

## ANÁLISE PRELIMINAR DA RELAÇÃO ENTRE QUEIMADAS E CHUVAS NO ESTADO DE SANTA CATARINA

*Nathan Campos Teixeira<sup>1</sup>; Vinícius Bogo Portal Chagas<sup>2\*</sup>; Pedro Luiz Borges Chaffe<sup>3</sup>; Leonardo Hoinaski<sup>4</sup>*

**Resumo** – A ocorrência de queimadas e incêndios florestais é conhecida por promover diversos impactos ao meio ambiente. As condições meteorológicas, dias secos e uso do solo estão diretamente associadas com o aumento das queimadas. O propósito deste trabalho é realizar uma análise preliminar da relação entre queimadas e chuvas no estado de Santa Catarina. Para tanto, foram utilizados pontos de detecção de focos de calor, obtidos por imagens de satélites entre janeiro de 1999 a dezembro de 2016, e dados de chuva medidos em pluviômetros da ANA. De acordo com os resultados, os focos de calor, a precipitação média e a proporção de dias sem chuva possuem sazonalidade semelhante. Os meses de agosto e setembro apresentaram um elevado número de focos que coincidem com uma maior probabilidade de dias sem chuva e uma menor precipitação média mensal. Visto que o número dos focos cresce abruptamente nestes meses, uma possível associação com a atividade agrícola pode ser levantada. A investigação espacial dos focos mostrou que esses eventos ocorrem com maior frequência no planalto, no centro-oeste e no oeste catarinense, encorpando uma possível associação com o regime de chuva e atividade agrícola.

**Palavras-Chave** – Queimadas, chuva, Santa Catarina.

## A PRELIMINARY ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN WILDFIRES AND RAINFALL IN THE STATE OF SANTA CATARINA

**Abstract** – The occurrence of wildfires is known to cause several impacts to the environment. The negative repercussions on environment have promoted studies about wildfires around the world. The goal of this work is to perform a preliminary analysis of the relationship between wildfires and rainfall in the state of Santa Catarina. We used remote sensing data from INPE between January 1999 and December 2016 and rainfall observations from 210 precipitation gauges. This preliminary work shows a possible association among hotspots, monthly mean precipitation and proportion of no rainy days. These parameters presented a similar seasonal variability. The months of August and September showed the highest number of hotspots and also high probability of days without rain and a lower monthly precipitation. Since the number of hotspots grows drastically in August, a possible association with agricultural activity and soil preparation. The most affected areas by the wildfire are the central-west, west and the plateau of Santa Catarina. These areas are known for its intensive agriculture and dry weather conditions.

**Keywords** – Wildfire, rainfall, Santa Catarina/Brazil.

<sup>1</sup> Graduando em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. E-mail: nathan ufmt@gmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. E-mail: vbchagas@gmail.com

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. E-mail: pedro.chaffe@ufsc.br

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. E-mail: leonardo.hoinaski@ufsc.br

\* Autor Correspondente.

## INTRODUÇÃO

Entre os impactos mais significativos das queimadas e incêndios florestais no meio ambiente podem ser listados: a degradação da vegetação, perda da biodiversidade da fauna e flora, erosão e o empobrecimento do solo (Bond *et al.*, 2005). As queimadas também provocam efeito distante do seu ponto de origem, tais como, as emissões de poluentes atmosféricos, que por sua vez implicam em condições adversas a saúde humana (Thonicke *et al.*, 2001; Herawati *et al.*, 2011).

Para que as queimadas aconteçam quatro fatores são necessários: material combustível suficiente ou biomassa combustível; uma fonte de ignição; oxigênio e condições meteorológicas favoráveis (Santos *et al.*, 2006). As condições de seca estão diretamente associadas com o aumento das queimadas (Smith *et al.*, 2014). Com a falta de chuva as folhas das árvores são mais suscetíveis a quedas, gerando a serapilheira. Na ausência de folhas no dossel das florestas, a serapilheira recebe radiação solar mais intensa, tornando assim, um material orgânico seco e com alto risco de propagação de incêndio (Aragão *et al.*, 2008; Brandão & Miranda, 2012). Dessa forma, grande parte das vegetações do território brasileiro torna-se suscetível a ocorrência deste fenômeno.

Análises consistentes para detecção, alerta de risco e avaliação das queimadas em escalas continentais e nacionais tem sido realizadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE (Setzer & Sismanoglu, 2010; Melchiori *et al.*, 2015). Poucos estudos foram feitos dando ênfase ao estado de Santa Catarina – SC. O referido estado possui um ambiente peculiar, tem-se a Mata Atlântica como bioma predominante além de uma diversidade ambiental importante (Siminski, 2009). No entanto, a cobertura florestal nativa remanescente no estado é de aproximadamente 29% (Vibrans *et al.*, 2015). As principais causas da devastação do bioma são as ações econômicas, representadas por atividades como, silvicultura, agricultura e pecuária (FIESC, 2012), que demandam de grandes espaços territoriais.

Pelo fato do desmate e das atividades agrícolas estarem diretamente ligadas aos focos de calor é necessário estudar as origens, espacializações destas ocorrências e verificar a relação com chuvas, visto que as queimadas tendem a possuir maiores dimensões e frequência em lugares mais secos (Westerling *et al.*, 2006). O objetivo deste trabalho é realizar uma análise preliminar da relação entre queimadas e chuvas no estado de Santa Catarina, tendo em vista a precariedade de informações sobre o tema no estado. Para tanto, foram utilizados pontos de detecção de focos de calor obtidos por satélites e chuva medida.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Dados de chuva e de focos de calor

Os focos de calor utilizados neste trabalho foram disponibilizados pelo INPE (2016). O período selecionado dos dados diários de focos de calor foi de janeiro de 1999 a dezembro de 2016. Estes dados são acompanhados de uma estimativa da precipitação diária acumulada em cada foco de calor identificado.

A contagem dos focos de calor foi proveniente das plataformas de referência NOAA – 12 e AQUA\_M-T. Estes produtos possuem uma resolução espacial de 1 km, ambos processados e disponibilizados pelo Banco de Dados de Queimadas do INPE (INPE, 2016).

Além das estimativas de precipitação do produto do INPE, também foram obtidos dados de chuva medidas em pluviômetros, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). De todas as estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA, foram selecionadas apenas aquelas com menos de 10% de falha de dados entre 1999 e 2015; e com uma distância máxima de 50 km a

partir dos limites de Santa Catarina. Um total de 210 estações pluviométricas foram selecionadas (Figura 1). Os dias com ausência de medições foram preenchidos com a chuva média das três estações mais próximas. Foram considerados como dias secos, ou dias sem chuva, os dias com chuva medida abaixo de 0,5 mm.

Para o uso do solo foram utilizados os dados disponibilizados por Broxton et al (2014), correspondente ao período de 2000 a 2010. A maior parte da área de floresta em Santa Catarina está no centro-norte e no litoral do estado (Figura 1). A atividade agrícola é concentrada no centro-oeste e no extremo sul do estado. As áreas de pastagens também podem estar classificadas como savanas arborizadas ou campo limpo, na qual são concentradas no centro-oeste do estado.

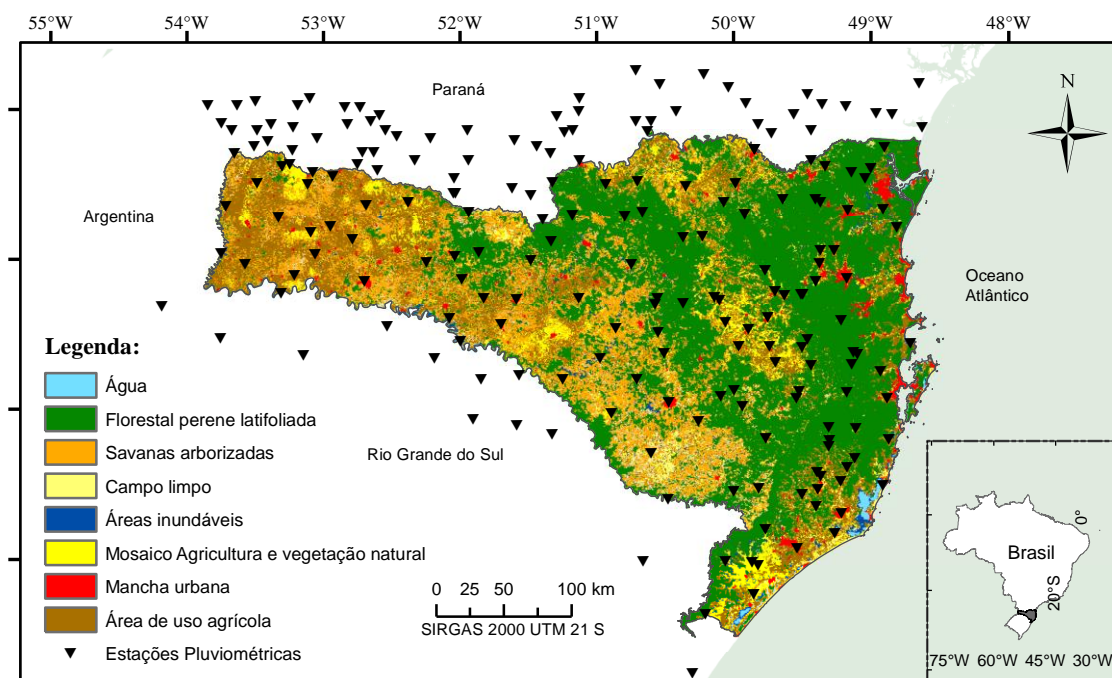


Figura 1 – Mapa de uso do solo de Santa Catarina e estações pluviométricas utilizadas neste trabalho.

Os dados de focos de calor foram usados para avaliar a sazonalidade das ocorrências e suas distribuições temporais e espaciais. Para verificar a qualidade dos dados, técnicas estatísticas foram aplicadas. A distribuição da densidade dos focos foi obtida pelo algoritmo estimador de densidade *kernel* (Hart, 2013).

### Métricas de comparação para precipitações estimadas e medidas

Para verificar a qualidade dos dados fornecidos, foi realizada comparações entre os valores da estimativa de precipitação disponibilizada pelo produto do INPE e medições em estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA. Os parâmetros métricos estatísticos bias (BIAS – Equação 1), fator de 2 (FACT2 – Equação 2) e coeficiente de correlação de *Spearman* ( $\rho_{Spearman}$  – Equação 3) foram utilizados para medir de erros sistemáticos e aleatórios.

$$BIAS = \overline{C_p} - \overline{C_o} \quad (1)$$

$$FACT2 = 0,5 \leq \frac{C_p}{C_o} \leq 2 \quad (2)$$

$$\rho_{Spearman} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - 1} \quad (3)$$

onde,  $C_p$  são os dados fornecidos pelos produtos do INPE;  $C_o$  as precipitações diárias medidas em estações pluviométricas;  $d_i$  a diferença entre cada posto de valor correspondente de  $C_p$  e  $C_o$ ; e  $n$  o número de pares de valores.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estimativa da chuva acumulada fornecida no produto de satélite nos pontos que ocorreram focos de calor subestimes em 5,25 mm em média os dados obtidos com as estações pluviométricas (Figura 2). O FACT2 mostra que 46,83% dos dados do produto estão dentro da faixa de 0,5 e 2 vezes o valor das medições. Essa proporção é considerada pequena, visto que a maior parte (53,17%) dos dados está fora do limite aceitável. A relação entre as estimativas e medições não são fortes, apresentando coeficiente de correlação de *Spearman* igual a 0,25. Devido a essas diferenças sistemáticas entre os dados de satélite e as estações pluviométricas, optou-se por utilizar os dados das estações pluviométricas nas análises a seguir.

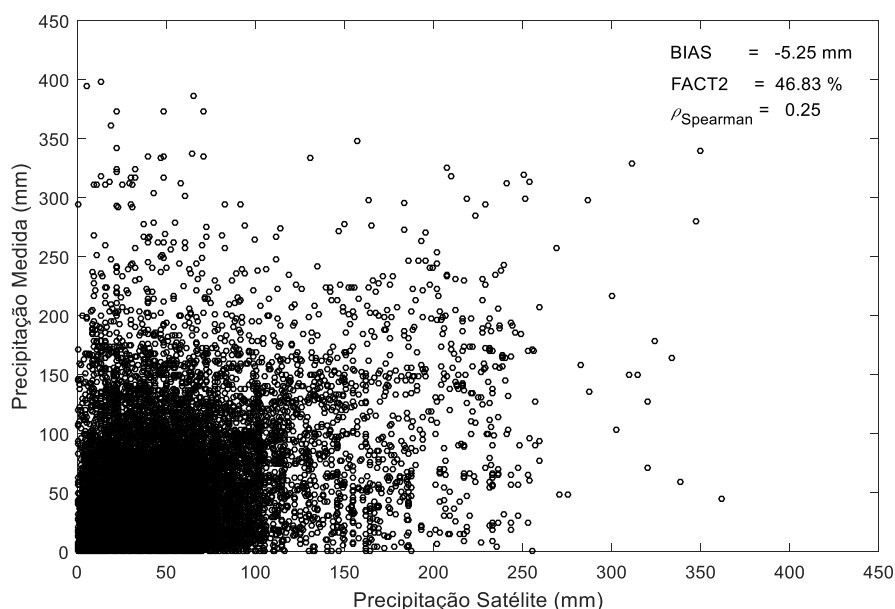


Figura 2 – Precipitação medida em estações pluviométricas *versus* as precipitações estimadas por satélites. BIAS, *Factor of two*(FACT2) e coeficiente de correlação de *Spearman* ( $\rho_{\text{Spearman}}$ ).

Na Figura 3 está presente uma avaliação da sazonalidade dos focos de calor (A), precipitação média mensal (B) e proporção de dias sem chuva no mês (C).

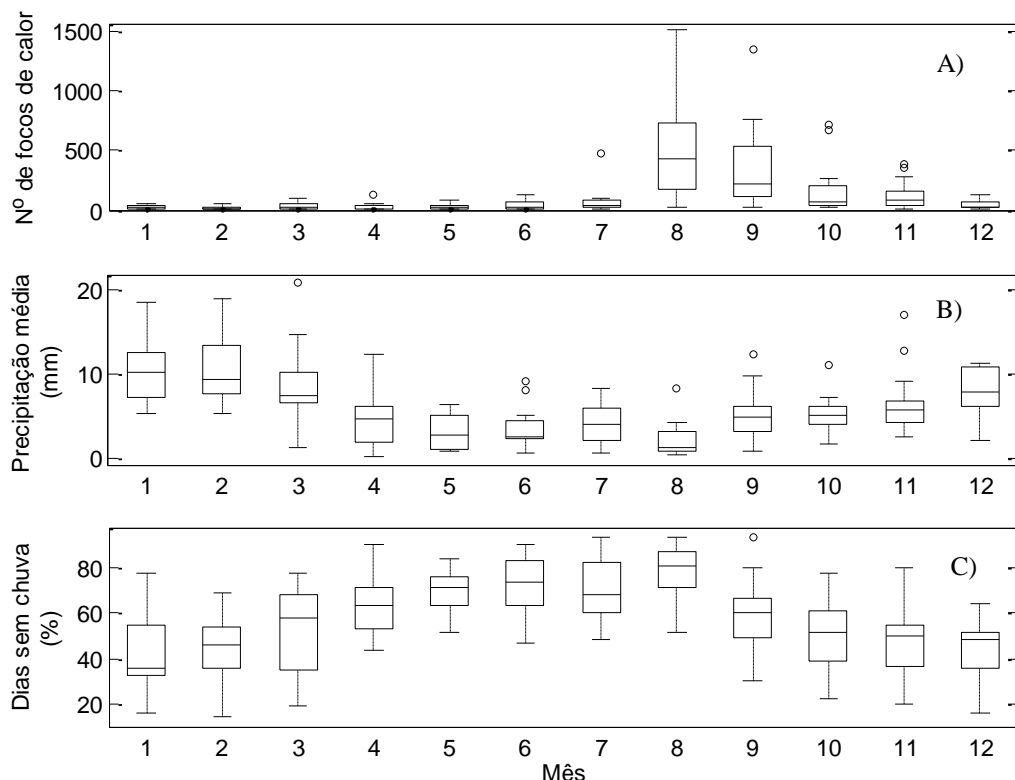


Figura 3 – A) Somatório mensal dos focos de calor entre os anos de 1999 a 2016. B) Médias mensais de precipitação de chuva das estações pluviométricas utilizadas neste trabalho entre 1999 a 2015. C) Probabilidade mensal de dias sem chuva entre os anos

A Figura 3 (A) mostra que tanto os focos de calor, quanto a precipitação média e a proporção de dias sem chuva possuem sazonalidade no estado de Santa Catarina. Nota-se que os meses de agosto e setembro apresentaram um elevado número de focos de calor, entre os anos de 1999 e 2016. Nestes meses notou-se uma maior probabilidade de dias sem chuva (Figura 3 C), além de uma menor precipitação média mensal (Figura 3 B). A partir de setembro há um decréscimo no somatório de focos. Em setembro a precipitação média mensal aumenta e é reduzida a proporção de dias sem chuva. Entretanto, ainda persiste um número considerável de focos de calor, provavelmente devido às condições secas, previamente acumuladas nos meses anteriores.

Verifica-se que os focos de calor aumentam de forma significativa entre os meses de julho e agosto. O comportamento dos dados indica que as queimadas podem ter origem antropogênica. Uma investigação mais detalhada necessita ser realizada para testar esta hipótese.

Uma análise da relação entre número de focos de calor e precipitação é apresentada na Figura 4. Foram realizados histogramas da frequência dos focos em diversos intervalos de precipitação média, proporção de dias sem chuva e dias consecutivos sem chuva. A análise da Figura 4 foi feita segregando as condições de chuva com 5, 15 e 30 dias de antecedência ao foco de calor.

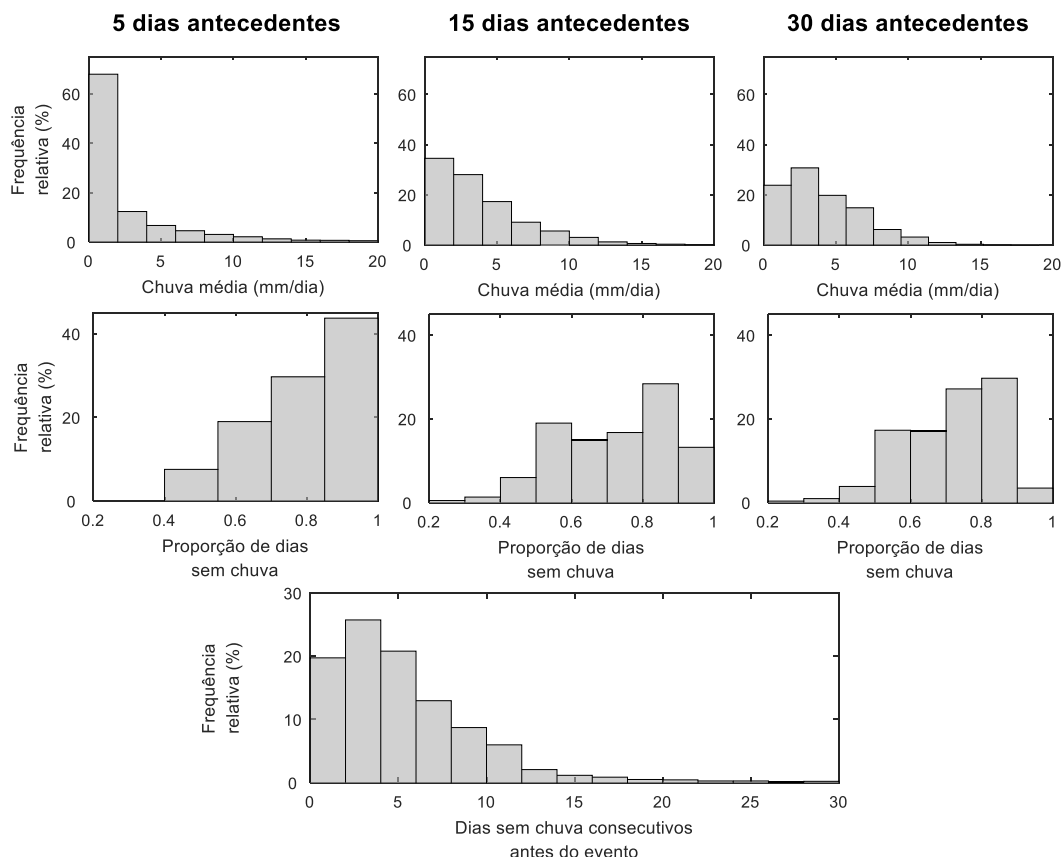


Figura 4 – Histogramas da frequência relativa de um foco de calor *versus* a chuva média (mm/dia) antecedentes a 5, 15 e 30 dias do evento. Frequência relativa *versus* a proporção de dias sem chuvas antecedentes a 5, 15 e 30 dias do evento. Frequência relativa *versus* dias consecutivos sem chuva.

Os histogramas revelaram que quanto menor a chuva média diária, maior a frequência dos focos de calor para 5, 15 e 30 dias antecedentes ao evento. A relação entre precipitação média diária e número de focos de calor é mais evidente na análise com 5 dias de antecedência, chegando a aproximadamente 70% da totalidade dos focos nos casos com precipitação menor que 2 mm.

A Figura 4 também mostra que há uma relação direta entre proporção de dias sem chuva e focos de calor. A relação entre as variáveis supracitadas é mais forte quando é analisado o número de dias sem chuva com 5 dias antecedentes ao evento. Uma proporção superior a 40% do total de focos é encontrada quando não ocorreu chuva nos últimos 5 dias.

Tanto na análise da precipitação quanto na de proporção de dias sem chuva, as relações com o número de focos de calor são menos evidentes com 30 dias de antecedência. Nesta situação, perde-se frequência dos focos nas faixas de valores de 0 a 2 mm/dia de chuva média. O mesmo acontece para o intervalo de 90 a 100% de dias sem chuva, nos últimos 30 dias. Isso ocorre devido à reduzida probabilidade de não ocorrer chuva em 30 dias.

O histograma na parte inferior da Figura 4 demonstra que aproximadamente 45% dos focos aconteceram em situações com pelo menos 4 dias consecutivos sem registros de chuva. Assim como discutido anteriormente, a reduzida probabilidade de serem encontrados eventos associados à muitos dias consecutivos sem chuva também diminuem a frequência de focos nestas faixas.

A Figura 5 apresenta a distribuição espacial dos focos de calor em Santa Catarina, a precipitação média anual, e o valor médio de dias secos consecutivos, entre 1999 e 2016. Foi

possível identificar que existem locais com elevada densidade de focos de calor, ocorrendo predominantemente nas regiões onde há menores concentrações de chuva e maior número de dias secos consecutivos. Verifica-se que a região oeste e o planalto serrano (região central) apresentam este comportamento.

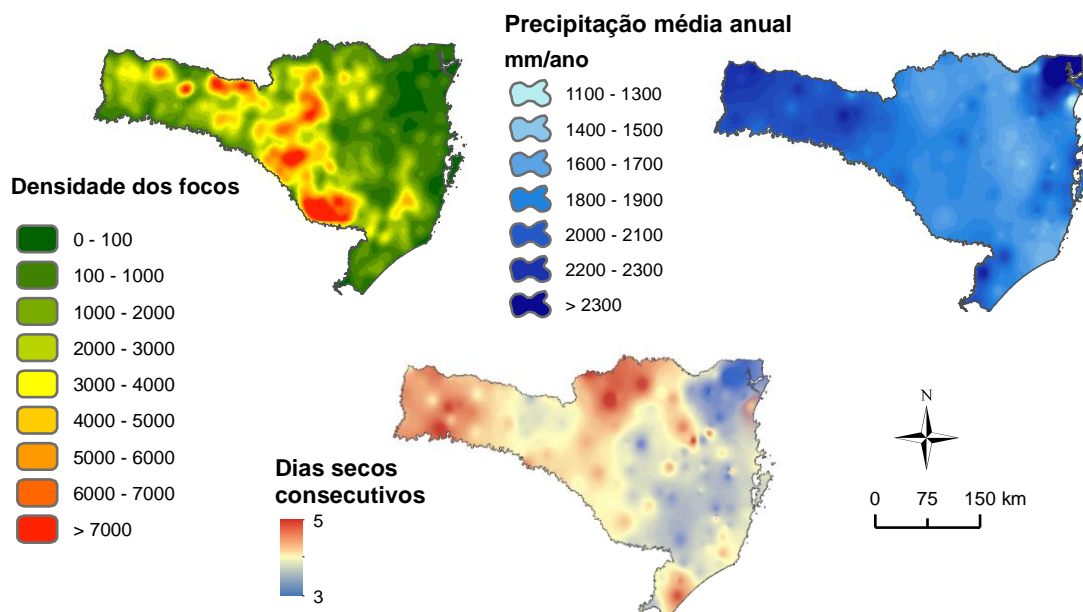


Figura 5: Densidade estimada de Kernel dos focos de calor entre os anos de 1999 e 2016. Dispersão da precipitação média anual em mm/ano das medidas obtidas nas estações meteorológicas entre os anos de 1999 e 2015. Dispersão dos dias secos consecutivos entre os anos de 1999 e 2015.

Foi possível identificar que os pontos críticos estão situados em áreas de uso agrícola e savanizadas, ou seja, com vegetação menos densa. Tais fatos aumentam os indícios de que os focos de calor são de origem humana em sua maioria. A sazonalidade das queimadas, como já testada por Flores (2017), demonstrou ter relações fortes com a falta de chuva, visto que a vegetação seca de pequeno porte é propícia às altas taxas de incêndios.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem compreender melhor a sazonalidade dos eventos de focos de calor e sua relação com a chuva, bem como as regiões mais afetadas por este fenômeno em Santa Catarina. Foi identificado que os meses com precipitação baixa e elevadas frequências de dias secos consecutivos podem estar associados ao aumento do número de focos de calor. Os resultados também indicam uma possível associação com a atividade agrícola, visto que o número dos focos cresce abruptamente nos meses de julho e agosto, de maneira desproporcional as chuvas medidas para estes meses. A densidade espacial dos focos é útil na identificação das regiões onde os eventos possuem maiores recorrências, sendo eles, no planalto, centro-oeste e oeste catarinense. Esta identificação possibilita associá-los com o regime de chuva e uso do solo. Os dias secos apresentaram ser um fator para que às queimadas aconteçam. No entanto ainda há necessidade da investigação das origens destes focos.

## REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em 15 jul. 2017.
- ARAGÃO, L. E. O.C.; MALHI, Y.; BARBIER, N.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y.; ANDERSON, L.; SAATCHI, S. (2008). Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, pp. 1779-1785.
- BOND, W.J.; WOODWARD, F.I.; MIDGLEY, G.F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, n165, pp. 525-538.
- BRANDÃO, C. B. MIRANDA, R. A. C. (2012). Relações entre elementos climáticos e geográficos nas ocorrências de incêndio florestal no Parque Estadual da Pedra Branca-RJ. *Revista brasileira de climatologia*, ano 8, v. 10, pp. 171-184.
- BROXTON, P. D.; ZENG, X.; SULLA-MENASHE, D.; TROCH, P. A. (2014). A global land cover climatology using MODIS data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 53, n. 6, pp. 1593-1605.
- FIESC. (2012). Business & investments in SC. Disponível em <http://www4.fiescnet.com.br/conhecendo-sc/economia-de-sc>. Acesso em 28 mai. 2017.
- FLORES, B. M.; HOLMGREN, M.; XU, C.; VAN NES, E. H.; JAKOVAC, C. C.; MESQUITA, SCHEFFER, M. (2017). Floodplains as an Achilles' heel of Amazonian forest resilience. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.114, n. 17, pp. 4442-4446.
- HART, T.; Zandbergen, P. (2013). Kernel density estimation and hotspot mapping. *Policing: An International Journal of Police Strategies & Management*, v. 37, n. 2, pp. 305-323.
- HERAWATI, H.; SANTOSO, H. (2011). Tropical forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: a review of fire nature, policy and institutions in Indonesia. *Forest Policy and Economics* V. 13, pp. 227-233.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2016). Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em 23 mai. 2017.
- MELCHIORI, A.E.; CÂNDIDO, P.A.; LIBONATI, R.; MORELLI, F.; SETZER, A.W.; JESUS, S.C.; FONSECA, L.M.G.; KORTING, T.S. Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. In *Anais. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, 25 a 29 de abril de 2015.
- SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. (2006). Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. *Floresta*, v 36, n 1, pp. 93-100.
- SETZER, A.; SISMANOGLU, R.A. (2010). Queimadas no Brasil. Contribuição mensal em Item 6, *Climanálise Boletim de Monitoramento e Análise Climática, CPTEC*, v.24, pp. 1-4.
- SMITH, L. T.; ARAGÃO, L.E. O. C.; SABEL, C. E.; NAKAYA, T. (2014). Drought impacts on children's respiratory health in the Brazilian Amazon. *Scientific Reports*, v. 4, n. 3726.
- THONICKE, K.; VENEVSKY, S.; SITCH, S.; CRAMER, W. (2001), The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: Coupling fire into a dynamic global vegetation model, *Global Ecology & Biogeography*, 10(6), pp. 661 - 677.
- VIBRANS, A.; GASPER, A. L.; MÜLLER, J.J.V.; MANTOVANI, A.; AGUIAR, M.D.; MARSCHALEK, R. (2015) Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: o que você deve saber sobre as florestas de Santa Catarina. *Biblioteca Universitária da FURB*, pp. 20 f.
- WESTERLING, A. L.; HIDALGO, H. G.; CAYAN, D. R.; SWETNAM T. W. (2006). Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity. *Science*, v. 313, pp. 940-943.