



RISCOS



MODELO ESPACIAL DE RISCO DE INCÊNDIO INTRAURBANO: FATORES DE POPULAÇÃO E CARGA DE INCÊNDIO*

INTRA-URBAN SPATIAL FIRE RISK MODEL: POPULATION AND FIRE LOAD FACTORS

81

Carlos David Veiga França

Corpo de Bombeiro Militar do Maranhão (Brasil)

ORCID 0000-0001-8862-5520 cadbm128veiga@gmail.com

Silas Nogueira de Melo

Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de História e Geografia (Brasil)

ORCID 003-3363-5208 silasmelo@professor.uema.br

Claudio Eduardo de Castro

Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de História e Geografia (Brasil)

ORCID 0000-0002-1224-5019 clanaros@yahoo.com.br

Luiz Carlos Araújo dos Santos

Universidade Estadual do Maranhão, Departamento de História e Geografia (Brasil)

ORCID 0000-0001-5713-0269 luizcarlos.cecenuema@gmail.com

RESUMO

Embora os incêndios urbanos façam centenas de vítimas fatais e causem inúmeros prejuízos materiais a cada ano e em todo o mundo, poucos estudos se dedicam à formulação de um modelo simples de estimação do risco de incêndios urbanos. Nesse sentido, o objetivo do presente artigo é criar e implementar um modelo espacial de risco de incêndio intraurbano com apenas duas variáveis: população e valor de carga de incêndio. Uma área urbana brasileira de porte médio foi selecionada para análise empírica. Foram utilizados mapas e técnicas estatísticas como os índices de Moran, regressão linear e regressão de erro espacial. Os resultados evidenciam que as ocorrências de incêndio são concentradas no espaço intraurbano, bem como a variável população não foi estatisticamente significativa, mas a variável carga de incêndio foi positiva e significativa na associação com o risco de incêndio. As implicações dos resultados, em termos de políticas públicas, normas técnicas e protocolos são discutidas na conclusão.

Palavras-chave: Risco de incêndio, modelo espacial, carga de incêndio, população, intraurbano.

ABSTRACT

Although urban fires cause hundreds of deaths and enormous damage to property each year around the world, few studies have focused on developing a simple model to estimate the risk of urban fires. This article sets out to create and implement a spatial model of intra-urban fire risk with only two variables, population and fire load value. A medium-sized Brazilian urban area was selected for empirical analysis. Maps and statistical techniques were employed, such as Moran indices, linear regression, and spatial error regression. The results show that fire occurrence is concentrated in the intra-urban space and the population variable was not statistically significant, but the fire load variable was positive and significant in association with fire risks. The implications of the results, in terms of public policies, technical standards, and protocols are discussed in the conclusion.

Keywords: Fire risk, spatial model, fire load, population, intra-urban.

* O texto deste artigo foi submetido em 13-01-2019, sujeito a revisão por pares a 12-02-2019 e aceite para publicação em 08-04-2020.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 27 (II), 2020, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

A sociedade contemporânea pode ser contextualizada no processo de urbanização adotado, bem como, na gama de serviços e equipamentos urbanos desenvolvidos para atender as distintas necessidades econômicas, além de produzir diversos tipos de risco. Tal realidade insere-se na reflexão sobre uma “sociedade de risco” (Beck, 1992). Nesse sentido, a cada ano os incêndios urbanos/intraurbanos fazem centenas de vítimas fatais em diversos países (Rohde *et al.*, 2010; Sapp e Huff, 1995; Sufianto e Green, 2012) e podem ser considerados um tipo de risco. Contudo, poucos estudos se dedicam à formulação de um modelo simples de risco de incêndios urbanos.

O objetivo da presente pesquisa foi criar e implementar um modelo espacial de risco de incêndio intraurbano com apenas duas variáveis: população e valor de carga de incêndio. A variável de população possui uma influência ambígua na relação com os incêndios, na medida em que pode ser a principal causadora ou principal combatente desse fenômeno (Stahura e Hollinger, 1988). Já a variável carga de incêndio está relacionada com a carga de material combustível por área (Khorasani *et al.*, 2014) distintamente os relacionados às estruturas urbanas, ou seja, materiais e tipo de construção, que se apresenta por uma urbanização incipiente, com vazios entre quarteirões e lotes, com uso de materiais não padronizados, bem como a vegetação, que em nosso estudo se refere a floresta ombrófila transicional com palmeiras pouco preservada. Peculiaridades que afetam sobremaneira a carga combustível, como atestam Guettouche (2011); Taridala, *et al.* (2016); Ardianto e Chhetri (2019).

Assim, selecionamos uma área urbana brasileira de porte médio para implementação do modelo. No decorrer do texto, respondemos três perguntas: os incêndios intraurbanos possuem uma aleatoriedade espacial?; A população é uma variável significativa para a compreensão dos incêndios urbanos?; Prédios com altas cargas de incêndio estão de fato associados com ocorrências de incêndio?

Com exceção da introdução, o artigo está dividido em quatro partes. Na primeira etapa, realizamos uma revisão de literatura das pesquisas sobre riscos de incêndio. A segunda parte contextualiza o presente estudo com as justificativas e o levantamento das hipóteses que nos nortearam. Posteriormente, ainda na mesma seção, realizamos a caracterização empírica do estudo descrevendo os dados, metodologia e limitações. Na terceira etapa, apresentamos os resultados da análise. Finalmente, na quarta seção, concluímos destacando os principais resultados e suas implicações para políticas públicas e normas técnicas.

Risco de incêndio

A literatura lusófona especializada sobre riscos, por meio da *Territorium - Revista Internacional de Riscos*, principal periódico sobre o assunto, têm destacado nos últimos 20 anos o conceito de risco de incêndio. As pesquisas são de diferentes metodologias, escalas e países. Contudo, há uma predominância de estudos de casos com viés quantitativo, enfocando florestas, sobretudo em Portugal.

Unidade de análise urbana

Os autores Figueira *et al.* (2011; 2012) fizeram uma análise do risco de incêndio no centro histórico do Funchal enfatizando o método ARICA. No primeiro artigo, dois métodos de avaliação de risco foram comparados - ARICA e Gretener. Os resultados apontam que o método Gretener é menos abrangente nas diversas valências da segurança contra incêndio, enquanto o método ARICA considera na sua formulação quase todos os aspectos que influenciam o risco de incêndio (Figueira *et al.*, 2011). Já no segundo artigo, os autores fizeram a apresentação de um programa de computador desenvolvido para a aplicação do método ARICA de forma simples e sistematizada (Figueira *et al.*, 2012).

Em uma outra escala, Ferreira *et al.* (2012) realizaram uma análise probabilística do risco de incêndio do núcleo da sala de comando de uma estação de tratamento de resíduos sólidos urbanos. Para a quantificação do risco de incêndio utilizaram o *Building Fire Safety Evaluation Method* (BFSEM). O BFSEM consiste na avaliação do desempenho da segurança contra incêndio em um edifício focando em fatores como: carga de incêndio; características da ocupação; medidas de proteção ativas; e características estruturais. A aplicação do método permitiu a determinação das probabilidades de ocorrência das diferentes formas de incêndio.

No Brasil, Bruno (2010) explorou a gestão do risco de incêndio em favelas na cidade de São Paulo por meio da proposição de um método de análise alinhado aos objetivos, possibilidades e limitações à sua aplicação. Segundo a autora, duas vertentes são destacadas: uma que seja a atuação preventiva e emergencial sobre assentamentos com alto nível de risco, ou seja, com maior probabilidade de ocorrência de incêndios e maiores consequências para a população envolvida, e outra, voltada à incorporação de medidas perenes de segurança nos assentamentos que venham a ser objeto de urbanização, ou seja, de intervenções estruturais de caráter global.

Unidade de análise florestal

Os cálculos de correlação e regressão linear simples foram aplicados para identificar associações entre risco de incêndios florestais e a prática da pastorícia em 4 concelhos da Serra da Estrela em um recorte temporal de 19 anos

(Nunes, 2000). Sem o resultado de uma única variável de associação dominante, o estudo conclui que a problemática dos fogos florestais exprime uma extrema variabilidade.

Na pesquisa de Gouveia (2006), foi construído um índice de risco de incêndio florestal para o Concelho de Mirandela, através da utilização de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Foram levadas em consideração as variáveis das características morfológicas, combustível vegetal, estruturas de defesa da floresta contra incêndios e área arida. Os resultados permitiram a criação de uma carta de risco de incêndio florestal da área de estudo visando à gestão desse tipo de risco.

Bento-Gonçalves *et al.* (2007), ao analisarem investigações criminais, apontam que o crime de incêndio florestal apresenta dificuldades na recolha de provas materiais, que permitam, mais facilmente, a condenação de quem o comete, pelo que urge reforçar o investimento na investigação criminal de incêndios florestais para diminuição desse tipo de risco.

Ainda na questão dos incêndios florestais de Portugal, Vieira *et al.* (2009) ressaltam a dificuldade de definição e identificação das áreas urbano-rurais. Essa limitação pode influenciar as estratégias adequadas à prevenção, proteção e combate aos incêndios florestais. Assim, os autores realizaram uma tipologia para identificação das áreas de Interface Urbano-Rural na região do Ave, no período de 2001 a 2007.

Artigos exploratórios e conceituais também foram encontrados especificamente sobre riscos de incêndios florestais. No trabalho descritivo de Lourenço (2009), foi tomada como exemplo a manifestação do risco de incêndios florestais nas serras do centro de Portugal. O autor apresentou algumas situações com efeitos erosivos subsequentes. Esses casos foram selecionados dentre aqueles em que houve reabilitação de infraestruturas, em especial, residências familiares. Já o trabalho de reflexão conceitual de Fidalgo (2013), houve uma preocupação com as populações ficarem cada vez mais vulneráveis a manifestação de perigo de incêndio florestal, em particular, aos incêndios na interface urbano-rural. Nesse sentido, o autor busca clarificar conceitos como riscos, vulnerabilidade, perigo e outros, com intuito de compreensão das dinâmicas territoriais dos riscos de incêndio.

Fora Portugal, outros dois países da América Latina foram investigados: Brasil e Chile. Neto *et al.* (2016), definiram um modelo de risco de incêndio e um mapa de combate a incêndio florestal com base em Sistema de Informações Geográficas (SIG) para o Parque Nacional de Brasília, situado a noroeste do Distrito Federal, capital do Brasil. Os resultados indicaram que 83% da área do Parque encontravam-se sob risco alto e muito alto de incêndio e que 3% indicaram risco extremo.

Em Castillo *et al.* (2009), o estudo foi sobre a relação espaço-temporal existente entre a ocupação do solo

para fins habitacionais em áreas de interface urbano-rural nas colinas costeiras da Grande Valparaíso, Chile. Com uma base de dados de ocorrência de incêndios florestais de 23 anos, os resultados indicaram áreas sensíveis de riscos, juntamente com a caracterização da respectiva conflitualidade, especialmente em territórios urbanos afetados pela propagação descontrolada do fogo. Por fim, Quintanilla (2009) identifica que os fatores sociais e climáticos secos da zona mediterrânea do Chile favorecem a ocorrência de incêndios florestais. Os resultados também apontam para a degradação do relevo, bem como os danos no bioma da região.

Também, outros trabalhos, como o de Taridala *et al.* (2016) que encontraram em Kendary, cidade litorânea no sudeste da Indonésia, um sítio com crescimento acelerado na urbanização não acompanhado pelo dos dispositivos de controle de fogo, ou de cuidados cotidianos e alocação correta dos itens de risco nos edifícios, sejam domésticos quanto comerciais. Nesse estudo, utilizaram o geoprocessamento para identificar nível de risco a incêndios, considerando alto as de alta densidade de construção, com material combustível, não atravessado por vias arteriais nem coletoras que permitam o acesso de bombeiros. Nesse país, também pode-se encontrar Sufianto e Green (2012) que, em Jakarta e Surabaya, procuraram entender, ao largo de sete anos, as características dos incêndios, fato desprezado em muitos estudos.

Em Melbourne, Austrália, Ardianto e Chhetri (2019) utilizaram o método de cadeia Markov, para calcular a probabilidade de ocorrência de incêndio residencial com base no histórico de ocorrências de incêndio. Com dados de um período de dez anos de notificações, criaram um modelo de risco de incêndio espacialmente integrado, que visa prever a provável ocorrência de incidentes. Nesse estudo o espaço e o tempo são parâmetros-chave do modelo, porém não indicam em grande escala as probabilidades, além de utilizar do modelo que apenas calcula a probabilidade de ocorrência.

Presente estudo

Como visto, existem pelo menos três lacunas na literatura de risco de incêndios. Primeiro, a parca existência de estudos com enfoque em áreas urbanas e intraurbanas, uma vez que se dedicaram grandemente em pesquisar e propor soluções para categorias urbanas, como favelas, centralidades urbanas, edificações, pouco em uma visão sistemática sobre o território municipal. Outra vertente muito desenvolvida é que trata dos estudos para florestas e/ou áreas rurais. Neste sentido, é possível verificar a preocupação com os recursos naturais e danos ambientais. Por outro lado, um desprezo das pesquisas em relação à maioria populacional que reside nos centros urbanos, exposta aos riscos de incêndios.

Uma segunda lacuna é a ausência de um modelo simplificado e menos oneroso de riscos de incêndios. Mesmo o método ARICA, amplamente conhecido por ser um método menos complexo (Figueira *et al.*, 2011 e 2012), possui a exigência de fatores parciais difíceis de serem atualizados por instituições de combate e prevenção aos incêndios. Em países do sul global e de tamanho continental, como o Brasil, com mais de 5.000 municípios, métodos e modelos mais diretos, simples e econômicos são cada vez mais necessários.

A terceira e última lacuna é em relação à inexistência de modelos de risco de incêndio com controle dos efeitos espaciais. Evidentemente os riscos de incêndio são representados por mapas e possuem ricas descrições espaciais dos vários estudos de caso, mas nenhum deles mensura formalmente quão importante é o espaço para o entendimento do fenômeno.

A presente pesquisa objetiva caminhar no sentido de preencher essas lacunas da literatura ao propor um modelo espacial de risco de incêndio de fácil aplicação por instituições de combate e prevenção a incêndios. Três hipóteses nortearam o estudo:

- *Hipótese 1* - Os incêndios não são aleatórios no espaço intraurbano. Ou seja, há uma autocorrelação espacial do fenômeno em questão.
- *Hipótese 2* - Quanto mais densamente urbanizada uma área, maior o risco ao incêndio. Essa suposição foi baseada na consideração de que o homem também é, direta ou indiretamente (Bento-Gonçalves *et al.*, 2007), um agente causador de incêndio.
- *Hipótese 3* - Áreas com prevalência de prédios com altos valores de carga de incêndio e as ruralizadas cujo uso seja como segunda moradia, lazer ou rurais ligadas à praia, são associadas positivamente com riscos de incêndio.

No sentido de se poder segregar os bairros e áreas para se aferir alguma relação com os riscos de incêndio, já que são intrinsecamente diferentes em sua prevalente urbanização, considerou-se, a partir das características encontradas em IBGE (2011a; 2016) áreas com urbanização esparsa, que associam o urbano e o rural, aquelas de residências de lazer-praia e as de atividade genuinamente rural, de agropecuária, além das urbanizadas. Algumas delas, não destacadas no mapa, não puderam ser consideradas em qualquer categoria, por não se poder destacar pelas informações das fontes consultadas.

Área de estudo

Para verificação das hipóteses de pesquisa era necessário escolher uma área urbana que atendessem todos os pré-requisitos necessários, como informações espaciais de ocorrências de incêndios, bem como carga de incêndio dos prédios e população por bairro. Devido ao objetivo

de formulação de um modelo simples e econômico para aplicação em países em desenvolvimento, escolhemos um município brasileiro. Contudo, como existem milhares de municipalidades no Brasil, decidimos trabalhar com uma que tivesse um apelo duplo: localizada em regiões menos desenvolvidas do país e caracterizada como cidade média. Por exemplo, áreas urbanas como São Paulo e Rio de Janeiro possuem um maior apelo internacional, contudo, do ponto de vista prático, o modelo de risco de incêndio seria inócua nessas áreas pois estão localizadas na região mais desenvolvida do país, cujos órgãos gestores possuem outras variáveis que possibilitariam o aperfeiçoamento do modelo. Esses centros urbanos são exceções da realidade brasileira.

Nesse sentido, selecionamos a área urbana do município de São José de Ribamar, localizada no estado do Maranhão. O município está situado na região Nordeste bem como na Amazônia Legal (fig. 1), ocupando a zona de transição entre elas. A vegetação de contato remanescente é constituída por fragmentos de savana e floresta Ombrófila Aberta, a vegetação transicional de mata de cocais, com palmeira babaçu (IBGE, 2011b), que devido à presença de pequenas chácaras, quintas, granjas de uso misto lazer-rural - incluindo-se as ligadas ao lazer em praia, com árvores nativas, ornamentais e frutíferas, torna-se vulnerável à combustão no período de estiagem, que compreende os meses de julho a dezembro. Soma-se a esses aspectos as condições das edificações, veículos, lixo e gás liquefeito, constituindo causas de ocorrência de incêndio nas áreas municipais pesquisadas. Importante destacar que as regiões Norte e Nordeste são as menos desenvolvidas do Brasil. Outras duas peculiaridades que fazem o município uma amostra significativa é que está localizado na costa atlântica do país, bem como faz parte da região metropolitana de São Luís, capital do estado. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2011a), São José de Ribamar possui 174.267 habitantes, que o caracteriza como uma cidade média.

Dados

As informações sobre as ocorrências de incêndio foram obtidas mediante boletins oficiais emitidos pela 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar (1ª CIBM), especificando o tipo do fato gerador e local do incêndio entre os anos de 2015 (n = 142) e 2016 (n = 151), totalizando 293 casos. Foram contabilizados os incidentes de fogo em vegetação, fogo em veículo, fogo em residência, em lixo e com gás liquefeito de petróleo de uso doméstico, face aos respectivos bairros de ocorrência.

Os dados de carga de incêndio vieram do Corpo de Bombeiros da região que possui os valores estimados das cargas de todos os prédios do município de São José de Ribamar (fig. 2). Para avaliar-se as áreas e seus riscos de incêndio, convém explicitar como se estabeleceu a

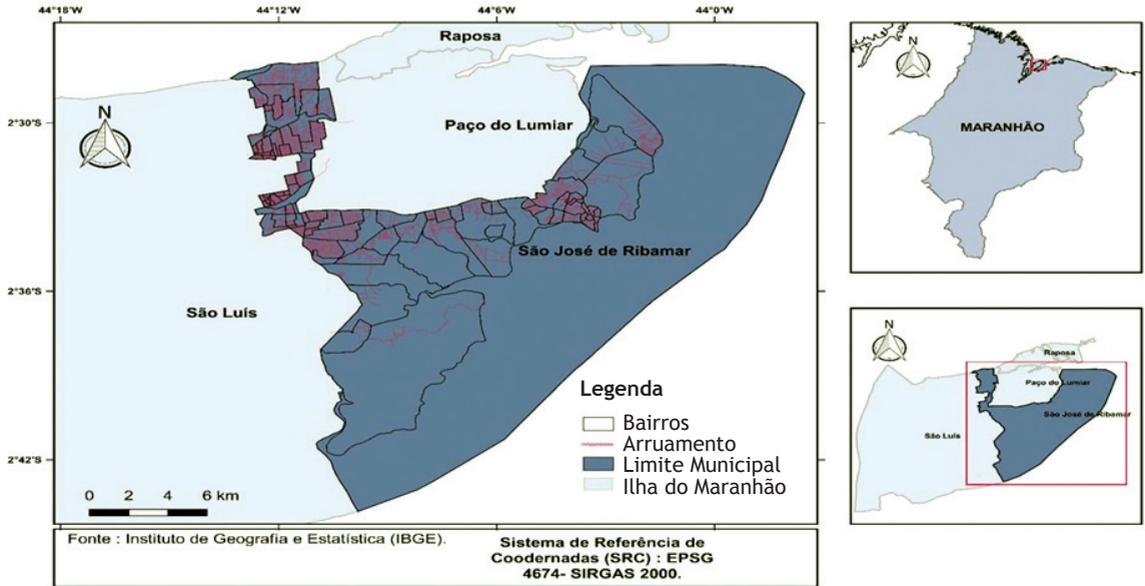


Fig. 1 - Localização de São José de Ribamar, Maranhão, Brasil (Fonte dos dados: IBGE).

Fig. 1 - Location of São José de Ribamar, Maranhão, Brazil (Data source: IBGE).

carga de incêndio. Para isso, efetuou-se a identificação das edificações existentes em cada área, classificando-as a partir de ponderação de cargas de incêndio utilizadas institucionalmente por três unidades da federação brasileira, Maranhão (1997), Minas Gerais (2005) e São Paulo (2019), as quais as estabelecem, com intervalos valorativos maiores ou menores, por classificações semelhantes uma vez que consideram. Nelas a carga de

incêndio considera o somatório das energias passíveis de serem liberadas por combustão completa de todos os materiais contidos na edificação. Elas classificam as cargas de incêndio específicas por ocupação, discriminando valores de carga para variadas edificações-ocupações, como na categoria locais públicos de reunião, que assegura altíssima carga à bibliotecas e baixa para centros de esporte. Para tanto, a carga de incêndio da edificação é dividida pela área do piso, resultando em um valor em megajoules (MJ), o qual é utilizado para a classificação da carga de incêndio em categorias de risco, do muito baixo ao muitíssimo alto. A carga de incêndio é uma medida expressa em megajoule (MJ) por metro quadrado (m^2), ou seja, a relação de carga de material combustível por área (Khorasani *et al.*, 2014).

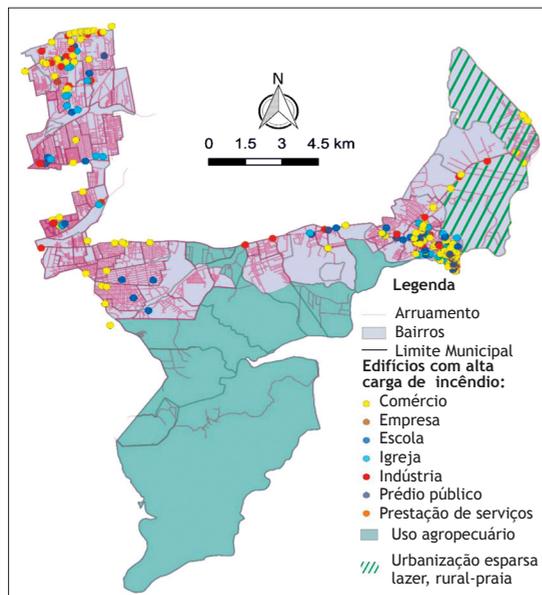


Fig. 2 - Prédios com alta carga de incêndio em São José de Ribamar (Fonte dos dados: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

Fig. 2 - High fire load buildings in São José de Ribamar (Data source: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

Com informações de trabalho de campo, todos os prédios com altos valores de carga de incêndio foram mapeados e agregados por bairro. Os principais usos humanos ou seja, as atividades preponderantes, não foram consideradas como dado essencial, uma vez que as ocorrências notificadas indicam o quanto elas podem causar incêndios, independentemente de quais sejam os usos, senão as que implicam diretamente na carga de incêndio, nomeadamente as rurais utilizadas como moradia de lazer ou de praias de arrabalde com essa característica. As moradias são consideradas como um grupo homogêneo quanto à carga de incêndio (fig. 2). Por fim, os dados da população por bairro foram coletados no Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2011a). O tratamento dos dados espaciais foram realizados com o software QGIS. Foram calculadas as estatísticas básicas dos principais dados utilizados na pesquisa (TABELA II).

TABELA I - Estatísticas básicas por bairro em São José de Ribamar (n = 94).

TABLE I - Basic statistics in São José de Ribamar, by neighbourhood (n = 94).

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Incêndios (n = 293)	3,117	0	28	5,001
População (n = 174.267)	1853,904	24	11,827	1663,061
Prédios com altos valores de carga de incêndio (n = 235)	2,5	0	32	5,192

Fonte dos dados: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar e IBGE.
Data source: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar and IBGE.

Análise estatística

Nosso objetivo é ajustar um modelo de regressão que permita prever as ocorrências de incêndio (variável dependente) a partir dos dados de população e carga de incêndio (variáveis independentes). Como a Hipótese 1 é de que os incêndios não são aleatórios no espaço, adotamos a estratégia de verificar a autocorrelação espacial através do índice global de Moran para posteriormente ajustar um modelo espacial (Melo, 2017).

O indicador global de Moran é uma medida de autocorrelação espacial análogo ao coeficiente de correlação convencional, porque tem em seu numerador um termo que é produto de momento. Os valores do índice global de Moran variam de -1 (autocorrelação espacial negativa ou inversa) a +1 (autocorrelação espacial positiva ou direta), o 0 significa aleatoriedade. Contudo, o índice local de Moran também é útil para gerar um mapa indicando as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do restante dos dados (Anselin, 2013).

Tanto para o índice global e local de Moran, como para o modelo espacial, definimos vizinhança a partir de uma distância. Foi escolhida uma matriz de vizinhança com limiar de distância de 2.700 metros. Essa distância foi a mínima para que todos os bairros possuíssem pelo menos um vizinho.

Empregamos um modelo de regressão dos mínimos quadrados ordinários (MQO), a fim de usar o teste de multiplicador de Lagrange (LM) posteriormente, com intuito de identificar se há uma autocorrelação de lag espacial ou de erro espacial. O uso do teste estatístico LM permite-nos identificar o melhor modelo alternativo entre lag espacial (LM-Lag) e erro espacial (LM-Error) (ANSELIN, 1988). Com nossos dados, a hipótese nula de LM-Error - autocorrelação espacial no erro - não foi rejeitada, ao contrário da hipótese nula de LM-Lag. A fórmula geral do modelo de erro espacial é:

$$y = XB + \varepsilon$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + u,$$

onde y é a variável dependente, X variáveis independentes (no nosso caso população e carga de incêndio) e B os coeficientes, λ (lambda) sendo o coeficiente de erro espacial, ε é o vetor do termo do erro espacialmente

ponderado utilizando a matriz de pesos W , e u é o vetor da porção não correlacionada dos erros e são independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.). Os resultados dos modelos MQO e erro espacial permitiram verificar a validade da Hipótese 2 e Hipótese 3.

Limitações da análise

As análises do presente estudo precisam ser consideradas no contexto de suas quatro principais limitações e as próximas pesquisas devem superar essas barreiras. Primeiro, nem todas as ocorrências de incêndio são necessariamente registradas pelos órgãos de prevenção e combate ao fogo, o que deve afetar os resultados do modelo. Isso pode acontecer principalmente quando o incêndio é pequeno e pode ser controlado pela população próxima. Segundo, o estudo possui validade externa limitada. Novos estudos devem ser conduzidos em outras municipalidades para confirmar (ou não) os resultados aqui encontrados. Terceiro, a escala temporal de dois anos é curta e precisa ser estendida em outras pesquisas. Este fator há de ser melhor absorvido em novos estudos, a partir da construção de arquivos de informações sobre ocorrências de incêndio com categorizações mais precisas, empreendidos por responsáveis pelo controle, como bombeiros, polícia, autarquias. Por fim, como os incêndios são fenômenos complexos, os modelos futuros devem incorporar importantes variáveis como clima, vulnerabilidades urbanísticas contra incêndios tais como pontos para abastecimento de água (hidrantes e mananciais) e acessibilidade do socorro especializado.

Resultados e discussão

As informações espaciais utilizadas foram agregadas por bairros para posterior análise estatística. Foi possível verificar a distribuição espacial da principal variável do estudo que é ocorrência de incêndios durante 2015 e 2016 em São José de Ribamar (fig. 3).

Ao fazer a análise estatística de dependência espacial, verificamos uma considerável autocorrelação positiva nas ocorrências de incêndios (índice global de Moran de 0,12 e p-valor 0,005). Ou seja, uma concentração de valores próximos indicando que as ocorrências de incêndio dos bairros tendem a ser similares aos seus vizinhos.

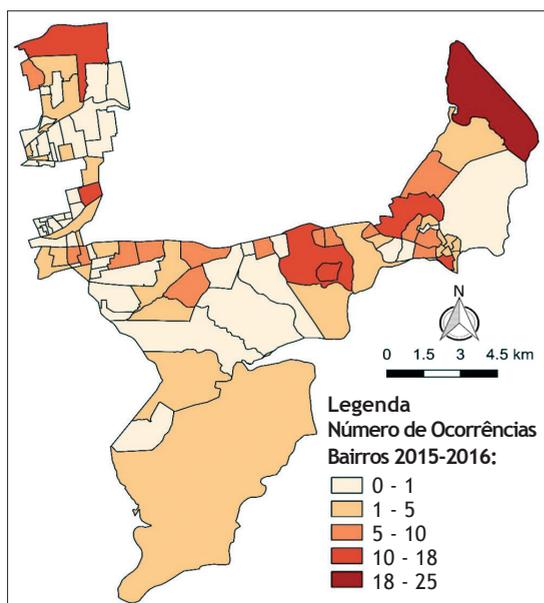


Fig. 3 - Ocorrência de incêndios por bairros entre 2015 e 2016 em São José de Ribamar (Fonte dos dados: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

Fig. 3 - Fire occurrence by neighbourhood between 2015 and 2016 in São José de Ribamar (Data source: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

No mapeamento do índice local de Moran (fig. 4) é possível verificar que a maioria dos bairros não apresentam significância estatística. Contudo, um padrão espacial é notável: há uma maior concentração dos incêndios a partir do centro do arco em direção norte do município, enquanto na direção há menor concentração dos mesmos. Em outras palavras, bairros vitimizados por incêndios tendem a sofrer uma repetição da vitimização, bem como influenciar bairros próximos (Melo *et al.*, 2018a). Nesse sentido, os resultados sustentam a Hipótese 1 (os incêndios não são aleatórios no espaço intraurbano).

Uma vez explorado o padrão espacial das ocorrências de incêndio e termos constatado sua dependência espacial, criamos um modelo com controle para os efeitos espaciais com intuito de prever os incêndios. Os mapas representam as variáveis independentes de população residente por bairro (fig. 5) e riscos de incêndios advindos dos prédios com altas cargas de incêndio (fig. 6). O método de representação das classes dos mapas temáticos - incluindo a fig. 3 - foi o das quebras naturais ou Jenks (Jenks e Caspall, 1971)

Em relação aos resultados dos modelos estimando ocorrências de incêndio (TABELA II), embora o coeficiente de determinação R2 não seja muito reportado por estatísticos na literatura, mantemos na tabela para corroborar o quanto a mais o modelo espacial consegue

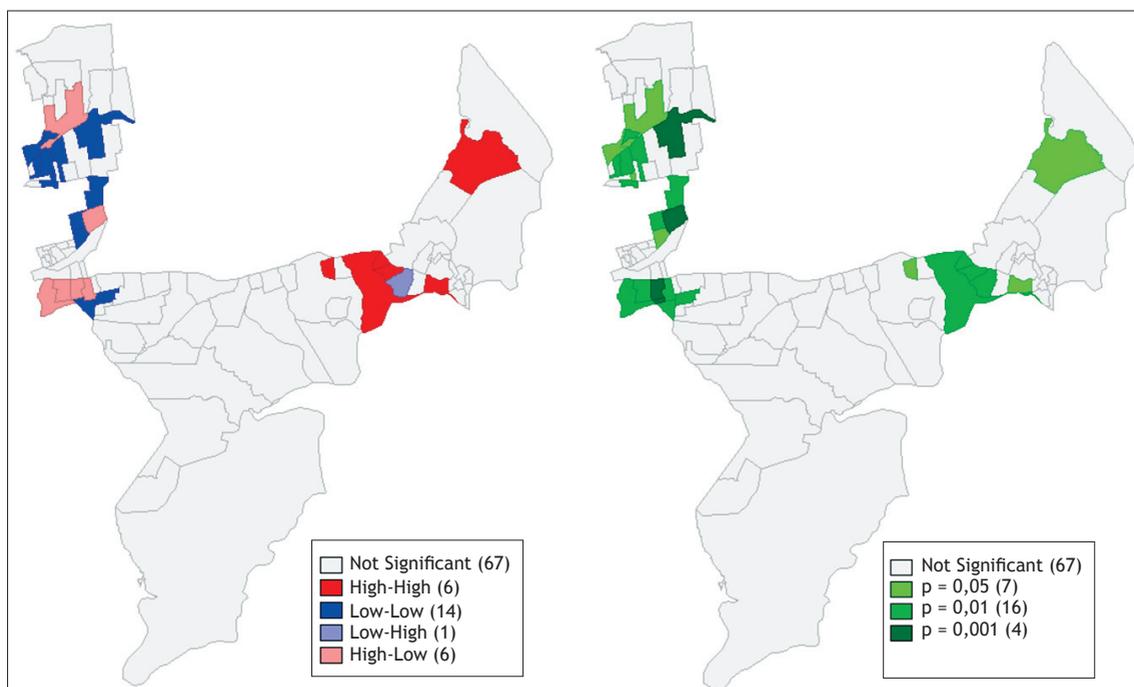


Fig. 4 - Representação do índice local de Moran para a variável de ocorrência de incêndios em São José de Ribamar (Fonte dos dados: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

Fig. 4 - Representation of the local Moran index for the variable fire occurrence in São José de Ribamar (Data source: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

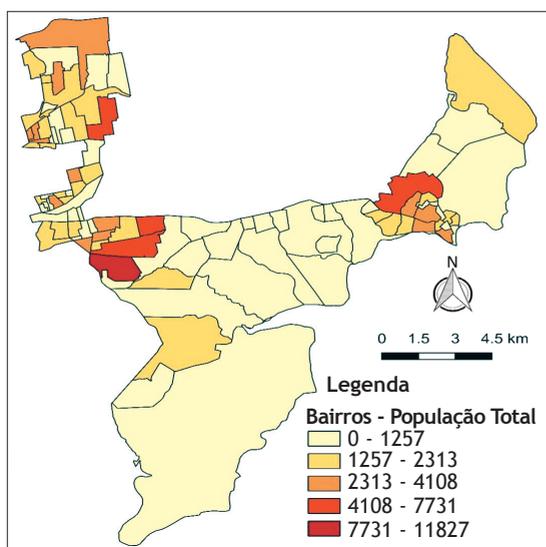


Fig. 5 - População de São José de Ribamar por bairro, 2010
(Fonte dos dados: IBGE).

Fig. 5 - Population in São José de Ribamar, by neighbourhood, 2010
(Data source: IBGE).

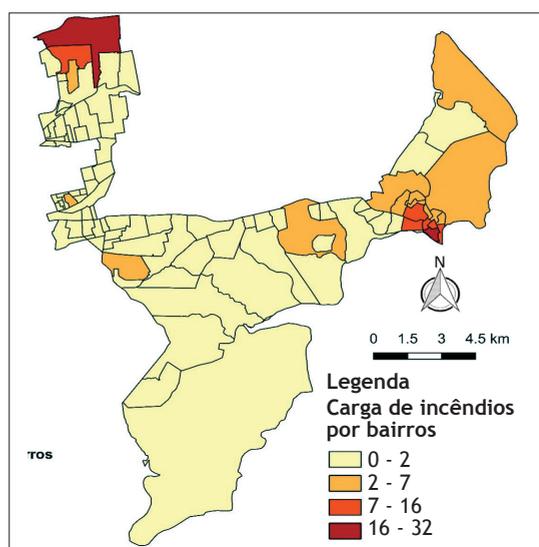


Fig. 6 - Prédios com alta carga de incêndio agregados por bairro em São José de Ribamar (Fonte dos dados: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

Fig. 6 - High fire load buildings aggregated by neighbourhood in São José de Ribamar (Data source: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar).

TABELA II - Resultados dos modelos estimando ocorrências de incêndio.

TABLE II - Results of models estimating fire occurrences.

	MQO		Erro espacial	
	Coefficiente	t-valor	Coefficiente	z-valor
Constante	2,58***	3,58	2,45*	2,38
População	-0,0001	-0,24	0,0001	0,24
Carga de Incêndio	0,345***	3,56	0,353***	3,49
λ (lambda)	-	-	0,484**	3,05
R2	0,125	-	0,204	-
AIC	561,83	-	555,38	-
Diagnóstico				
Breusch-Pagan	0,24	p = 0,88	0,29	p = 0,86
Jarque-Bera	307,09	p = 0,000	-	-

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Fonte dos dados: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar e IBGE / Data source: 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar and IBGE.

explicar os valores observados em relação ao modelo MQO. Nesse sentido, o AIC (sigla em inglês de Akaike Information Criterion) mostra uma qualidade relativa melhor do modelo Erro espacial.

Em resposta à Hipótese 2 (quanto mais densamente urbanizada uma área, maior o risco ao incêndio), a variável apresentou resultados estatisticamente significativos para as áreas mais urbanizadas com maior

população, Noroeste, Oeste e Leste (fig. 6). Nas demais houve mudança de sinal negativo para sinal positivo no coeficiente entre modelos (mas ambos com valores próximos de zero), os incêndios não apresentaram uma boa associação nessa hipótese. Uma possível explicação está relacionada com o fator protetivo da própria população, pois ao mesmo tempo que podem ser os causadores, também podem ser agentes de combate ao incêndio (fig. 6, TABELA II). Dentro da criminologia ambiental, essa explicação encontra suporte na teoria da atividade de rotina (Melo *et al.*, 2018b).

Já a variável de prevalência de prédios com alta carga de incêndio e as ruralizadas com usos múltiplos não rurais, na terceira hipótese, apresenta coeficientes significativos e positivos em ambos os modelos, havendo notificação de incêndios e ocorrências, portanto ensejando alto risco. Logo é a mais importante variável preditora da ocorrência de incêndios em nosso modelo. As áreas nas quais há indicação de poucas edificações indicativas de risco, mas com moradias ruralizadas com usos para o lazer, segunda moradia, há notificação de significativo número de ocorrências de incêndios, resultando em indicativo por índice de risco quando consideradas as notificações e carga de incêndios (realidade + Estandartização-Normas) Nesse sentido, os resultados corroboram a Hipótese 3, áreas com prevalência de prédios com altos valores de carga de incêndio são associadas positivamente com riscos de incêndio e indicam ainda as rurais de usos diferenciados como de risco considerável.

O lambda como uma medida de interdependência espacial entre os resíduos também é significativo como esperado. No diagnóstico dos modelos reportamos dois testes de hipótese: um de heterocedasticidade (variância dos erros não constante) e outro de normalidade dos resíduos. O teste de Breusch-Pagan mostra que os dados são homocedásticos, rejeitando a hipótese de heterocedasticidade. O teste de Jarque-Bera exhibe que os erros não são normalmente distribuídos. Como o próprio LM indica uma autocorrelação espacial nos erros, talvez isso se deva também pelo fato de existirem outros fatores espacialmente autocorrelacionados que não medimos. Por fim, ao checar as condições de multicolinearidade, não foi evidenciado problemas de relações lineares exatas entre as variáveis independentes. Os mesmos testes de diagnósticos de modelos espaciais são encontrados em pesquisas anteriores (por exemplo, Ceccato *et al.*, 2018).

Conclusão

A presente pesquisa propõe a criação de um modelo espacial de risco de incêndio intraurbano com apenas duas variáveis: população e valor de carga de incêndio. Os resultados apontam a necessidade de um modelo espacial, na medida que os incêndios não são aleatórios espacialmente, como demonstrado na análise. Contrariamente às expectativas, nossos resultados evidenciam que a população intraurbana não foi um fator associado a incidência de incêndios. Contudo, conforme esperávamos, bairros com prevalência de prédios com altos valores de carga de incêndio são relacionados positivamente com riscos de incêndio.

A hipótese segunda, que procurou entender a validade positiva das áreas urbanizadas ante ao risco de incêndio, neste caso foi parcialmente contemplada, obtendo positividade para as áreas altamente urbanizadas, com concentração populacional alta, tendo comportamento alheio para as demais, o que enseja que seja melhor estimada em outros estudos. Essa relação está mais afeta ao controle que à ocorrência, dessa maneira pode ser irrelevante aqui, mas, em certas realidades de adensamentos precarizados, cujas estruturas urbanas utilizem grande quantidade de material inflamável, ela deve ser considerada.

A proposta da terceira hipótese, vem de encontro à percepção associativa de risco de incêndio ao potencial combustível incidente nas edificações, modelo replicado nas diferentes unidades federativas brasileiras. A sua validade indicada pelo número de ocorrências é válida, uma vez que nas áreas densamente povoadas, há maior concentração desse tipo de construção e menor possibilidade de controle social direto sobre o incêndio, dadas as proporções do mesmo, o que resulta em notificações de qualquer tipo de incêndio.

Nessa hipótese, apesar de haver maior controle social sobre focos de incêndio, não resultando em notificações, nas áreas rurais e rurais com usos para lazer, segunda moradia e praia (neste caso), as segundas demonstraram maior número de notificações, explicitando que a maior densidade residencial, apesar da condição de rural, e o uso descontínuo, resulta em notificações para controle pelas entidades competentes, bombeiros civis e militares, ao passo que nas propriamente rurais, tal não ocorre, por haver maior capacidade de controle de incêndios, dado o uso agropecuário que utiliza de maquinário que concorre para controle imediato, bem como o proprietário, ou responsável, estar na propriedade e perceber incêndios já em seu início, controlando-o e não gerando notificação.

Apesar das limitações e simplicidade do modelo desenvolvido, os desdobramentos dos resultados resultam em algumas implicações em termos de políticas públicas, normas técnicas e protocolos. Primeiro, organizações de combate e prevenção de incêndios devem levar em consideração a contínua avaliação das cargas de incêndio dos prédios urbanos. Embora seja oneroso para os recursos públicos calcular todas as energias caloríficas possíveis de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais contidos num determinado ambiente (inclusive pisos, revestimento das paredes, tetos e divisórias), incentivos devem ser feitos nesse sentido para prevenção da vida humana e patrimônio. Apenas para citar dois casos brasileiros com negligências em relação às medidas de prevenção a prédios com altas cargas de incêndio, o incêndio da boate Kiss em 2013 (com 242 vítimas fatais) e o incêndio no Museu Nacional em 2018 (destruindo um acervo construído ao longo de duzentos anos) são exemplos urbanos trágicos.

Uma segunda implicação é necessidade de normas técnicas e protocolos cada mais simplificados e atualizados dos valores de carga de incêndio de diversos materiais. Finalmente, a terceira implicação é a adoção de técnicas de mapeamento dos incêndios pelas companhias de combate e prevenção ao fogo. Uma vez que demonstramos que este fenômeno possui uma concentração espacial intraurbana, a formação e atualização de profissionais com domínio destas técnicas é primordial.

Agradecimentos

Agradecemos a 1ª Companhia Independente de Bombeiros Militar pela disponibilização dos dados de incêndio e carga de incêndio em São José de Ribamar. Muito obrigado aos professores doutores Ederson Nascimento (UFFS) e Zulimar Márta Ribeiro Rodrigues (UFMA) que colaboraram com valiosas sugestões e preciosos comentários nas versões prévias deste texto.

Referências bibliográficas

- 90
- Anselin, L. (1988). Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. *Geographical analysis*, 20(1), 1-17.
- Anselin, L. (2013). *Spatial econometrics: methods and models* (Vol. 4). Springer Science & Business Media.
- Ardianto, R., Chhetri, P. (2019). Modeling Spatial-Temporal Dynamics of Urban Residential Fire Risk Using a Markov Chain Technique. *International Journal of Disaster Risk Science*, (10), 57-73.
- Beck, U. (1992). *Risk society: Towards a new modernity* (Vol. 17). Sage.
- Bento-Gonçalves, A. J., Lourenço, L., e Silva, J. D. D. (2007). Manifestação do risco de incêndio florestal. Causas e investigação criminal. *Territorium*, (14), 81-87. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_14_8
- Bruno, A. P. (2010). Método de análise de risco de incêndios em favelas: uma abordagem. *Territorium*, (17), 119-126. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_17_12
- Castillo, M., Quintanilla, V., e Julio, G. (2009). Análisis del riesgo y vulnerabilidad contra incendios forestales en áreas de interfaz, provincia de Valparaíso. *Territorium*, (16), 131-138. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_12
- Ceccato, V., Melo, S. N., e Kahn, T. (2018). Trends and patterns of police-related deaths in Brazil. In *The Palgrave Handbook of Criminology and the Global South*, Palgrave Macmillan, Cham, 521-550.
- Ferreira, E., Rodrigues, J. P. C., e Coelho, L. (2012). Risco de incêndio na sala de comando numa estação de tratamento de resíduos sólidos. *Territorium*, (19), 127-135. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_19_15
- Fidalgo, E. S. (2013). Risco de incêndios na interface urbano-florestal: reflexão conceptual. *Territorium*, (20), 101-114. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_20_8
- Figueira, R., Rodrigues, J. P. C., e Coelho, A. L. (2011). Avaliação do risco de incêndio em centros urbanos antigos: Parte I-aplicação do método de ARICA ao centro histórico do Funchal. *Territorium*, (18), 99-107. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_18_8
- Figueira, R., Coelho, A. L., e Rodrigues, J. P. C. (2012). Avaliação do risco de incêndio em centros urbanos antigos. Parte II-aplicação informática sobre o método de ARICA. *Territorium*, (19), 121-126. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_19_14
- Gouveia, M. M. A. L. (2006). Risco de incêndio florestal no concelho de Mirandela. *Territorium*, (13), 83-92. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_13_7
- Guettouche, M. S., Derias, A., Boutiba, M., Bounif, M. A., Guendouz, M., Boudella, A. (2011). A Fire Risk Modelling and Spatialization by GIS - Application on the Forest of Bouzareah Clump, Algiers (Algeria). *Journal of Geographic Information System*, (3), 254-265.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011a). *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011b). *Mapa fitogeográfico do estado do Maranhão*. Rio de Janeiro. Escala, 1:400.000.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2016). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD*. Microdados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=microdados>
- Jenks, G. F., e Caspall, F. C. (1971). Error on choroplethic maps: definition, measurement, reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), 217-244.
- Khorasani, N. E., Garlock, M., e Gardoni, P. (2014). Fire load: Survey data, recent standards, and probabilistic models for office buildings. *Engineering Structures*, 58, 152-165.
- Lourenço, L. (2009). Plenas manifestações do risco de incêndio florestal em serras do Centro de Portugal. Efeitos erosivos subsequentes e reabilitações pontuais. *Territorium*, (16), 5-23. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_1
- Maranhão. (1997) *NORMA TÉCNICA - N.º 003/97*. Classificação das edificações quanto aos riscos de incêndio. Corpo de bombeiros militar do estado do Maranhão.
- Melo, S. N. (2017). *Geografia do crime: Análise espacial da criminalidade no município de Campinas-SP*. Campinas: Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas.
- Melo, S. N., Andresen, M. A., e Matias, L. F. (2018a). Repeat and near-repeat victimization in Campinas, Brazil: new explanations from the Global South. *Security Journal*, 31(1), 364-380.
- Melo, S. N., Pereira, D. V., Andresen, M. A., e Matias, L. F. (2018b). Spatial/temporal variations of crime: a routine activity theory perspective. *International journal of offender therapy and comparative criminology*, 62(7), 1967-1991.
- MINAS GERAIS (2005). *IT - 09 - Carga de incêndio nas edificações e área de risco*. Corpo de bombeiros militar do estado de Minas Gerais.

- Neto, G. B. S., Bayma, A. P., de Faria, K. M. S., de Oliveira, E. G., e Menezes, P. H. B. J. (2016). Riscos de incêndios florestais no parque nacional de Brasília. Brasil. *Territorium*, (23), 161-170.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_23_13
- Nunes, A. (2000). O risco de incêndio florestal e a prática da pastorícia em 4 concelhos da Serra da Estrela: tentativa de correlação. *Territorium*, (7), 55-64.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_7_6
- Quintanilla, V. (2009). Los riesgos de incendios forestales en la zona mediterranea de chile: un caso de perturbacion ambiental permanente. *Territorium*, (16), 147-154.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_14
- Rohde, D., Corcoran, J., e Chhetri, P. (2010). Spatial forecasting of residential urban fires: A Bayesian approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(1), 58-69.
- SÃO PAULO (2019). *Instrução Técnica N.º 14/2018*. Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco. Corpo de bombeiros militar do estado de São Paulo.
- Sapp, A. D., e Huff, T. G. (1995). *Arson-homicides: Findings from a national study*. US Department of Justice, Federal Bureau of Investigation.
- Stahura, J. M., e Hollinger, R. C. (1988). A routine activities approach to suburban arson rates. *Sociological Spectrum*, 8(4), 349-369.
- Sufianto, H., e Green, A. R. (2012). Urban fire situation in Indonesia. *Fire technology*, 48(2), 367-387.
- Taridala, S., Yudono, A., Ramli, M. I., AkiL, A. (2016). Expert System Development for Urban Fire Hazard Assessment. Study Case: Kendari City, Indonesia. In: *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Vieira, A., Gonçalves, A. B., Lourenço, L., Martins, C. O., e Leite, F. F. (2009). Risco de incêndio florestal em áreas de interface urbano-rural: o exemplo do Ave. *Territorium*, (16), 139-146.
DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_16_13