientização, e gestão cuidadosa da biomassa seca através de queima controlada.

O estudo também destacou a importância do uso de tecnologias como sensoriamento remoto e softwares de modelagem para monitoramento e prevenção de incêndios. As áreas de amortecimento mostraram um alto número de focos de incêndio, reforçando a importância de programas de educação e sensibilização em municípios circundantes.

Os dados revelam um padrão sazonal claro, com meses críticos de setembro a novembro, mas com a presença de incêndios durante todo o ano. Portanto, estratégias de prevenção devem ser contínuas, e a conscientização da comunidade é crucial para a proteção do parque. Equipamentos de vigilância e brigadas devem estar preparados durante todos os meses do ano para garantir uma proteção contínua da área, considerando tanto os picos sazonais quanto as ocorrências esporádicas de incêndios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Abatzoglou, John T., et al. "Global patterns of interannual climate–fire relationships." *Global change biology* 24.11 (2018): 5164-5175.

Anjos, Amanda G., et al. "Patch and landscape features drive fire regime in a Brazilian flammable ecosystem." *Journal for Nature Conservation* 69 (2022): 126261.

Alvarado, Swanni T., et al. "Thresholds of fire response to moisture and fuel load differ between tropical savannas and grasslands across continents." *Global Ecology and Biogeography* 29.2 (2020): 331-344.

Agostinelli, C., and U. Lund. "R package ‘circular’: Circular Statistics (version 0.5-0)" (2023).

Archibald, Sally, et al. "Biological and geophysical feedbacks with fire in the Earth system." *Environmental Research Letters* 13.3 (2018): 033003.

Bistinas, Ioannis, et al. "Relationships between human population density and burned area at continental and global scales." *PloS one* 8.12 (2013): e81188.

Bond, William J., and Jeremy J. Midgley. "Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche." *Trends in ecology & evolution* 16.1 (2001): 45-51.

Borges, Kelly Maria Resende, 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* 11.2 (2021): 168-178.

Bowman, David MJS, et al. "The human dimension of fire regimes on Earth." *Journal of biogeography* 38.12 (2011): 2223-2236.

Castro, Júlia Castelli. "Fogo e fauna: o que sabemos? Revisão bibliográfica sobre os efeitos do fogo nos principais grupos animais do cerrado." (2019).

Chen, Yang, Douglas C. Morton, and James T. Randerson. "Remote sensing for wildfire monitoring: Insights into burned area, emissions, and fire dynamics." *One Earth* 7.6 (2024): 1022-1028.

Coutinho, Leopoldo Magno. "As queimadas e seu papel ecológico." *Brasil florestal* 10.44 (1980): 7-23.

De Araújo Costa, José. "O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil." *EDUCTE: Revista Científica do Instituto Federal de Alagoas* 3.1 (2012).

De Combustível, Comparação de Modelos. "Simulação de comportamento de fogo em zonas florestais no Alentejo Central". (2014).

De Jesus Santos, Valdira, et al. "Composição florística da Serra da Fumaça, norte da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil." *Paubrasilia* 5 (2022): e101-e101.

Demange, Marc, et al. "A graph theoretical approach to the firebreak locating problem." *Theoretical Computer Science* 914 (2022): 47-72.

De Santana Leite, Cândida Caroline Souza, et al. "Análise dos incêndios ocorridos no Parque Nacional da Chapada Diamantina-Bahia em 2008 e 2015 com suporte em índices espectrais de vegetação." *Revista Brasileira de Cartografia* 69 (2017): 1127-1141.

Diniz, Fernanda Rodrigues, et al. "O Impacto do El Niño nos Focos de Incêndio e Desconforto Térmico Humano no Brasil no Período entre o Verão de 2014/2015 e o Outono de 2016." *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ* 42 (2019): 3.

França, Helena. "O fogo no Parque Nacional das Emas". MMA, 2007.

Fidelis, Alessandra, and Vânia Regina Pivello. "Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?." *Biodiversidade brasileira* 1.2 (2011): 12-25.

Garrett Golemund, Hadley Wickham (2011). Dates and Times Made Easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40(3), 1-25.

Gomes, Letícia, Heloisa Sinátora Miranda, and Mercedes Maria da Cunha Bustamante. "How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome?." *Forest Ecology and Management* 417 (2018): 281-290.

Gonçalves, Cezar Neubert, et al. "Recorrência dos incêndios e fitossociologia da vegetação em áreas com diferentes regimes de queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina." *Biodiversidade Brasileira* 1.2 (2011): 161-179.

H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.

Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio. “Parque Nacional da Chapada Diamantina - Plano de Manejo”. Brasília. (2007).

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. *Monitoramento de Queimadas em Imagens de Satélites*, (2022).

Jesus, Janisson Batista de, et al. "Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil." *Ciência Florestal* 30 (2020): 176-191.

Lamont, B. B., & He, T. Fire-proneness as a prerequisite for the evolution of fire-adapted traits. *Trends in Plant Science*, 22(4) (2017). 278-288.

Agostinelli, C., and U. Lund. "Circular Statistics, from “Topics in Circular Statistics” (2001)." *R package Version 0.2-6*. 2018.

Kauffman, J. B., and Christopher Uhl. "Interactions of anthropogenic activities, fire, and rain forests in the Amazon Basin." *Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1990. 117-134.

Keeley, Jon E., et al. "Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits." *Trends in plant science* 16.8 (2011): 406-411.

Manly, Bryan FJ; Alberto Jorge A. Navarro. "Métodos estatísticos multivariados: uma introdução". Bookman Editora, 2008.

Mesquita, Antônio Gilson Gomes. "Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade acreana." *Revista Ramal de Ideias* 1.1 (2008): 2008-2009.

Mesquita, Felipe Weber, et al. "Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat." *Biodiversidade Brasileira* 1.2 (2011): 228-246.

Myers, Norman, et al. "Biodiversity hotspots for conservation priorities." *Nature* 403.6772 (2000): 853-858.

Morelli, Fabiano, Alberto Setzer, and Silvia Cristina de Jesus. "Focos de queimadas nas unidades de conservação e terras indígenas do Pantanal, 2000-2008." *Geografia* 34 (2009): 681-695.

Moreira, Adriana G. "Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil." *Journal of biogeography* 27.4 (2000): 1021-1029.

Mendonça, RC de, et al. "Flora vascular do Cerrado." *Cerrado: ambiente e flora* 2 (1998): 289-556.

Nascimento, Diego Tarley F., and Giuliano Tostes Novais. "Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas: Cerrado

climate: atmospheric dynamics and features, variability and climatic typologies." *Élisée-Revista de Geografia da UEG* 9.2 (2020): e922021-e922021.

Nawaz, M. O., and D. K. Henze. "Premature deaths in Brazil associated with long-term exposure to PM<sub>2.5</sub> from Amazon fires between 2016 and 2019." *GeoHealth* 4.8 (2020): e2020GH000268

Pivello, V. R. et al. "Entendendo os incêndios catastróficos no Brasil: Causas, consequências e a política necessária para evitar tragédias futuras", 2021.

Prestes, Nayane CCS, et al. "Impact of the extreme 2015-16 El Niño climate event on forest and savanna tree species of the Amazonia-Cerrado transition." *Flora* 319 (2024): 152597.

R Core Team. "A language and environment for statistical computing." (*No Title*) (2021).

Rizzini, C. T., and E. P. Heringer. "Studies on the underground organs of trees and shrubs from some southern Brazilian savannas." *Anais da Academia brasileira de Ciências* 34.2 (1962): 235-247.

Sampaio, Alexandre Bonesso, et al. "Manejo do fogo em áreas protegidas." *Biodiversidade Brasileira* 6.2 (2016): 1-3.

Savioli Rocha, Máira Iaê, and Diego Tarley Ferreira Nascimento. "Ocorrência de focos de queimadas em áreas legalmente protegidas do bioma Cerrado (1999/2018)." *Revista Ateliê Geográfico* 16.2 (2022).

Shapiro, Samuel Sanford, and Martin B. Wilk. "An analysis of variance test for normality (complete samples)." *Biometrika* 52.3-4 (1965): 591-611.

Silva, Amanda Cavalcante da, Ronie Silva Juvanhol, and Jonathan da Rocha Miranda. "Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no Bioma Caatinga usando dados do sensor MODIS." *Ciência Florestal* 33 (2023): e70195.

de Souza, Christie Andre, and Michelle Simões Reboita. "Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul." *Terræ Didática* 17 (2021): e021009-e021009.

Suffling, Roger, Anne Grant, and Rob Feick. "Modeling prescribed burns to serve as regional firebreaks to allow wildfire activity in protected areas." *Forest Ecology and Management* 256.11 (2008): 1815-1824.

Tavares, Máira Elisa Ferreira. "Metodologias usadas na quantificação de material combustível no Cerrado." *Revista Vértices* 19.1 (2017): 175-182.

Wickham H, Pedersen T, Seidel D. `_scales`: Scale Functions for Visualization. R package version 1.3.0, (2023).