

ANÁLISE DO PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FOCOS DE CALOR UTILIZANDO A FUNÇÃO K DE RIPLEY NO PARQUE NACIONAL DE CHAPADA DOS GUIMARÃES – MT

Josamar Gomes da Silva Junior¹

Antonio Carlos Batista²

Alexandre França Tetto³

Marcos Giongo⁴

RESUMO: Os incêndios florestais, podem causar prejuízos diretos e indiretos consideráveis. Atualmente, a análise dos padrões de distribuição espacial é amplamente utilizada como uma importante ferramenta no estudo dos recursos ambientais. O objetivo do presente trabalho é avaliar o padrão espacial dos focos de calor durante 20 anos nos meses mais críticos e entender como os fatores relacionados ao perigo de incêndios podem estar ligados à espacialidade. A hipótese é que exista algum padrão de distribuição espacial dos focos de calor no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães – PNCG. A área de estudo foi o PNCG. Os focos de calor foram obtidos do site do INPE considerando 5 km de área de influência entre os anos 2000 e 2019. A estatística usada foi a função K de Ripley que é uma análise de segunda ordem reduzida. Foram encontrados 5658 focos de calor para o período estudado. Os focos de calor tiveram padrões agregados até a distância “s” aproximada de 3000 metros e, a partir desse ponto a hipótese nula foi aceita para Completa Aleatoriedade Espacial - CAE. Ambientes heterogêneos tendem a apresentar níveis mais elevados de agregação que podem estar ligados a disponibilidade de recursos, principalmente nutrientes e água no solo. A umidade presente no material combustível tem um impacto significativo na sua inflamabilidade e é um reflexo das condições climáticas e meteorológicas locais. O padrão agregado foi observado por outros autores em árvores com diâmetro menores. A influência da umidade nos materiais combustíveis é mais perceptível em combustíveis perigosos de pequenas dimensões. O fato de as árvores heterogêneas estarem ligadas ao padrão agregado inicial dos focos de calor sugere que há uma relação entre as características da vegetação e a ocorrência de incêndios florestais. A espessura do material combustível é um fator importante na propagação do fogo, e entender como o padrão espacial e as características da vegetação afetam a ocorrência dos incêndios florestais no parque pode ser útil para o manejo e conservação da área. Entender os padrões espaciais dos incêndios florestais é fundamental para a prevenção e controle dos incêndios florestais no PNCG.

Palavras-chave: tempo de resposta, incêndios florestais e material combustível

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION PATTERN OF HEAT SPOTS USING THE RIPLEY K FUNCTION IN CHAPADA DOS GUIMARÃES NATIONAL PARK – MT

ABSTRACT: Wildfires can cause considerable direct and indirect damage. Currently, the analysis of spatial distribution patterns is widely used as an important tool in the study of environmental resources. The objective of the present work is to evaluate the spatial pattern of hot spots during 20 years in the most critical months and to understand how factors related to the danger of fires can be linked to spatiality. The hypothesis is that there is some pattern of spatial distribution of hot spots in the Chapada dos Guimarães National Park – PNCG. The study area was the PNCG. The hot spots were obtained from the INPE website considering 5 km of area of influence between the years 2000 and 2019. The statistic used was Ripley's K function, which is a reduced second order analysis. 5658 hot spots were found for the period studied. The hot spots had aggregated patterns up to the approximate distance “s” of 3000 meters and, from that point on, the null hypothesis was accepted for Complete

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, e-mail: josamargomes@yahoo.com.br. Correspondente: Av. Prefeito Lothário Meissner, 632, Laboratório de Incêndios Florestais, Jardim Botânico, Curitiba - PR, 80210-170.

² Professor Doutor, Titular (DE), da Universidade Federal do Paraná - Faculdade de Engenharia Florestal, Campus Curitiba- PR, (UFPR/DECIF) – Área: Incêndios Florestais, e-mail: batistaufpr@gmail.com

³ Professor Doutor, Associado (DE), da Universidade Federal do Paraná - Faculdade de Engenharia Florestal, Campus Curitiba- PR, (UFPR/DECIF) – Área: Incêndios Florestais, e-mail: tetto@ufpr.br

⁴ Professor Doutor, Associado (DE), da Universidade Federal do Tocantins, Faculdade de Engenharia Florestal, Campus Curitiba- PR, (UFT/CEMAF) – Área: Incêndios Florestais, e-mail: mgiongo@gmail.com

Spatial Randomness - CAE. Heterogeneous environments tend to present higher levels of aggregation, which may be linked to the availability of resources, mainly nutrients and water in the soil. The moisture present in the combustible vegetation has a significant impact on its flammability and is a reflection of local climate and weather conditions. The aggregate pattern was observed by other authors in trees with smaller diameters. The influence of moisture on combustible vegetations is most noticeable in small hazardous combustibles. The fact that heterogeneous trees are linked to the initial aggregate pattern of hot spots suggests that there is a relationship between vegetation characteristics and the occurrence of wildfires. The thickness of the combustible vegetation is an important factor in the propagation of fire, and understanding how the spatial pattern and vegetation characteristics affect the occurrence of wildfires in the park can be useful for the management and conservation of the area. Understanding the spatial patterns of wildfires is fundamental for the prevention and control of wildfires in the PNCG.

Keywords: timelag, wildfires, combustible vegetation

INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais podem causar prejuízos diretos e indiretos consideráveis, afetando as árvores, o solo, a fauna, as propriedades e a vida humana, podendo ocasionar o assoreamento de rios, diminuição do fluxo de cursos d'água, inundações, erosões e perdas no setor de turismo e recreação. Como resultado, os prejuízos financeiros podem ser até dez vezes maiores do que os impactos diretos (SOARES e BATISTA, 2007).

Atualmente, a análise dos padrões de distribuição espacial é amplamente utilizada como uma importante ferramenta para compreender o comportamento de vários fenômenos. Nas ciências florestais, um dos principais usos desse método é no estudo da disposição das árvores, especialmente em seu ambiente natural. O conhecimento dos padrões de distribuição espacial pode fornecer informações sobre a ecologia, ajudar a definir estratégias de manejo e conservação, facilitar processos de amostragem ou simplesmente esclarecer a estrutura espacial de uma espécie. No entanto, para a maioria das espécies presentes nas florestas brasileiras, ainda há poucas informações disponíveis sobre esse aspecto (ANJOS ET AL., 1998; BAILEY E GATRELL, 1995; HAASE, 1995; BATISTA, 1994; CRESSIE, 1993; DIGGLE, 1983; RIPLEY, 1981).

O termo foco de calor indica um pixel de incêndio florestal ou um foco ativo, que pode representar um incêndio florestal, vários pequenos incêndios ou um grande incêndio florestal. As regiões no Brasil onde as queimadas são mais comuns são o arco do desmatamento na Amazônia, a porção leste da região nordeste do país no bioma Cerrado e a região centro-sul do Brasil. Nesta última, os focos de calor surgem principalmente a partir da queima da palha da cana-de-açúcar e em áreas de pastagem gerenciadas para criação de gado (PIROMAL et al., 2008; FRANÇA et al., 2012).

O objetivo do presente trabalho é avaliar o padrão espacial dos focos de calor durante 20 anos nos meses mais críticos e entender como os fatores relacionados a perigo de incêndios podem estar relacionados a esses padrões.

A hipótese é que exista algum padrão de distribuição espacial dos focos de calor no Parque nacional de Chapada dos Guimarães – PNCG.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo foi o Parque nacional de Chapada dos Guimarães – PNCG, localizado no estado do Mato Grosso, entre os municípios de Cuiabá e Chapada dos Guimarães, Figura 1 (BRASIL, 1982).

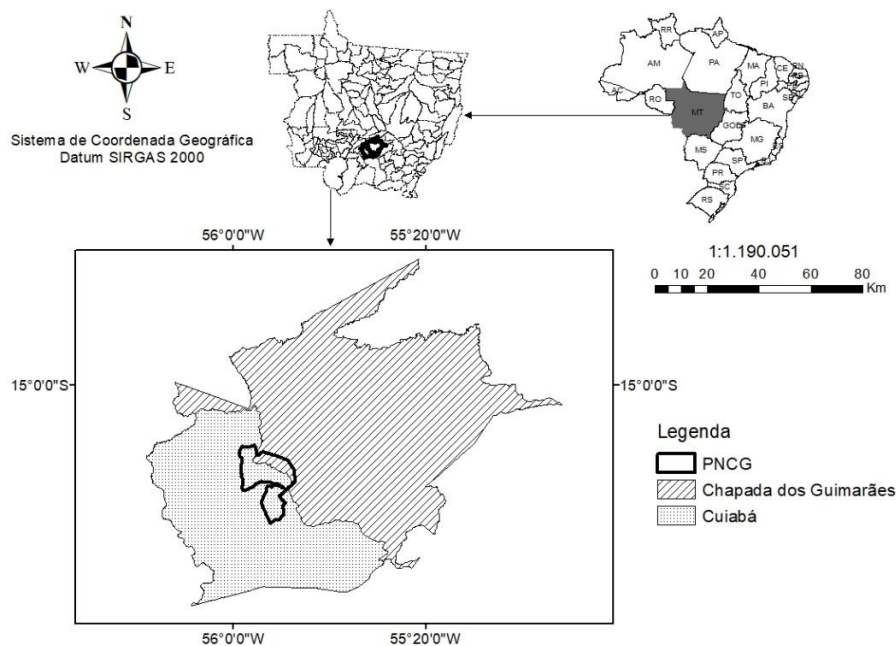


FIGURA 1 - Localização do PNCG. Fonte: autor (2023).

A área do parque está inserida 61,2% no município de Cuiabá e 38,8% no município de Chapada dos Guimarães. O PNCG foi criado a partir do decreto nº 97656 de 12 de abril de 1989 e possui uma área de 32630 ha ou 326,30 km² IBAMA (2002).

O clima do local é de transição devido as diferenças de altitude nas regiões da depressão Cuiabana e do Planalto (IBAMA, 1995). Pela classificação de Köppen o clima está inserido no tipo Aw para o município de Cuiabá e Cw, para o município de Chapada dos Guimarães.

Focos de Calor e período estudado

Os focos de calor, para a área do PNCG entre os anos 2000 e 2019, foram obtidos do site do INPE, considerando cinco quilômetros de área de influência. De acordo com BRASIL, 2010 e MACHADO NETO, 2016, observou-se que 75,29% das ocorrências de incêndios no PNCG (INPE, 2022) ocorrem entre julho e outubro.

Atualmente o CPTEC-INPE utiliza 31 satélites ambientais de Órbita Polar e geoestacionários que compõem sua rede na América do Sul. Os satélites meteorológicos são: NOAA, GOES, AQUA (EOS PM-1), TERRA (EOS AM-1), METEOSAT, ATSR e TRMM.

Função K de Ripley

A estatística usada no presente estudo foi a função K de Ripley, que consiste em uma análise de segunda ordem reduzida e considerada uma estatística descritiva de padrão espacial (RIPLEY, 1977). O software usado foi o R cran (R CORE TEAM, 2023) com o pacote spatstat baseado na correção isotrópica de bordadura Ripley (1977):

$$\hat{K}_{(s)} = \frac{1}{\hat{\lambda}n} \sum_i^n = \sum_{i \neq j}^n = 1w_I^{-1}(x_i, x_j)I(\|x_i - x_j\| < s)$$

Onde:

- n = número de focos de calor na região de estudo;
- x_i e x_j = coordenadas dos pontos do mapa;
- $\|x_i - x_j\|$ = distância euclidiana entre as localizações x_i e x_j ;
- s = vetor arbitrário de distâncias;
- $w_I(x_i, x_j)$ = é a função de correção isotrópica de bordadura que representa proporção da circunferência com centro em x_i e com raio $\|x_i - x_j\|$ fora da área de estudo que pode ser definida para qualquer polígono convexo;
- $I(U)$ = função indicadora que assume valor 1 (um) quando a condição U for verdadeira e zero quando falsa.

O valor de λ , que é um estimador não viciado de intensidade do processo, é obtido através da fórmula:

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{\|A\|}$$

n = número de focos de calor;

$\|A\|$ = quantitativo da área de estudo

Em áreas de estudo retangulares, o estimador de Ripley é um estimador imparcial da função K para distâncias menores que a metade do menor lado do retângulo (DIGGLE, 1983). Por essa razão, a escala de distâncias em coordenadas UTM utilizada neste estudo foi de 604641,640 a 634874,540 metros a leste e 8283288,25 a 8322013,30 metros ao norte datum SIRGAS 2000 fuso 21. Os resultados foram transformados na função $L_{(s)}$ para facilitar a visualização e foi elaborado um gráfico da função $L_{(s)}$ de acordo com a fórmula relacionada à distância s :

$$\hat{L}_s = \frac{\sqrt{K_s}}{\pi - s}$$

Na função K de Ripley quando a hipótese nula é aceita na função univariada significa que os pontos são de Completa Aleatoriedade Espacial - CAE (BATISTA, 1994). Nesse estudo a CAE foi avaliada com envelopes de confiança de 1000 simulações Montecarlo a 99% de confiança. Assim a avaliação da CAE foi realizada de forma gráfica com a finalidade de aceitar ou não a hipótese nula (RIPLEY, 1979).

A hipótese nula significa que os pontos são CAE para função univariada (BATISTA, 1994). A análise da CAE é feita de forma gráfica para facilitar a visualização dos desvios em relação à hipótese nula (RIPLEY, 1979).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo foram encontrados 5658 focos de calor para o período selecionado, como podem ser observados na Figura 2.

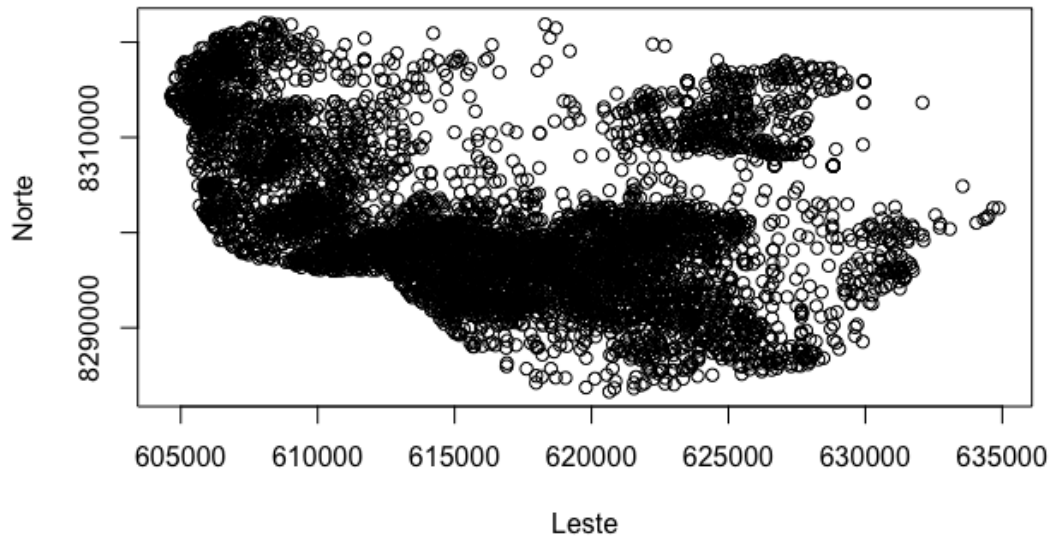


FIGURA 2 - Focos de calor no PNCG

A função K de Ripley calculada para os focos de calor dentro no PNCG com os envelopes de confiança estão presentes na Figura 3. O limite de confiança superior e inferior em cinza indica o envelope e serve como referência para determinação da hipótese CAE. A linha tracejada vermelha é função K teórica e a linha preta é a função K de Ripley transformada observada nesse estudo.

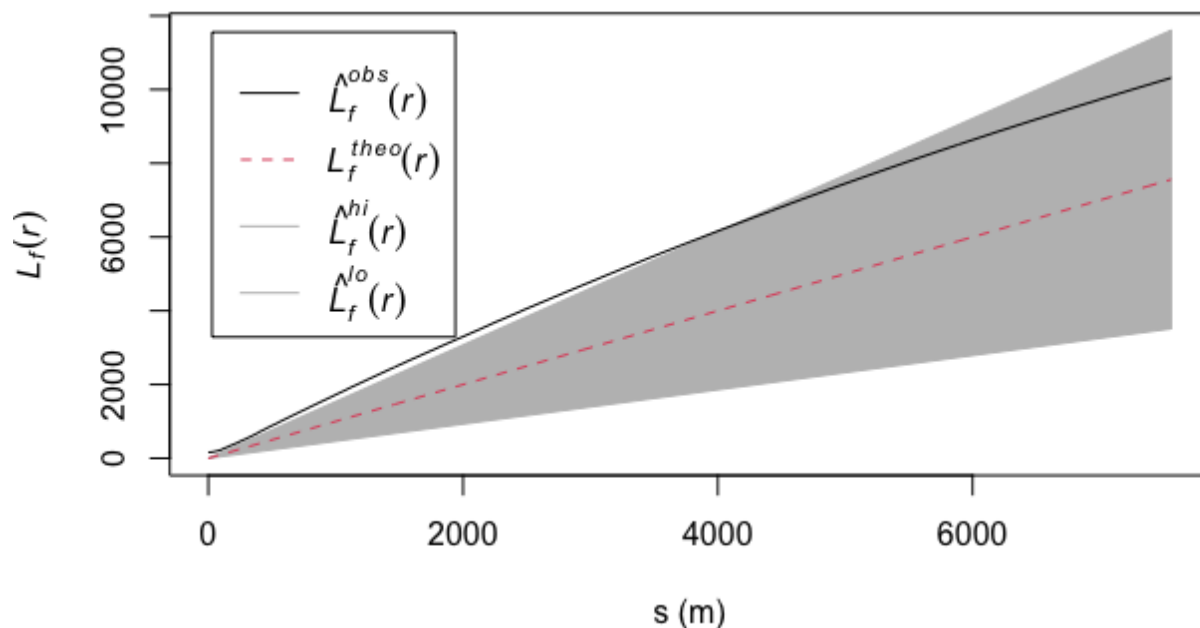


FIGURA 3 - Padrão espacial observado para focos de calor no PNCG

Os focos de calor no PNCG tiveram padrões agregados até a distância s aproximada de 3000 metros e a partir desse ponto a hipótese nula foi aceita para CAE. Ambientes que são heterogêneos tendem a apresentar níveis mais elevados de agregação, enquanto áreas que são mais homogêneas tendem a ter níveis mais baixos de agregação (CONDIT et al., 2000). O padrão agregado inicial foi encontrado em estudos semelhantes envolvendo padrões espaciais de árvores (HAASE et al., 1997; BUSING, 1998; BAROT et al., 1999; GRAU, 2000; EDMAN e JONSSON, 2001).

Os níveis de agregação podem estar ligados à disponibilidade de recursos, principalmente nutrientes e água no solo. (COLLINS e KLAHR, 1991; GRAU, 2000). A quantidade de umidade presente no material combustível tem um impacto significativo na sua inflamabilidade e é um reflexo das condições climáticas e meteorológicas locais. A inflamabilidade está relacionada com a facilidade de combustão e com o tempo que o material leva para incendiar (BEUTLING, 2005). A umidade presente também é um fator determinante na quantidade de calor necessário para iniciar a ignição. Combustíveis vivos e mortos apresentam diferentes mecanismos de retenção de água e, portanto, apresentam respostas distintas às variações climáticas (BATISTA, 1990).

O padrão espacial observado em árvores com diâmetro menor que 10 cm foi agregado até 50 m, aleatório de 50 m a 110 m e uniforme a partir deste ponto (CAPRETZ et al, 2012). Portanto, pelos resultados pode-se inferir que a umidade da vegetação e dos combustíveis florestais está fortemente associada com os incêndios florestais, já que o conteúdo de umidade é a mais importante propriedade que controla a inflamabilidade dos combustíveis vivos e mortos e é o reflexo do clima e das condições atmosféricas.

A influência da umidade nos materiais combustíveis é mais perceptível nos combustíveis finos, classificados perigosos, que são os principais responsáveis pela disseminação do fogo, uma vez que respondem mais rapidamente às variações meteorológicas. Além disso, os combustíveis podem ser classificados com base em seu tempo de resposta ou "timelag", que se refere à quantidade de tempo necessária para que uma substância perca ou

ganhe cerca de dois terços de sua umidade inicial. O “timelag” está diretamente relacionado com as dimensões do combustível, e, portanto, materiais finos (perigosos) como folhas e pequenos ramos variam o teor de umidade muito rapidamente (DEEMING et al.,1977; SOARES et al., 2017).

CONCLUSÃO

- O fato de as árvores heterogêneas estarem ligadas ao padrão agregado dos focos de calor no PNCG, sugere que há uma relação entre as características da vegetação e a ocorrência de incêndios florestais na área;
- A espessura do material combustível da vegetação é um fator importante na propagação do fogo, e entender como o padrão espacial e a características da vegetação afetam a ocorrência de incêndios pode ser útil para o manejo e conservação da área.
- Entender os padrões dos incêndios florestais é fundamental para a prevenção e controle, que trazem impactos significativos na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo PNCG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, A.; COUTO, H. T. Z.; BATISTA, J. L. F.; REIS, A. Análise do efeito de um manejo em regime de rendimento sustentável sobre o padrão de distribuição espacial do palmitero (*Euterpe edulis* Martius), utilizando a Função K de Ripley. **Revista Árvore**, v.22, n.2, p.215-225, 1998.

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1995. 413p.

BAROT, S. et al. Demography of a savanna palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analyses. **Ecology**, Oxford, v. 80, p. 1987-2005, 1999.

BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1990. 115 p.

BATISTA, J. L. F. **Spatial dynamics of trees in a Brazilian Atlantic tropical forest under natural and managed conditions**. Boston, 1994. 327p. Tese (Doutorado). Washington College of forest Resources. University of Washington.

BEUTLING, A. **Caracterização para modelagem de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze**. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BRASIL, Resolução CONAMA nº428, de 18 de junho de 1986. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o § 3o do artigo 36 da Lei no 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. Publicado no **D.O.U.** de 20 dezembro 2010.

BRASIL. **Folha SD.21 Cuiabá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia/ Departamento Nacional de Produção Mineral, 1982. Projeto RADAMBRASIL.

BUSING, R. Composition, structure and diversity of cove forest stands in the great smoky mountains: a patch dynamics perspective. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 9, p. 881-890, 1998.

CAPRETZ, R. L. et al. O uso de análises de segunda ordem (função k de Ripley) para a detecção do padrão espacial em três áreas submetidas a manejos silviculturais diferentes na região de Paragominas, Pará. In: REUNIÃO DA RBRAS, 48.; SEAGRO, 10., 2003, Belo Horizonte. **Anais ... Lavras**, Universidade Federal de Lavras, 2003, p.192-196.

COLLINS, S.; KLAHR, S. Tree dispersion in oak- dominated forests along an environmental gradient. **Oecologia**, Berlim, v. 86, p. 471-477, 1991.

- CONDIT, R. et al. Recruitment near conspecific adults and the maintenance of tree and shrub diversity in a neotropical forest. **American Naturalist**, Chicago, v. 140, p. 261-286, 1992.
- CRESSIE, N. A. C. **Statistic for spatial data**. New York: John Wiley, 1993. 900p.
- DEEMING, J. E.; BURGAN, R. E.; COHEN, J. D. **The National Fire Danger Rating System**. USDA Forest Service Research Paper. n. 84. 1977.
- DIGGLE, P. **Statistical analysis of spatial point patterns**. 2. ed. London, Arnold, 2003. 159 p.
- DIGGLE, P. J. **Statistical analysis of spatial point patterns**. London: Academic Press, 1983. 148p.
- EDMAN, M.; JONSSON, B. Spatial pattern of downed logs and wood-decaying fungi in an old-growth *Picea abies* forest. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 12, p. 609-620, 2001.
- FRANÇA, D. A.; LONGO, K. M.; NETO, T. G. S.; SANTOS, J. C.; FREITAS, S. R.; RUDORFF, B. F. T.; CORTEZ, E. V.; ANSELMO, E.; CARVALHO JR., J. A. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180. 2012.
- GRAU, H. Regeneration patterns of *Cedrela lilloi* (Meliaceae) in Northwestern Argentina subtropical montane forests. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 16, p. 227-242, 2000.
- HAASE, P. et al. Spatial pattern in *Anthyllis cytisoides* shrubland on abandoned land in southeastern Spain. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 8, p. 627-634, 1997.
- HAASE, P. Spatial pattern analysis in ecology on Ripley's K-function: introduction and edge correction. **Journal of vegetation science**, v.6, p.575-582, 1995.
- IBAMA. 1995. **Plano de Ação Emergencial do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães**. Disponível na sede administrativa do PNCG.
- INPE. 2022. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), **BD Queimadas - Banco de queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: set. 2022.
- IBAMA. **Relatório de Ocorrência de Incêndios Florestais**. Brasília: PREVFOGO, 2002. Documento Técnico.
- MACHADO NETO, A. P. **Diagnóstico dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães no Período de 2005 a 2014**. 147f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- PIROMAL R. A. S., RIVERA-LOMBARDI, R. J., SHIMABUKURO, Y. E., FORMAGGIO, A. R., KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**. 2008;38(1):77-84.

CORE, R.; TEAM, R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2023.

RIPLEY, B. D. **Modelling spatial patterns.** *Journal of the Royal Statistic Society*, v.39, p.172-212, 1977.

RIPLEY, B. D. **Spatial statistics.** London: John Wiley. 1981. 252p.

RIPLEY, B. D. **Tests of ‘randomness’ for spatial point patterns.** *Journal of the Royal Statistic Society B*, v.41, p.368-374, 1979.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Incêndios florestais:** Controle, efeitos e uso do fogo. Ronaldo Viana Soares, Antonio Carlos Batista e Alexandre França Tetto editores independentes, Curitiba, ed. 2, p. 255, 2017.