

EL NIÑO-OSCILAÇÃO SUL E FOCOS DE CALOR EM RORAIMA - BRASIL: ANÁLISE ESTATÍSTICA E CLIMATOLÓGICA PARA PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS

Richard Anderson Silva Lopes ¹
Antônio Carlos Ribeiro Araujo Junior ²

INTRODUÇÃO

A Amazônia, com sua complexa circulação atmosférica e rica biodiversidade, desempenha um papel crucial no equilíbrio ambiental global e na pesquisa científica sobre mudanças climáticas. A análise da dinâmica climática amazônica, sob a ótica do tripé "ritmo climático - ação antrópica - impacto ambiental" proposto por Sant'Anna Neto (2001), oferece uma compreensão abrangente da problemática das secas e incêndios na região. O ritmo climático da Amazônia, caracterizado por variações sazonais e interanuais na precipitação, é significativamente influenciado por fenômenos como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a variabilidade do Atlântico Tropical (Marengo; Nobre, 2009). As ações antrópicas, como o desmatamento e as queimadas, intensificam os efeitos das secas, aumentando a vulnerabilidade da floresta e contribuindo para a ocorrência de incêndios florestais.

Eventos históricos, como as secas de 1926 e 2005, exemplificam esses impactos acentuados pelas atividades humanas, afetando ecossistemas naturais com a redução das vazões dos rios, a mortalidade de peixes e a escassez de água potável (Marengo; Nobre, 2009). No entanto, a relação entre as fases do ENOS e a ocorrência de focos de calor em Roraima ainda é pouco compreendida, apesar da importância desse conhecimento para o planejamento de ações de prevenção e combate a incêndios florestais. Muitas ações de planejamento de combate a incêndios na região atribuem a maior causa dos incêndios à ocorrência de fenômenos como o El Niño, sem uma análise aprofundada da dinâmica climática local e da interação entre os diferentes fatores que influenciam a ocorrência de focos de calor.

A compreensão geográfica do clima, conforme Zavattini e Boin (2013), permite identificar excepcionalidades climáticas e suas diferentes ocorrências no espaço geográfico, equilibrando análises estáticas (quantitativas) e dinâmicas (qualitativas). A climatologia dinâmica, ao integrar elementos climáticos ao estudo das massas de ar e frentes, permite uma

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Roraima- UFRR, subtenente do Corpo de Bombeiros Militar de Roraima, raslopes@gmail.com;

² Professor orientador: Dr. Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior titulação, Faculdade Ciências - UFRR, antonio.araujojunior@ufr.br

visão sistêmica desses fenômenos (Ayoade, 2003). Muniz (2023) complementa que a análise rítmica é essencial para entender a dinâmica dos sistemas climáticos em sua relação com o espaço geográfico.

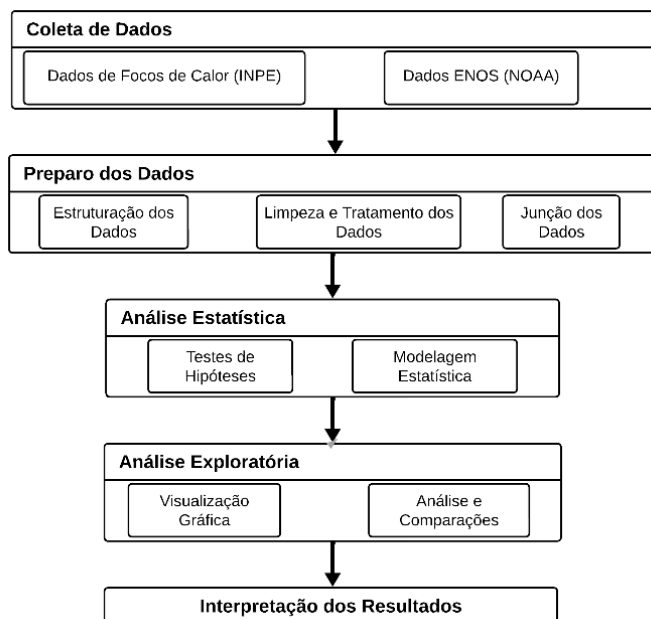
Nesse contexto, Roraima se destaca por suas características climáticas singulares, resultantes de seu posicionamento geográfico e da influência de sistemas atmosféricos e tipos de vegetação distintos. A disponibilidade abundante de água, a cobertura vegetal intensa e o balanço energético, como apontado por Fisch, Marengo e Nobre (1998), são fatores cruciais na análise climática da região. No entanto, análises tradicionais dos dados de focos de calor em Roraima, muitas vezes centradas em valores pontuais e informações quantitativas, podem negligenciar a dinâmica espaço-temporal e a influência da ação antrópica na gênese e intensificação desses eventos.

A presente pesquisa busca preencher essas lacunas no planejamento de ações de prevenção e combate a incêndios florestais em Roraima, investigando os ritmos climáticos sob uma abordagem da climatologia geográfica. O objetivo principal deste estudo é analisar a relação entre as fases do ENOS e a incidência de focos de calor em Roraima, quantificando a variação na ocorrência de focos de calor durante as diferentes fases do ENOS e identificando os padrões temporais dessa relação.

METODOLOGIA

Para investigar se as diferentes condições climáticas (Niña, Niño, Neutro) têm um efeito significativo sobre o número de focos de calor, utilizamos a Análise de Variância (ANOVA), utilizando o software R. Após detectar uma diferença significativa entre os grupos com a ANOVA, aplicou-se o teste post-hoc de Tukey para realizar comparações múltiplas entre as médias dos grupos, o fluxo metodológico foi conforme figura 1. Para o ANOVA, a variável resposta foi o número de focos de calor, enquanto a variável explicativa categórica foi a condição climática (fases climáticas), na hipótese nula (H_0) as médias de focos de calor são iguais em todas as condições climáticas, na hipótese alternativa (H_1), pelo menos uma das médias difere significativamente. O nível de significância adotado foi de 0.05.

Figura 1 - Fluxo metodológico.



Fonte: Autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para investigar se as diferentes condições climáticas (Niña, Niño, Neutro) têm um efeito significativo sobre o número de focos de calor, utilizamos a Análise de Variância (ANOVA) e o teste post-hoc de Tukey, empregando o software R (R Core Team, 2023). A variável resposta foi o número de focos de calor, enquanto a variável explicativa categórica foi a condição climática (fases climáticas). O nível de significância adotado foi de 0,05. Os dados do Índice Oceânico Niño (ONI), dispostos por trimestres, foram estatisticamente reagrupados para determinar a fase climática predominante para cada mês. Para redistribuir os dados trimestrais e determinar a fase climática predominante para cada mês, utilizamos uma abordagem baseada na moda, que é o valor mais frequente em um conjunto de dados (Bussab & Morettin, 2017). A análise dos dados revelou uma variabilidade interanual significativa no ONI de 2009 a 2022, com oscilações entre eventos El Niño e La Niña de intensidades variadas.

Os resultados da análise estatística mostraram que a fase El Niño está associada a um aumento substancial nos focos de calor, enquanto as fases La Niña e Neutro apresentam menor variabilidade e incidência. A diferença significativa entre as médias dos focos de calor nas fases climáticas foi confirmada pelo teste post-hoc de Tukey, que indicou que a fase El Niño tem um impacto significativamente maior em comparação com as fases La Niña e Neutro.

Análise de Variância (ANOVA)

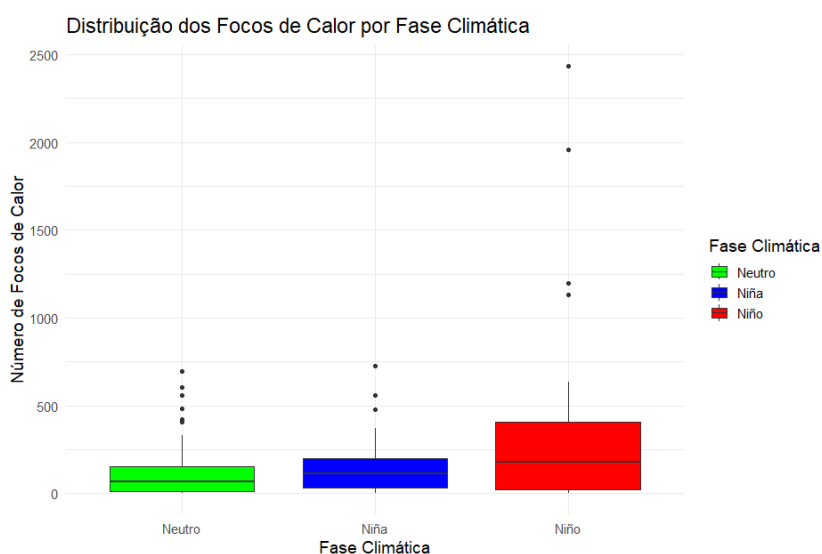
A análise de variância (ANOVA) revelou diferenças significativas ($F = 14,34$; $p = 1,8e-06$) nas médias de focos de calor entre as fases climáticas El Niño, La Niña e Neutro, rejeitando a hipótese nula de igualdade entre as médias. Este resultado evidencia o impacto significativo do clima no número de focos de calor, um indicador relevante utilizado pelas forças de segurança na tomada de decisões estratégicas em operações de combate a incêndios florestais. Contudo, é importante ressaltar a influência de outros fatores, como a relação antrópica e as dinâmicas sócio-espaciais, no agravamento dos incêndios.

Distribuição dos Focos de Calor por Fase Climática

A análise dos boxplots revelou diferenças importantes entre as fases climáticas:

- Fase Neutro: Apresenta baixa variabilidade, com os focos de calor concentrados em torno da mediana, indicando uma distribuição mais uniforme.
- Fase La Niña: Mostra uma variabilidade maior, com uma caixa maior nos boxplots, sugerindo uma dispersão maior dos dados. Isso pode ser explicado pela maior diversidade nos números de focos de calor registrados durante essa fase.
- Fase El Niño: Identificou-se uma incidência significativamente maior de focos de calor. Os resultados do teste post-hoc de Tukey confirmaram que "Niño" tem um impacto significativamente maior nos focos de calor em comparação com "Neutro" e "La Niña".

Gráfico 1: Boxplot dos Focos de Calor por Fase Climática.



Fonte: Autor.

Comparações Múltiplas de Tukey

Os resultados do teste de Tukey indicaram que:

- Niña vs. Neutro: A diferença de médias entre as fases "Niña" e "Neutro" não foi estatisticamente significativa ($p \text{ adj} = 0.9241716$), o que indica não haver uma diferença significativa no número de focos de calor entre essas duas fases.
- Niño vs. Neutro: A diferença de médias entre as fases "Niño" e "Neutro" foi estatisticamente significativa ($p \text{ adj} = 0.0000041$), indicando que a fase El Niño tem um efeito significativamente maior nos focos de calor em comparação com a fase Neutro.
- Niño vs. Niña: A diferença de médias entre as fases "Niño" e "Niña" também foi estatisticamente significativa ($p \text{ adj} = 0.0000199$), indicando que a fase El Niño tem um efeito significativamente maior nos focos de calor em comparação com a fase La Niña.

Tabela 1: Resultados do Teste de Tukey

| Comparação | Diferença de Médias | p adj |
|-----------------|---------------------|-----------|
| Niña vs. Neutro | Não significativa | 0.9241716 |
| Niño vs. Neutro | Significativa | 0.0000041 |
| Niño vs. Niña | Significativa | 0.0000199 |

Fonte: Autor.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) e dos testes post-hoc indicam uma maior incidência de focos de calor na fase El Niño, que é um período de maior risco para a ocorrência de incêndios florestais devido ao aumento das temperaturas e à redução da umidade, criando condições propícias para eclosão de grandes incêndios.

Esses resultados reforçam a necessidade de ações de resposta específicas durante a fase El Niño. No entanto, também destacam a importância de ações de prevenção, mitigação e preparação. Isso inclui a alocação mais eficiente de recursos para o combate aos incêndios, a implementação de intervenções preventivas e a preparação estratégica das forças de segurança. Essas ações devem ser executadas de forma prioritária durante as fases climáticas que estatisticamente se mostram mais favoráveis para a sua implementação, com variabilidade e diversidade nos números de focos de calor que propiciem a sua implementação (Neutro, Niña), garantindo assim a eficácia das estratégias de prevenção e combate a incêndios florestais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa evidencia a influência das fases climáticas do ENOS na incidência de focos de calor em Roraima, destacando a fase El Niño como um período de maior risco. No entanto, apesar de sua importância, a fase El Niño não é o único fator determinante. Outros

elementos, como ações antrópicas e dinâmicas sócio-espaciais, também desempenham papéis prevaletentes na intensificação dos eventos extremos, impactando significativamente os ecossistemas locais.

As implicações práticas dos resultados obtidos incluem a necessidade de uma alocação mais eficiente de recursos para o combate a incêndios, a implementação de intervenções preventivas e a preparação estratégica das forças de segurança. Essas ações são essenciais para mitigar os impactos negativos e melhorar a resposta a incêndios florestais na região. Apesar de a fase El Niño representar um período crítico, ela não é o fator decisivo, ressaltando a importância de considerar uma abordagem mais ampla e integrada.

Futuras pesquisas podem explorar a influência de outros fatores, como ações antropogênicas, dinâmicas sócio-espaciais e outros fenômenos climáticos, além do impacto das mudanças climáticas globais na dinâmica dos focos de calor. A compreensão desses elementos contribuirá para um entendimento mais aprofundado e uma gestão mais eficaz dos recursos naturais e ambientais na região. Em suma, este estudo fornece uma base sólida para a formulação de estratégias mais eficazes de prevenção e combate a incêndios florestais em Roraima, melhorando a resposta imediata a incidentes de fogo e contribuindo para a construção de políticas de longo prazo que visem a sustentabilidade e a resiliência das regiões de savana no extremo norte do Brasil.

Palavras-chave: ENOS; Incêndios Florestais; Focos de Calor; El Niño; Fases Climáticas.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão ao Corpo de Bombeiros Militar de Roraima pelo inestimável apoio e colaboração durante a realização desta pesquisa. A dedicação e o compromisso dos bombeiros na coleta de dados, no fornecimento de informações essenciais e no suporte logístico foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Sua incansável atuação na linha de frente do combate a incêndios florestais e na proteção de nossa biodiversidade é uma inspiração e um exemplo de serviço público exemplar. Sem a sua ajuda, este trabalho não teria sido possível. Muito obrigado!

Gostaríamos também de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima (UFRR) pelo suporte acadêmico e institucional fornecido ao longo desta pesquisa. A orientação e os recursos disponibilizados pelo programa foram cruciais

para a realização deste estudo. Agradecemos aos professores e colegas pelo apoio, pelas discussões enriquecedoras e pela troca de conhecimentos que contribuíram significativamente para o aprimoramento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. 14^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

BAPTISTA, C. R. et al. **Inclusão e escolarização: múltiplas perspectivas**. 2 ed. Porto Alegre: Mediação, 2015.

BUSSAB, Wilton O.; MORETTIN, Pedro A. **Métodos Quantitativos - Estatística Básica**. São Paulo: Atual Editora, 1987, p. 01- 37.

FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. Acta Amazônica, Manaus, v. 28, n. 2, p. 101-128, 1998.

MARENGO, José A.; NOBRE Carlos A. Clima a Região Amazônica. In: CAVALCANTI, I, F, A. FERREIRA, N, J. SILVA, M, G, A, J. DIAS, M, A, F, S (Org). Tempo e Clima no Brasil. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2009, p. 195 – 212.

MUNIZ, F. G. L. **O clima urbano da cidade de Sobral: semiaridez, transformações socioespaciais e produção de riscos e vulnerabilidades socioambientais**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA, 367 f., 2023.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
SANT'ANNA NETO, J. L. História da Climatologia no Brasil: gênese e paradigmas do clima como fenômeno geográfico. Tese (Livre Docência). Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2001.

ZAVATTINI, João Afonso; BOIN, Marcos Norberto. Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013.