

## INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE ESTRADAS NA OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR NA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE

Igor José Malfetoni Ferreira<sup>1</sup>, Maria Isabel Sobral Escada<sup>1</sup>, Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758 – Jardim da Granja, São José dos Campos – SP, 12227-010, Brasil; {igor.malfetoni, isabel.escada, luiz.aragao}@inpe.br

### RESUMO

Atividades humanas estão entre as principais causas de incêndios florestais. A presença de estradas e proximidade de áreas urbanizadas são fatores que potencializam a ocorrência de *hotspots* de incêndios florestais. Este estudo analisou a dinâmica de ocorrência de focos de calor em relação às métricas de configuração da paisagem, proximidade e densidade de estrada. Para isso, foram calculadas as métricas que caracterizam a paisagem e analisada sua relação com o número de focos de calor, aplicando-se um modelo de regressão linear simples. O modelo composto apenas pela densidade de estradas apresentou a melhor resposta à variável dependente ( $R^2 = 0,51$ ). A ocorrência de focos pode estar relacionada às áreas urbanizadas. Assim, conclui-se que, na região estudada, a ocorrência de focos de calor não está relacionada à estrutura da paisagem.

**Palavras-chave** – Ecologia de paisagem, métricas, sensoriamento remoto.

### ABSTRACT

*Human activities are one of the main causes of wildfire occurrence. Aspects such as the presence of roads or proximity to urbanized areas are factors that offer great potential for the occurrence of hotspots linked to wildfires. In this context, this study analyzed the relationship between the occurrence of fire hotspots, landscape structure, proximity and density of roads. To this purpose, metrics that characterize the landscape were calculated and the relation with the number of hot spots was analyzed by applying a simple linear regression model. The model composed only by the road density presented the best response to the dependent variable ( $R^2 = 0.51$ ). The hotspot occurrence may be related to the urbanized areas. Thus, it is concluded that in the studied region, the occurrence of hotspots is not related to the landscape structure.*

**Keywords** — Landscape ecology, metrics, remote sensing.

### 1. INTRODUÇÃO

A ação antrópica e eventos climáticos são os principais agentes responsáveis pela alteração no regime de secas em

florestas tropicais no Brasil, afetando diretamente a dinâmica de ocorrência de queimadas sobre remanescentes de floresta [1]. As queimadas acarretam desequilíbrio dos ecossistemas e do microclima regional devido, principalmente, ao impacto sobre a biodiversidade e balanço hidrológico, além da emissão de carbono para a atmosfera, uma vez que florestas tropicais podem ser consideradas como estoques de carbono terrestre [2, 3 e 4].

O risco de fogo pode ser entendido como a probabilidade de sua ocorrência dado a ameaça e a susceptibilidade das áreas, levando em consideração, portanto, fatores que influenciam a ignição, propagação e extinção [5]. A ameaça está relacionada a causa do fogo, podendo ocorrer a partir de fenômenos climáticos ou antrópicos como o manuseio do fogo em diversos usos do solo para práticas agrosilvopastoris [6], por exemplo. A presença de vias de acesso e proximidade com áreas urbanizadas são outros fatores que também oferecem grande potencialidade para a ocorrência de incêndios, e consequentemente devido à proximidade de áreas naturais, propagação de incêndios florestais [7, 8 e 9].

Outro fator que afeta o equilíbrio dos ecossistemas, bem como alterações de condições microclimáticas é o processo de fragmentação dos biomas [2]. A expansão da agricultura e pecuária extensiva, a agroindústria e a urbanização são as principais atividades responsáveis pela redução das reservas naturais e a introdução acidental ou deliberada de espécies exóticas que vem devastando os remanescentes florestais [10 e 11], principalmente sobre domínio da Mata Atlântica. Como resultado dessa mudança, tem-se a redução em tamanho de uma mancha florestal e o aumento na quantidade de ambientes de transição entre o centro do fragmento e sua matriz circundante, influenciando diretamente na interação da diversidade local [12 e 13]. Vale ressaltar que dos biomas brasileiros, a Mata Atlântica é um dos biomas mais fragmentados, pois dos 150 milhões de hectares iniciais que o constituíam, restam apenas 12% distribuídos em forma de remanescentes florestais que são, em sua maioria (83,4%), menores que 50 ha [11].

Deste modo, é importante avaliar as causas da ocorrência de focos de calor para o entendimento da dinâmica de possíveis queimadas, juntamente com o processo de fragmentação florestal como forma de subsidiar tomada de decisões em estudos que visam à conservação da biodiversidade. A utilização de dados provenientes do sensoriamento remoto, aplicação de técnicas de geoprocessamento e cálculo de métricas da paisagem

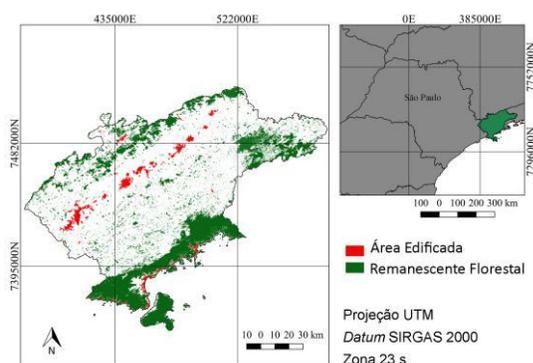
permitem a avaliação de grandes áreas de forma rápida e robusta [14].

Neste contexto, este estudo analisou a dinâmica de ocorrência de focos de calor em relação às métricas de configuração da paisagem, proximidade e densidade de estradas na região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte do estado de São Paulo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) do estado de São Paulo (Figura 1). A região foi criada por meio da Lei estadual complementar 1.166/2012 e é composta por 39 municípios. Com área de 16.180 km<sup>2</sup>, a região estudada é responsável por 3,7% do PIB estadual e 5,5% da população do estado com taxa de crescimento anual de 1,37% em 2010 [15].

O clima da região, segundo a classificação de Koppen, se caracteriza em subtropical de inverno seco e verão quente na porção no Alto e Médio vale (Cwa), clima subtropical de altitude com inverno seco e verão ameno (Cwb) na região da serra da Bocaina, e na serra da Mantiqueira e região de Campos do Jordão, o clima temperado com verão ameno, chuvas bem distribuídas sem estação seca (Cfb). A região está inserida em uma área de domínio ecológico da Mata Atlântica e abriga 42% dos remanescentes florestais do estado de São Paulo [16]. A vegetação da RMVPLN compreende as fitofisionomias de Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual e campos de altitude [17].



**Figura 1 – Localização da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte no estado de São Paulo.**

Os focos de calor usados para este trabalho foram obtidos entre janeiro e dezembro de 2016 por meio da plataforma *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS). Os dados são provenientes do sensor VIIRS, ajustados para 375 metros de resolução espacial. O número de focos de calor acumulado foi usado como métrica de ocorrência. Vale ressaltar que apenas os focos de calor com níveis de confiança nominal e alto foram usados a fim de eliminar os focos de calor gerados por brilho solar.

Com base na literatura, foram escolhidas as métricas que mais se relacionam com a ocorrência de focos de calor [9, 18, 19 e 20]. Para este fim, utilizou-se o mapeamento de remanescentes florestais oriundos do Projeto S.O.S. Mata Atlântica produzido e atualizado por interpretação visual usando imagens orbitais OLI/LANDSAT 8 [21]. A partir dos dados de remanescentes foi gerado um mapa de cobertura do solo composto de áreas edificadas e remanescentes naturais. A primeira classe corresponde às áreas urbanas mapeadas pelo projeto e a segunda é referente a todos os remanescentes naturais florestais e não florestais, bem como áreas de mangue e restinga. Assim, as seguintes métricas foram escolhidas para caracterização da estrutura da paisagem: área total coberta por remanescentes naturais, números de fragmentos por unidade área e área total urbana.

Adicionalmente ao mapa de cobertura, dados de vias obtidos pela plataforma *OpenStreetMaps* foram usados com a finalidade de complementar as métricas de paisagem. Dessa forma, calculou-se a distância até a via mais próxima e a densidade de vias por unidade de área (m/km<sup>2</sup>), pois a presença de vias pode influenciar diretamente em fatores ligados à ignição de incêndios [8 e 9].

Outra métrica utilizada para caracterização da paisagem foi o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada médio (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), uma vez que este índice se relaciona com a quantidade de biomassa disponível. Este dado é derivado do sensor MODIS (*collection 6*) à bordo do satélite AQUA com resolução espacial de 250 metros.

Neste estudo foi usada uma grade celular de 5 km por 5 km. A utilização da grade tem como finalidade a integração das diversas medidas multi-escalas e padronizar a área de estudo em unidades de paisagem menores.

A análise estatística para este estudo se baseou em uma amostragem estratificada das células com presença de pelo menos um foco de calor. Os estratos foram divididos em células com até 5 focos, entre 6 e 10 focos e maior que 10 focos. Após a estratificação, foram sorteadas aleatoriamente 21 células em cada um dos três diferentes estratos.

As variáveis mais correlacionadas com o número de focos de calor por célula (maior coeficiente de Pearson) foram escolhidas para o ajuste do modelo de regressão. Aplicou-se um modelo linear simples e o teste de Shapiro Wilk para análise da normalidade dos resíduos. Por fim, aplicou-se a equação do modelo ajustado para gerar um mapa de ocorrência potencial de fogo para a RMVPLN.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consoante aos resultados obtidos para o coeficiente de Pearson, as variáveis que melhor se correlacionaram com o número de focos de calor foram a densidade de vias ( $r = 0,72$ ) e a área total urbana ( $r = 0,60$ ) (Tabela 1). Contudo, estas variáveis são altamente correlacionadas entre si ( $r = 0,80$ ), uma vez que, o aumento da área urbanizada tende a possuir maior quantidade de vias por unidade de área.

**Tabela 1 – Coeficientes de correlação de Pearson para número de focos de calor (n=63).**

Variável	Coefficiente de correlação (r)
Densidade de Vias	0,72
Área Total Urbana	0,60
Área Florestal	-0,09
Densidade de mancha	-0,19
NDVI	-0,31
Distância de Vias	-0,34

As demais variáveis apresentaram baixa correlação com o número de focos de calor ( $r < 0,3$ ), optando-se por não incluí-las no modelo de regressão. Dessa forma, o modelo ajustado considerou as variáveis “densidade de vias” e “área total urbana”, separadamente.

O modelo de regressão com melhor capacidade explicativa da ocorrência de focos de calor na RMVPLN incluiu apenas a variável densidade de vias ( $F = 64,97$ ;  $p\text{-value} < 0,05$  e  $R^2 = 0,51$ ). Os coeficientes estimados para o modelo são apresentados na tabela 2. Segundo o teste de Shapiro Wilk, os resíduos estão normalmente distribuídos ( $W = 0,97$ ,  $p\text{-value} = 0,12$ ).

**Tabela 2 – Coeficientes estimados para o melhor modelo de regressão linear ajustado (n=63).**

	Coef. Estimado ( $\beta$ )	Erro Padrão	Pr(> t )
Intercepto	-2,76e-17	8,84e-02	1
Densidade de vias	7,18e-01	8,91e-02	3,46e-11

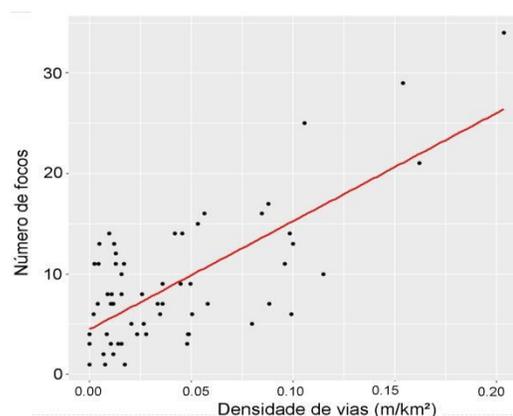
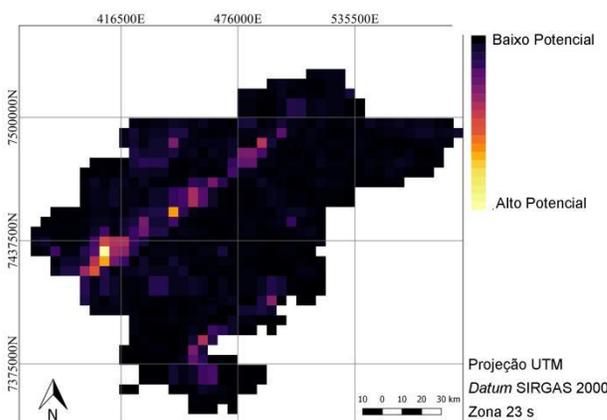
O valor do coeficiente do modelo linear evidencia que a densidade de vias explica parcialmente a ocorrência de focos de calor na região. Neste caso, outras variáveis como métricas de bordas, núcleo, isolamento, conectividade e métricas de composição devem ser investigadas e consideradas em modelos futuros a fim de aprimorar a capacidade explanatória da variável independente.

A ocorrência de focos de calor na região estudada tende a aumentar com valores mais altos de densidade de vias (Figura 2). Consequentemente, as áreas com maior potencial de ocorrência de fogo se concentram em regiões mais urbanizadas, principalmente, no eixo da rodovia Presidente Eurico Gaspar Dutra e região litorânea (Figura 3).

A antropização da paisagem natural do Vale do Paraíba desde o período colonial [22] pode ter efeito direto na dinâmica de ocorrência de fogo. A presença de vias permite o acesso direto ao fluxo de pessoas que, muitas vezes, são agentes causadores de fogo [8 e 20]. Estudos relataram o aumento da incidência de focos de calor em função da presença de vias terrestres e rios [8, 9, e 20], corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

Contudo, devido ao grau de modificação da paisagem, a concentração dos focos em regiões urbanizadas pode ser reflexo da impermeabilização do solo, bem como das atividades industriais e pecuaristas desenvolvidas na região. No caso das áreas com médio e alto potencial para

ocorrência de fogo ao longo do eixo da rodovia Presidente Eurico Gaspar Dutra, pode-se inferir que estas áreas oferecem baixo riscos de propagação para remanescentes florestais, visto que, os remanescentes estão restritos a pequenas áreas tombadas como unidades de conservação. Entretanto, as áreas com maior potencial de ocorrência próximas ao litoral oferecem maior risco, pois a influência antrópica, principalmente em alta temporada de visitas, pode ser fator preponderante para a ocorrência de incêndios florestais. Além disso, a região litorânea abriga os maiores remanescentes de floresta de Mata Atlântica da RMVPLN.

**Figura 2 – Número de focos de calor em função da densidade de vias (n=63).****Figura 3 – Mapa de ocorrência potencial de fogo na RMVPLN em função da densidade de vias.**

Apesar do modelo proposto apresentar áreas com maior potencial ao fogo, deve-se destacar a existência de incertezas associadas aos dados. Estas incertezas ocorrem tanto devido as diferenças de escalas de aquisição, afetando a estimativa de valores quantitativos e classificação dos dados qualitativos, quanto na capacidade explicativa da variável independente ( $R^2 = 0,51$ ). Portanto, estudos futuros com o intuito de inventariar as causas dos focos devem ser incentivados, tendo assim, uma medida efetiva das potencialidades referentes a incêndios florestais.

#### 4. CONCLUSÕES

Assim, este estudo sugere que a ocorrência de focos de calor na RMVPLN pode estar relacionada com fatores antrópicos. Em relação à estrutura natural da paisagem, não se pode afirmar relação direta com a ocorrência de focos, sendo necessário estudos que investiguem métricas de bordas, núcleo, isolamento, conectividade e métricas de composição. Além disso, ainda se fazem necessários estudos que visam inventariar as causas dos focos de calor na região, levando em consideração o uso e cobertura da terra, como forma de contribuir para o planejamento das áreas urbanas e naturais.

#### 5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo 305054/2016-3.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Anderson, L. O. et al. “Disentangling the contribution of multiple land covers to fire-mediated carbon emissions in Amazonia during the 2010 drought”, *Global Biogeochemical Cycles*, v. 29, n. 10, pp.1739-1753, 2015.
- [2] Pereira, H.M. et al. “Scenarios for Global Biodiversity in the 21st Century”, *Science*, v. 330, n. 6010, pp.1496-1501, 2010.
- [3] Barlow, J. et al. “The critical importance of considering fire in REDD+ programs”. *Biological Conservation*, v. 154, pp. 1–8, 2012.
- [4] Sullivan, M.J.P. et al. “Diversity and carbon storage across the tropical forest biome”, *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, pp.1-12, 2017.
- [5] Chuvieco, E. et al. “Integrating geospatial information into fire risk assessment”, *International Journal Of Wildland Fire*, v. 23, n. 5, pp.606-620, 2014.
- [6] Torres, F.T.P. et al. “Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG”, *Revista Árvore*, v. 34, n. 2, pp.297-303, 2010.
- [7] Koproski, L. et al. “Modelo De Zoneamento De Risco De Incêndios Para Unidades De Conservação Brasileiras: O Caso Do Parque Estadual Do Cerrado (Pr)”, *Floresta*, v. 41, n. 3, pp.551-562, 2011.
- [8] Costafreda-Aumedes, S.; Garcia-Martin, A. e Vega-Garcia, C. “The relationship between landscape patterns and human-caused fire occurrence in Spain”, *Forest Systems*, v. 22, n. 1, pp.71-81, 2013.
- [9] Armenteras, D. et al. “Changing patterns of fire occurrence in proximity to forest edges, roads and rivers between NW Amazonian countries”, *Biogeosciences*, v. 14, n. 11, pp.2755-2765, 2017.
- [10] Machado, R.B. et al. “Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado”, *Conservação Internacional*, Brasília, DF, 22 p., 2004.
- [11] Ribeiro, M.C. et al. “The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation”, *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, pp. 1141– 1153, 2009.
- [12] Fahrig, L. “Effects of habitat fragmentation on biodiversity”, *Annu Rev Ecol Evol Syst*, v. 34, pp. 487–515, 2003.
- [13] Metzger, J.P. “Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest”, *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, pp. 1138–1140, 2009.
- [14] McGarigal, K. e Marks, B.J. “FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure”, *Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, 1995.*
- [15] Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. “ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO NAS REGIÕES METROPOLITANAS BRASILEIRAS”, 2010. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/atlasdodesenvolvimentohumanorms.pdf>>
- [16] Kronka, F.J.N. et al. “Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo”, São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal, Imprensa Oficial, 2005.
- [17] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “MAPA DE VEGETAÇÃO DO BRASIL”, 2004. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/mapas/brasil/vegetacao.pdf)>
- [18] Silva Junior, C. et al. “Deforestation-Induced Fragmentation Increases Forest Fire Occurrence in Central Brazilian Amazonia”, *Forests*, v. 9, n. 6, pp.305-321, 2018.
- [19] Ortega, M. et al. “Landscape vulnerability to wildfires at the forest-agriculture interface: half-century patterns in Spain assessed through the SISPAES monitoring framework”, *Agroforestry Systems*, v. 85, n. 3, pp.331-349, 2011.
- [20] Martínez, J.; Vega-Garcia, C. e Chuvieco, E. “Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain”, *Journal Of Environmental Management*, v. 90, n. 2, pp.1241-1252, 2009.
- [21] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Fundação S.O.S. Mata Atlântica. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, Relatório Técnico, Período 2015-2016, São Paulo, SP, 2017.
- [22] Devede, A.C.P. et al. “História Ambiental do Vale do Paraíba Paulista, Brasil”, *Revista Biociências*, v. 20, n. 1, pp. 12-29, 2014