

O Raio da Criminalidade: Delimitação e Alcance de Clusters Espaciais na Cidade de Fortaleza

Área 3

Geografia e História Econômica

Denise Xavier Araújo de Oliveira
denisexaraujo@gmail.com
(85) 9.9926.4044

Andrei Gomes Simonassi
CAEN/UFC
agsimonassi@ufc.br

O Raio da Criminalidade: Delimitação e Alcance de Clusters Espaciais na Cidade de Fortaleza

Resumo

O artigo investiga os determinantes da criminalidade sob as dimensões econômica, demográfica e geográfica em um exercício empírico para o município de Fortaleza, tendo como foco a taxa de homicídio por bairros no ano de 2018. A Análise Exploratória de Dados Espaciais realizada permitiu identificar, além dos impactos econômicos e demográficos sobre o crime, o alcance deste fenômeno, com a formação de três *clusters* espaciais do tipo Alto-Alto, que ocorre quando bairros com altas taxa de homicídio estão correlacionados com bairros com taxas também altas, quais sejam: i) litoral leste compreendendo o bairro da Praia do Futuro; ii) sudoeste, com os bairros Siqueira, Granja Lisboa, Bom Jardim, Parque São José, Canindezinho e Planalto Ayrton Senna e; iii) sudeste da cidade, formado pelos bairros Pedras, Ancuri e Jangurussu. Por sua vez, há apenas um *cluster* do tipo Baixo-Baixo, localizado no Centro-Norte da cidade, e que envolve uma área que compreende desde o bairro do Pici e Parquelândia, ao bairro de Fátima e São João do Tauape, passando pelo Montese. Da estimação dos modelos de dependência espacial, infere-se que a densidade demográfica se mostrou negativamente correlacionada com a taxa de homicídio, resultado condizente com uma unidade territorial pequena (bairro), onde existe uma maior interação social e em que pode prevalecer o efeito vigilância. Adicionalmente, estima-se como sendo de 2,0 km o raio máximo para dependência espacial da criminalidade e, portanto, de seu alcance, que subsidia e delimitação de áreas para ações contra o crime. Por fim, constata-se que um aumento de R\$100,00 na renda média de um bairro reduziria em 5% sua taxa de homicídio, fato alinhado com o previsto na Teoria das Janelas Quebradas.

Palavras-chave: Taxa de Homicídios; Clusters; Dependência Espacial; Cidade de Fortaleza.

Abstract

The article investigates the determinants of crime from the economic, demographic and geographical dimensions in an empirical exercise for the municipality of Fortaleza, focusing on the homicide rate by neighborhoods in 2018. The Exploratory Analysis of Spatial Data allow us to identify, in addition to economic and demographic impacts, the range of this phenomenon, with the formation of three High-High spatial clusters, which occurs when neighborhoods with high homicide rates are correlated with others with high rates, such as: i) at the east coast, which includes Praia do Futuro district; ii) at the southwest, comprising Siqueira, Granja Lisboa, Bom Jardim, Parque São José, Canindezinho and Planalto Ayrton Senna, and iii) at the southeast of the city, at Pedras, Ancuri and Jangurussu neighborhoods. Otherwise, there is only one Low-Low cluster, involving some areas between Pici-Parquelândia and Fátima-São João do Tauape. From the estimation of spatial dependence models, it is inferred that the demographic density was negatively correlated with the homicide rate, a result consistent with a small territorial unit (neighborhood), where there is a greater social interaction and in which the surveillance effect may prevail. In addition, we find that 2.0 km is estimated as the maximum distance for spatial dependence of crime and, therefore, is the radius for delimitation of areas for actions against crime. Finally, it turns out that an increase of \$ 100.00 in the average income of a neighborhood would reduce by 5% its homicide rate, which is according to the Broken Window Theory.

Keywords: Homicide Rate; Clusters; Spatial Dependence; City of Fortaleza.

JEL Classification: B23; B32; C31

O Raio da Criminalidade: Delimitação e Alcance de Clusters Espaciais na Cidade de Fortaleza

1 Introdução

A evolução da criminalidade amplia o debate acerca deste problema que persiste como dos mais relevantes à sociedade brasileira e tem tido o Estado do Ceará e sua capital como protagonistas, principalmente sob a métrica das ocorrências de Crimes Violentos Letais Intencionais (CVLI). Com efeito, apesar de difundido em todo o território nacional, o crime tem alcançado índices em alguns centros ou espaços urbanos do país que são intoleráveis e, neste aspecto, há que se destacar como causa potencial a nova forma organizacional da prática criminosa, que transborda de ocorrências pontuais para regiões dominadas por ideologias de grupos, para os quais as táticas repressivas tradicionais já não mostram eficácia.

O novo estágio de configuração de uma criminalidade organizada tem como cerne as organizações criminosas, que disputam a hegemonia sobre as diversas atividades da comunidade ou de um território, dentre elas o tráfico de drogas, principal financiador deste processo evolucionário.

Os estudos mais recentes que se propuseram a investigar os determinantes da criminalidade apontam como causas a desigualdade de renda, o desemprego, a elevada proporção de jovens, mais suscetíveis ao ingresso no mundo do crime, baixo nível de escolaridade ou ainda a elevada densidade demográfica. Esses fatores que embasam uma teoria de que as origens da criminalidade remontam às precárias condições de vida dos centros urbanos, embora de extrema relevância, não são capazes de explicar o fenômeno em seu estágio atual, pois, se de um lado a última década apresentou melhoria dos indicadores sociais, de outro, as taxas de crimes aumentaram dramaticamente. A cidade de Fortaleza, como exemplo, possuía uma taxa de 28,2 homicídios por cem mil habitantes em 2000¹, que evoluiu para 75,3 CVLI² em 2017³. Concomitantemente, apresentou uma melhora na taxa de mortalidade infantil de 24,51 em 2002 para 11,35 em 2016 e um aumento da renda *per capita* de mais de 270%⁴ neste mesmo período.

Ocorre que um fator frequentemente negligenciado nesses estudos é a interação criminosa entre as unidades geográficas. É razoável supor, principalmente no estágio atual de planejamento em que se encontram os grupos criminosos no Brasil, que as práticas criminosas não se restrinjam a determinada localidade, já que tanto o nível de crime de um local é influenciado por suas adjacências como ele também as influencia.

Considerando o estágio atual da criminalidade no Brasil e a necessidade de políticas eficazes e efetivas no combate a essa chaga no Estado do Ceará, faz-se necessária uma investigação sob este novo prisma que incorpora a possibilidade de interações espaciais na prática de ilícitos. Alinhado com este objetivo, o artigo propõe investigar os determinantes da taxa de homicídio em um recorte para a Cidade de Fortaleza e em uma desagregação por bairros no ano de 2018. Especificamente, a estratégia metodológica consiste em uma Análise Exploratória de Dados Espaciais, com o cálculo do índice *I* de Moran global e local, com a identificação dos *clusters* da taxa de homicídio e a estimativa de alcance para o transbordamento

¹ Dados do Mapa da Violência 2012. Disponível em: www.mapadaviolencia.org.br

² CVLI são os Crimes Violentos, Letais e Intencionais, que incluem os homicídios dolosos, os latrocínios e lesões corporais seguidas de morte. A SSPDS não divulga informações apenas do número de homicídios.

³ Dados de CVLI disponibilizados pela SSPDS-CE. Dados da população (para o cálculo das taxas) da estimativa da população (IBGE).

⁴ A renda *per capita* de 2002 foi de R\$ 4.673 e a de 2016 de R\$ 22.093 com uma inflação acumulada no período de 100,46%. Dados da renda *per capita* do Perfil Municipal de Fortaleza elaborado pelo IPECE e dados da inflação do IBGE.

das ações criminosas, a partir da qual se viabiliza a elaboração de políticas públicas eficazes e efetivas até de forma descentralizada entre bairros ou áreas de segurança.

Além desta introdução, o trabalho é dividido da seguinte maneira: a seção 2 destaca brevemente uma literatura acerca dos estudos que incorporam a dependência espacial na modelagem da criminalidade; a seção 3 traz algumas evidências das ocorrências de ilícitos na Cidade e demais variáveis utilizadas no estudo; a seção 4 explicita a metodologia da pesquisa, tanto na identificação dos padrões espaciais quanto dos modelos econométricos estimados; a seção 5 apresenta os resultados do estudo e, por fim, a seção 6 expõe as considerações finais.

2 O Papel da Vizinhança nos Estudos de Criminalidade

A década de 1970 pode ser definida como marco dos estudos envolvendo econometria espacial, conforme se verifica em Paelinck and Klaassen (1979), Bartels and Ketellapper (1979), Bennett (1979) e Hordijk (1979)⁵, ganhando maior relevo na década de 1980 com as publicações de Luc Anselin (1988a), (1988b) e (1995), sendo este último o de destaque para este estudo pela contribuição com o Índice de Autocorrelação Espacial Local⁶.

Em meados da década de 1990 as contribuições internacionais são impulsionadas com o desenvolvimento da Teoria das Janelas Quebradas⁷, divulgada em Kelling e Coles (1996) e que inova ao considerar a influência da desordem no meio urbano ou local sobre a incidência da prática criminosa. Tem-se assim uma medida de efeito transbordamento cultural.

Mais recentemente, Baller *et al.* (2004) buscaram explicar a taxa de homicídio dos condados dos estados americanos no período de 1960 a 1990. Em uma análise agregada, foi constada a dependência espacial na taxa de homicídios e uma clara separação de dois *clusters* espaciais distintos: de baixas taxas no norte e nordeste e altas taxas no sul. Os autores então desagregaram a amostra em Sul e não-Sul e concluíram que enquanto o primeiro grupo se adequa melhor a um modelo de defasagem espacial no segundo a dependência espacial foi identificada apenas no termo de erro.

Contemporaneamente, Griffiths e Chavez (2004) inovaram ao mesclar técnicas que captam tendências temporais e espaciais na taxa de homicídio entre 1980 e 1995 para 831 setores censitários da cidade de Chicago. O estudo concluiu que o agrupamento mais violento é também o mais volátil a mudanças temporais na taxa de homicídio.

Em uma perspectiva nacional, Plassa, Paschoalino e Santos (2017) buscaram mensurar os determinantes da taxa de homicídios dos municípios do Nordeste do Brasil, considerando a dimensão espacial e concluíram, por meio de Análise Exploratória dos Dados, que existe um *cluster* no litoral nordestino em que municípios com a altas taxas de homicídio se localizam próximos a municípios com essa mesma característica. Ademais, a desigualdade de renda, medida pelo índice de Gini, foi o fator que mais impactou (positivamente) na taxa de crime.

De forma semelhante, Anjos Júnior, Ciríaco e Silva (2016) tiveram como escopo os municípios da região Sul do Brasil e verificaram que a maior parte dos *clusters* da taxa de homicídio se concentram no estado do Paraná, sendo a taxa de desemprego, a densidade demográfica e as características de cada estado relevantes para explicar a criminalidade. O estudo considerou ainda a importância da inércia na prática de atividade criminosa, que mostrou impacto significativo na referida investigação.

⁵ Anselin (2010) traz uma extensa revisão de literatura das publicações relativas à Econometria Espacial, em especial no que tange a sua parte teórica.

⁶ *Local Indicator of Spatial Association* – LISA.

⁷ “*Broken Windows Theory*” é modelo de política de segurança pública no enfrentamento e combate ao crime utilizado nos Estados Unidos e tem como fundamento que a desordem é causa de elevação dos índices da criminalidade.

Sass, Porsse e Silva (2016) verificaram a presença de dependência espacial positiva na taxa de homicídios dos municípios do estado do Paraná e, através da estimação de diversos modelos espaciais, concluíram que os fatores que mais influenciam nessa taxa são a taxa de pobreza e o grau de urbanização.

Tendo como escopo os municípios mineiros Farias, Figueiredo e Lima (2008), identificam que existe dependência espacial tanto para os crimes contra o patrimônio quanto para os crimes violentos contra a pessoa e que há uma clara distinção dos municípios que compõem os *clusters* nesses dois tipos de crime. Assim, os autores concluíram que as políticas públicas não podem ser focadas em um só município, pois o crime pode migrar para os municípios vizinhos, e têm que ser distintas a depender do tipo de crime que se deseja combater.

Também fazendo uma diferenciação dos tipos de crime, Araújo e Vieira (2017) realizaram um estudo para verificar os transbordamentos espaciais entre os municípios do estado de São Paulo. Para tal, os autores utilizaram uma série de variáveis econômicas, sociais, locais, além da produtividade policial, que se mostrou negativamente relacionada com os dois tipos de crime. Um resultado que merece destaque é o em relação ao efeito da densidade demográfica. Enquanto para os crimes contra o patrimônio os autores encontram uma relação positiva, o inverso ocorre para os crimes contra a pessoa.

Para o município de Fortaleza, Medeiros, Carvalho e Oliveira (2016), em um estudo a nível de UDH (Unidades de Desenvolvimento Humano), agregação geográfica menor que bairros, desenvolvido pela PNUD, analisam o papel da demografia nos CVLI. De acordo com o estudo, IDH, proporção da população vivendo em apartamento/condomínio e infraestrutura policial impactam negativamente a taxa de CVLI, enquanto o índice de Gini, positivamente. Em todos os modelos propostos, a dependência espacial se mostrou significativa.

Outro resultado de destaque com a evolução desta literatura concerne à relação entre a densidade demográfica e a taxa de CLVI. Segundo Regoeczi (2002), existe uma relação não linear entre esses fatores. Se por um lado, existe o argumento de que um maior adensamento populacional está diretamente relacionado à prática ilícita no sentido de que favorece o anonimato, por outro existe o efeito vigilância em função de uma maior interação social. Medeiros, Carvalho e Oliveira (2016) testaram esta hipótese e concluíram inicialmente a relação entre densidade e taxa de CVLI é negativa, mas a partir de um determinado nível passa a ser positiva.

Hartung (2009) também estudou a relação entre criminalidade e demografia em uma abordagem que leva em consideração os fatores associados à taxa de fecundidade da população defasada em vinte anos. Nessa perspectiva, a proporção de crianças entre cinco e quinze anos criadas por famílias monoparentais e nascidas de mães adolescentes, que, após vinte anos, representaria a população mais propensa a cometer delitos, se mostrou bastante significativa para explicar a criminalidade hoje. Além disso, quando estas variáveis foram incluídas no modelo a desigualdade, medida pelo índice de Gini, antes significativa, perdeu o seu poder de explicação, o que, segundo os autores, poderia estar indicando que, em muitos estudos, a importância da desigualdade pode estar sendo superestimada, uma vez que o que seriam os fatores demográficos e não econômicos que mais impactariam a taxa de homicídio.

3 Evidências para o Estado do Ceará e Recortes para Cidade de Fortaleza

3.1 Base de Dados

A base de dados de criminalidade foi obtida no sítio eletrônico da Secretaria de Segurança Pública do Estado do Ceará (SSPDS-CE), de um relatório divulgado diariamente que contém informações sobre a natureza e o local de cada ocorrência registrada pelo CIOPS.

As informações dos 363 relatórios diários do ano de 2018⁸ foram consolidadas e a natureza da ocorrência foi categorizada. Os crimes foram divididos em homicídio, roubo, furto, tráfico de drogas, porte de arma e outros. Para atestar a confiabilidade dos dados, foi comparado o total de ocorrências do Relatório Diário com a quantidade divulgada mensalmente pela própria SSPDS-CE para os crimes de homicídio (CVLI), roubo e furto⁹. As informações referentes ao número de homicídios foram as que mais se aproximam da estatística oficial, sendo, por esta razão, a variável selecionada como proxy para o exercício empírico deste estudo. A Tabela 1 resume tais evidências.

Tabela 1: Estatísticas para Crimes Selecionados no Estado do Ceará em 2018

Crime	Dados Diários Consolidados	Estatística Oficial
Homicídio	1.259	1.482
Roubo	385	30.885
Furto	62	25.880

Fonte: Elaboração própria dados do “Relatório Diário e Estatística de Área Integradas de Segurança” (SSPDS)

Complementando as informações sobre criminalidade, tem-se as informações referentes à população total e a renda média, por bairro, que foram cedidas pelo IPECE, Instituto de Pesquisa Econômica da Ceará, a partir de dados do Censo (2010) do IBGE, último disponível.

3.2 Panorama Demográfico e Socioeconômico do Município de Fortaleza

O município de Fortaleza é o quinto mais populoso do país, com cerca 2,5 milhões de habitantes, divididos em 119 bairros¹⁰ e níveis de concentração populacionais e de riqueza relativamente comuns aos das demais capitais do país.

Visando a apresentação de um panorama espacial da distribuição demográfica e de riqueza, a Figura 1 apresenta a densidade demográfica da capital cearense de acordo com seus bairros e ranqueada por quartis¹¹ populacionais, de onde se constata que a zona oeste é onde predominam os mais elevados índices de densidade demográfica, enquanto a região leste concentra a maior parte dos bairros do grupo dos 25% menos densamente povoados.

⁸ Não foram divulgadas informações, até a data de coleta de dados, referentes aos dias 29/06/18 e 10/09/18.

⁹ Os crimes de porte de arma e tráfico de drogas não são diretamente comparáveis, pois a estatística oficial divulgada pela SSPDS-CE é referente à quantidade apreendida e não ao total de ocorrências.

¹⁰ Para efeito desse estudo serão considerados apenas 115 bairros, pois foram desconsiderados desmembramentos de bairro posteriores a 2010 (Criação dos bairros de Aracapé (Mondubim), Olavo Oliveira (Quintino Cunha), Novo Monbubim (Manoel Sátiro) e Parque Santa Maria (Ancuri). Além disso os bairros Conjunto Ceará I e Conjunto Ceará II foram considerados um só, assim como Praia do Futuro I e Praia do Futuro II. Isto porque no “Relatório Diário” da SSPDS não fazia distinção entre eles.

¹¹ Todos os mapas apresentados nesta seção utilizarão este mesmo critério (quartil) para categorização das variáveis.

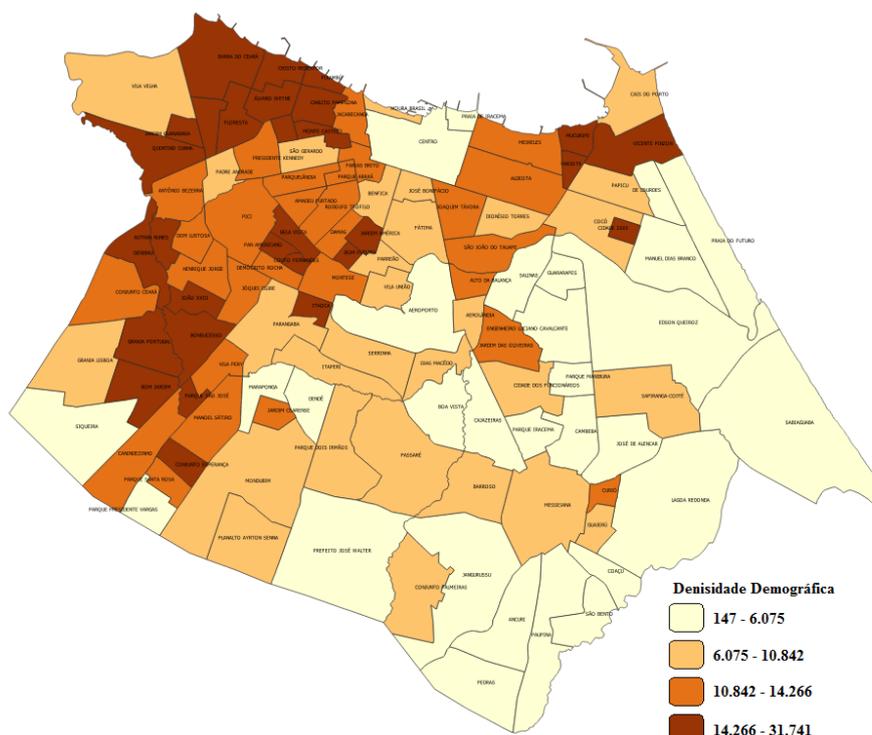


Figura 1: Densidade Demográfica por Bairros da Cidade de Fortaleza
 Fonte: elaboração própria com base nos dados do Censo (2010) cedidos pelo Ipece-CE

Complementando a análise socioeconômica espacial da Cidade de Fortaleza, a Figura 2 mostra a distribuição da renda média mensal entre os bairros da cidade. Nota-se que existe uma concentração geográfica dos bairros com maior nível de renda no centro-norte da cidade e uma baixa associação com o oeste da cidade, que compreende a maior parte da população.

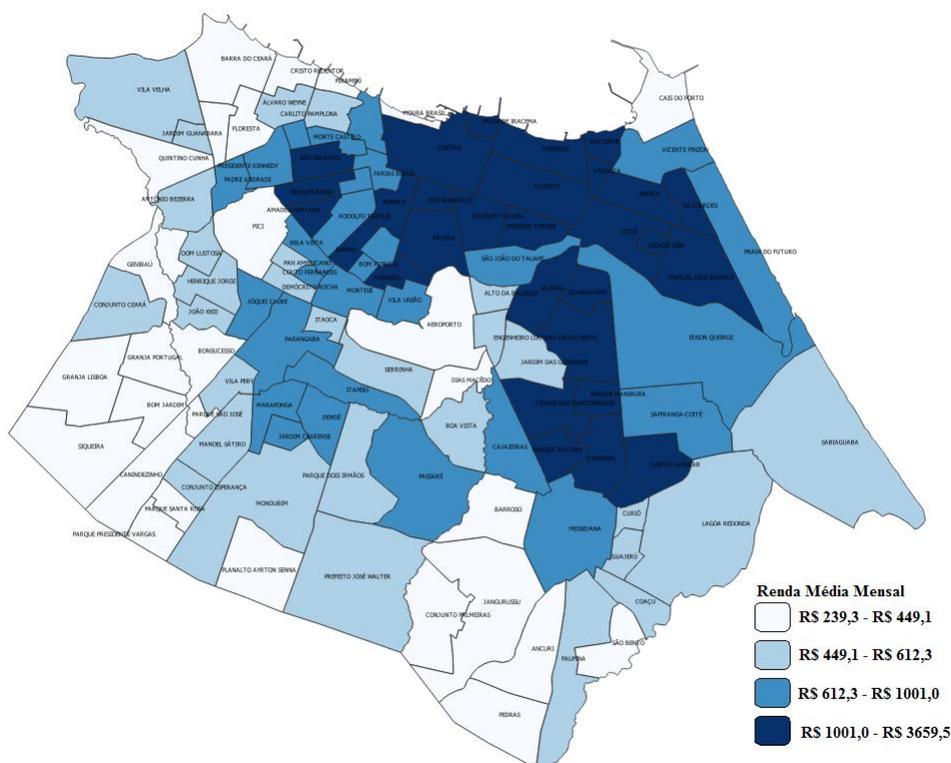


Figura 2: Renda Média Mensal
 Fonte: elaboração própria com base nos dados do Censo (2010) cedidos pelo Ipece-CE

A sobreposição das figuras 1 e 2 permitiria destacar a região oeste da cidade, por sua elevada densidade demográfica e baixo nível de renda e o Centro como a região de renda mais elevada e média densidade demográfica.

Uma vez constatado que Fortaleza é uma cidade apartada tanto em população quanto em riqueza, resta investigar a sobreposição destes atributos em relação às ocorrências criminosas na cidade.

3.3 Distribuição Espacial do Crime em Fortaleza

Considerando a variável proxy de criminalidade que será aplicada aos exercícios empíricos com dados espaciais, a Figura 3 mostra a distribuição da taxa de homicídios por bairro em Fortaleza no ano de 2018, novamente em uma classificação por quartis de ocorrências.

O mapa da criminalidade apresentado fornece subsídios que corroboram o previsto pela Teoria das Janelas Quebradas: os casos de homicídios são menos frequentes nas regiões com renda mais elevada que coincidem, em regra, aos bairros com melhor ordenamento e organização do espaço público.

De outro modo, as evidências da Figura 3 reforçam o argumento anterior de que a baixa renda e a elevada densidade demográfica não exaurem os determinantes das ocorrências de homicídios. Com efeito, altas taxas de homicídio também se verificam na vizinhança de áreas com elevados níveis de renda, como é o caso do Centro, Papicu, José Bonifácio e Praia de Iracema, apenas para citar alguns exemplos.

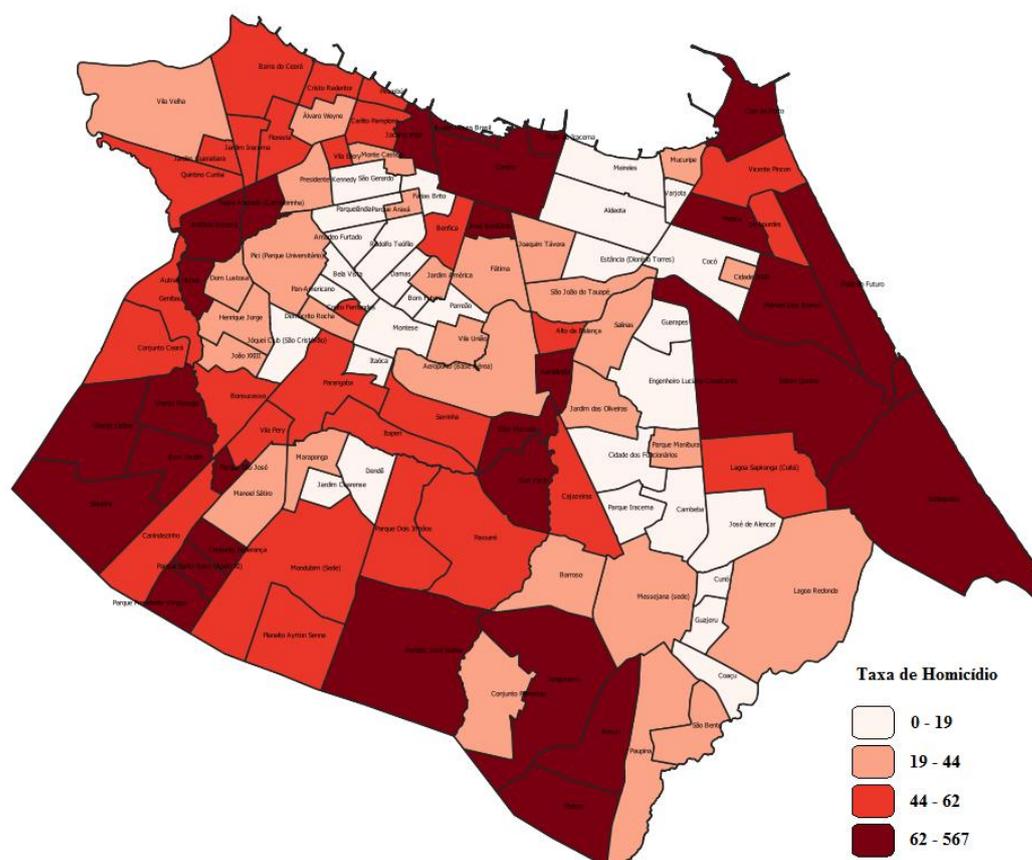


Figura 3: Taxa de Homicídio por bairros – 2018

Fonte: elaboração própria com base nos dados do “Relatório Diário” da SSPDS

Ainda assim, explicita-se que os bairros classificados no primeiro e no segundo quartil, ou seja, os 50% dos bairros com menores taxas de homicídio, se localizam, majoritariamente, na região central, que, como visto na subseção 3.2, é a região que concentra os bairros com maior riqueza e nível de escolaridade. Há também um agrupamento deste tipo na região sudeste, bem como é ainda possível identificar cinco agrupamentos dos 25% de bairros com maiores taxas. Os maiores conglomerados são no litoral leste e na parte sudoeste da cidade.

A análise gráfica apresentada oferece um bom indicador sobre o comportamento de determinados fenômenos, entretanto, como se observa, as exceções supracitadas e a necessidade de identificação de padrões espaciais comprovam ser necessária a realização de uma Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). Esta pode ser definida como um conjunto de técnicas que buscam identificar padrões espaciais (Almeida, 2005) e será objeto do exercício empírico cuja metodologia segue na seção seguinte.

4 Metodologia

4.1 Análise Exploratória de Dados Espaciais

A técnica de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) mais comumente usada é dada pelo índice I de Moran que verifica se a hipótese de que os dados espaciais são distribuídos aleatoriamente é verdadeira cuja estatística é pela seguinte fórmula:

$$I = \frac{n}{\sum \sum w_{ij}} \frac{\sum \sum w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Em que n representa o número de unidades espaciais, y_i o valor da variável de interesse e w_{ij} é a matriz de pesos (ou ponderação) espaciais entre as unidades espaciais i e j . No presente estudo, as unidades espaciais são os bairros, e a variável de interesse é a taxa de homicídio. A matriz de ponderação é definida a partir de critérios sobre o que caracteriza vizinhança. Esses critérios podem ser baseados em critérios de contiguidade ou de distância.

Para a escolha da matriz, geralmente utiliza-se o procedimento descrito por Almeida (2012), que consiste em estimar o modelo clássico de regressão linear, testar se existe autocorrelação espacial nos resíduos obtidos utilizando para tal a estatística I de Moran para cada matriz de ponderação e escolhendo a matriz da qual se obteve o maior valor da estatística.

Este, contudo, não será o procedimento utilizado neste estudo. Como a unidade espacial é pequena (bairros), optou-se pela utilização do critério de distância fixa, da seguinte forma: calcula-se o coeficiente I de Moran para uma distância pequena e analisa-se a significância. Caso seja significativo, ou seja, caso haja dependência espacial, calcula-se novamente para uma distância maior. O procedimento será repetido até que não se possa mais rejeitar a hipótese nula de aleatoriedade espacial. Adicionalmente, serão expostos os valores de acordo com os critérios de contiguidade (rainha e torre) para fins de comparação.

Após a definição da matriz de pesos, utiliza-se a coeficiente I de Moran para a construção de um diagrama de dispersão bivariado em que em cada eixo é plotado os valores da variável de interesse padronizada, um eixo para região i e outro para a região j . Os quatro quadrantes do diagrama representam agrupamentos das unidades espaciais que podem ser Alto-Alto (AA), Baixo-Baixo (BB), Alto-Baixo (AB) e Baixo-Alto (BA). Assim, unidades espaciais localizadas no quadrante AA são aquelas que possuem alto valor da variável de interesse, que está localizada perto de outra com valor também elevado. O mesmo raciocínio serve para os demais grupos.

O próximo passo da AEDE é a identificação de *clusters* espaciais locais. Para tal, o método mais utilizado é o proposto por Anselin (1995) denominado LISA (*Local Indicator of Spatial Association*).

4.2 Modelos de Dependência Espacial

Uma vez detectado que existe autocorrelação espacial, a estimação de qualquer modelo que a desconsidere gerará estimativas viesadas. A incorporação da defasagem espacial no modelo pode ser de diversas maneiras. Neste estudo, serão tratadas a dependência na variável dependente (modelo SAR – *Spatial Autoregressive Model*) e no termo de erro (modelo SEM – *Spatial Error Model*), cujas formas funcionais estão expressas nas equações abaixo:

$$\begin{aligned} \text{SAR: } y &= \rho W y + X\beta + \varepsilon \\ \text{SEM: } y &= X\beta + \xi, \text{ com } \xi = \lambda W \xi + \varepsilon \end{aligned}$$

W é a matriz de pesos espaciais definida anteriormente e ρ e λ são os coeficientes de defasagem espacial, com valores que variam de -1 a 1, para os respectivos modelos SAR e SEM.

Para a escolha do modelo mais adequado, será utilizado o critério proposto por Almeida (2012). O primeiro passo é a estimação dos modelos e a realização do teste do Multiplicador de Lagrange (LM), proposto por Anselin (1988b), cuja hipótese nula é ausência de autocorrelação espacial. Caso esta hipótese não seja rejeitada para as estatísticas LM_ρ (modelo SAR) e LM_λ (modelo SEM), utiliza-se o Modelo Clássico de Regressão Linear. Se for rejeitada apenas para um dos modelos, este será o escolhido e, caso seja possível rejeitar para os dois, calcula-se as estimativas robustas e escolhe-se a mais significativa.

No presente estudo, o fenômeno que se busca explicar é a taxa de homicídio por cem mil habitantes e para tal utilizam-se os seguintes indicadores, amplamente aplicados na literatura:

- *Renda média mensal*: espera-se que o valor da renda de uma determinada região seja inversamente proporcional ao número de homicídios. Essa relação, de acordo com os resultados obtidos na literatura, é inversa no caso dos crimes contra o patrimônio.
- *Densidade Demográfica*: não é possível definir *a priori* a relação entre homicídio e densidade. Enquanto alguns estudos como Gomes *et al.* (2017), Garcia Neto *et al.* (2017), Plassa, Paschoalino e Santos (2017) entre outros obtiveram que essa relação é direta, Medeiros, Carvalho e Oliveira (2016), como base em Regoeczi (2002), concluiu que essa relação é não linear, sendo negativa no início e, apenas a partir de um determinado nível, positiva.
- *Ambiente violento*: É cediço que um ambiente já maculado pela prática de diversas ações delituosas é mais próprio ao cometimento de novos crimes, incluindo homicídio. Para mensurar este ambiente, serão utilizados a taxa de dois tipos de delitos: roubo e tráfico de entorpecentes.
 - *Taxa Roubo*: a taxa de roubos por cem mil habitantes por bairros foi retirada do “Relatório Diário” e, embora tenha problemas de subregistro, supõe-se que este ocorre uniformemente em todos os bairros
 - *Taxa de Entorpecentes*: é dada pela soma das ocorrências tipificadas como tráfico e apreensão de drogas por cem mil habitantes. Indiretamente, esse indicador pode refletir a presença de facções criminosas.

A taxa de homicídio será considerada em logaritmo, de forma que os valores dos coeficientes expressam uma semi-elasticidade. Assim, os modelos SAR e SEM estimados podem ser escritos, respectivamente, como:

$$homic_i = \beta_0 + \rho W y_{homic_i} + \beta_1 renda_i + \beta_2 densidade_i + \beta_3 densidade_i^2 + \beta_4 roubo_i + \dots + \beta_5 entorpecentes_i + \varepsilon_i \quad (4.2.1)$$

$$homic_i = \alpha_0 + \alpha_1 renda_i + \alpha_2 densidade_i + \alpha_3 densidade_i^2 + \alpha_4 roubo_i + \dots + \alpha_5 entorpecentes_i + \xi_i, \text{ com } \xi_i = \lambda W \xi_i + \varepsilon_i \quad (4.2.2)$$

4.3 Procedimento do Exercício Empírico

Diante do exposto, o exercício empírico a ser realizado seguirá os seguintes passos:

1. Definição do conjunto de matrizes de pesos espaciais com base no critério de distância fixa;
2. Cálculo do coeficiente I de Moran para verificação se existe dependência espacial global com a matriz definida em 1;
3. Caso não se rejeite a hipótese nula de aleatoriedade espacial, repete-se o procedimento 1 e 2 considerando uma distância maior até que não seja mais possível rejeitar a hipótese nula, ou seja, encontrar a distância tal que não haja mais autocorrelação espacial entre os bairros;
4. Escolher o modelo com maior I de Moran;
5. Com base na matriz de pesos escolhida, identificar os *cluster* espaciais segundo os critérios AA (Alto-Alto), AB (Alto-Baixo), BA (Baixo-Alto) e BB (Baixo-Baixo);
6. Estimar o Modelo de Mínimos Quadrados Ordinários e testar os resíduos para autocorrelação espacial.
7. Se existe dependência espacial, realizar testes de Multiplicadores de Lagrange (LM), considerando dois tipos de autocorrelação espacial: na dependente, LM_ρ , e nos resíduos, LM_λ .
8. A hipótese nula do teste LM é de aleatoriedade espacial. Há quatro possibilidades de combinação dos resultados:
 - a. Não rejeita a hipótese nula de nenhum dos modelos. Procedimento: estima-se o MQO;
 - b. Rejeita a hipótese nula de LM_ρ e não rejeita de LM_λ . Procedimento: estima-se o modelo SAR (defasagem espacial na variável dependente);
 - c. Não rejeita a hipótese nula de LM_ρ e rejeita de LM_λ . Procedimento: estima-se o modelo SEM (dependência espacial no termo de erro);
 - d. Rejeita a hipótese nula dos dois modelos. Procedimento: realiza os testes LM_ρ robusto e LM_λ robusto. Repete-se o critério de escolha de a a c e, caso novamente rejeite-se ambas as hipóteses nulas, se escolhe o modelo com maior índice.
9. Análise dos coeficientes do modelo estimado.

5 Resultados

A Tabela 2 mostra os valores do coeficiente I de Moran para Análise da Dependência Espacial da criminalidade. Tais informações são especialmente relevantes para este estudo pois a eventual ocorrência deste fenômeno sugere efeito transbordamento da criminalidade de um bairro para outro. Por sua vez, a iteração deste exercício com uma ampliação progressiva do raio para investigação do alcance geográfico da correlação espacial entre os determinantes do crime compreenderá o procedimento que permite definir *clusters* de criminalidade na região analisada, no caso a Cidade de Fortaleza.

Assim sendo, tem-se o *range* da investigação analisada, de onde se percebe que à medida que a distância aumenta, o valor do coeficiente diminui até que, no raio de 2,0 km, o coeficiente passa a não ser mais significativo, sob a hipótese nula de aleatoriedade espacial, ou seja, quanto mais próximas as regiões, mais a taxa de homicídio de um lugar será influenciada pela taxa de homicídio do vizinho. O limiar de 2,0 km pode ainda ser interpretado como delimitador da área de influência de uma organização criminosa, por exemplo.

Tabela 2: Coeficiente *I* de Moran para Análise da Dependência Espacial da Criminalidade na Cidade de Fortaleza, 2018.

Método	Coeficiente	p-valor
Distância Fixa		
0,5 Km	0,4302	0,001
1,0 Km	0,2774	0,001
1,5 Km	0,0873	0,001
2,0 Km	0,0124	0,104
Contiguidade		
Rainha	0,330	0,001
Torre	0,324	0,001

Fonte: elaboração própria utilizando o software Geoda.

Os valores dos coeficientes do índice de *I* de Moran, segundo os critérios de contiguidade, mostraram-se semelhantes ao de distância fixa de 1,0 km e, como a uma distância de 0,5 km muitos bairros se apresentam isolados (sem vizinhos), optou-se pela escolha da matriz de pesos espaciais utilizando o critério de 1,0 km¹².

De forma complementar, tem-se o Índice de Associação Local proposto por Anselin (1995) (LISA¹³) para a identificação dos *clusters* espaciais, cuja literatura reforça a sua investigação uma vez detectada a existência de autocorrelação global, conforme atestado pelo Coeficiente *I* de Moran da Tabela 2. A Figura 4 apresenta os resultados com os diversos tipos de *clusters* detectados.

De acordo com o mapa, é possível identificar três agrupamentos de bairros Alto-Alto, ou seja, bairros com altas taxas de homicídios cercados por bairros com também altas taxas. O *cluster* localizado a sudoeste inclui os bairros Siqueira, Granja Lisboa, Bom Jardim, Parque São José, Canindezinho e Planalto Ayrton Senna. O do Sudeste é formado pelos bairros Pedras, Ancuri e Jangurussu, e o da região leste pelo bairro da Praia do Futuro¹⁴.

¹² Essa também é matriz com maior coeficiente *I* de Moran calculado a partir dos resíduos do Modelo Clássico de Regressão Linear, conforme será exposto na Tabela 3.

¹³ Local Indicator of Spatial Association.

¹⁴ Os bairros em cinza escuros são aqueles cuja média não é diferente, em termos estatísticos, da média de todos os bairros, haja vista se tratar de uma variável padronizada (Almeida, 2012) e o bairro cinza claro (Sabiaguaba) é o único que, segundo os critérios escolhidos, não tem vizinho.

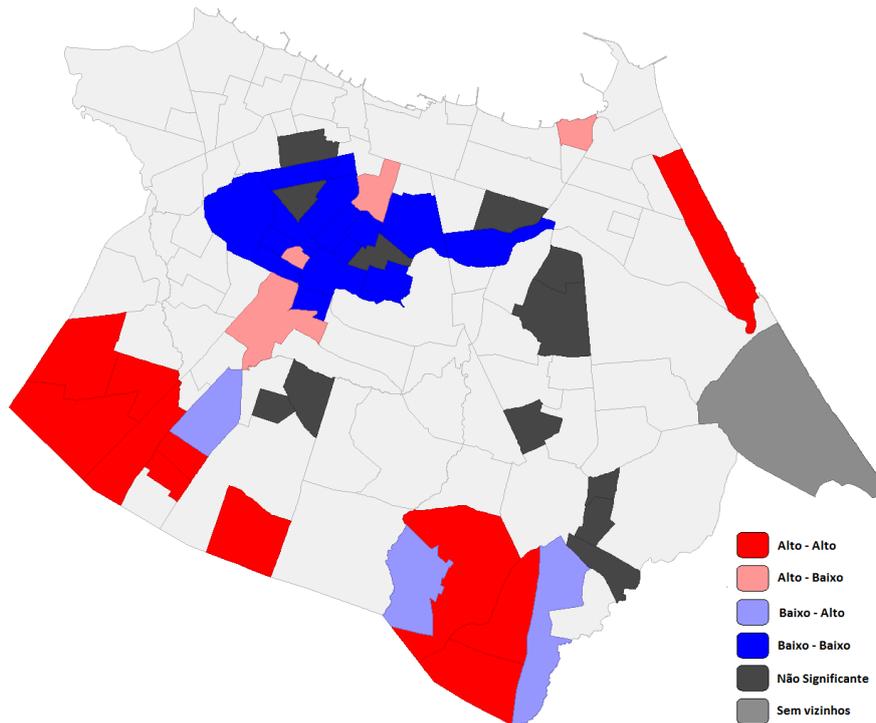


Figura 4: Mapa LISA - Clusters Espaciais de Criminalidade

Fonte: elaboração própria utilizando o software Geoda.

Complementando, a Tabela 3 traz os resultados do coeficiente I de Moran nos resíduos da regressão do Modelo de Mínimos Quadrados Ordinários, dos testes do Multiplicador de Lagrange (LM) e dos testes de normalidade ($Jarque-Bera$ ¹⁵) e de heterocedasticidade ($Koenker-Basset$ ¹⁶).

Tabela 3: Testes para Autocorrelação, Heterocedasticidade e Normalidade

	0,5 Km	1,0 Km	1,5 Km	2,0 Km	Rainha	Torre
<i>Moran's I</i>	2,38 (0,01)	4,44 (0,00)	3,72 (0,00)	1,57 (0,12)	4,19 (0,00)	3,87 (0,00)
<i>LM_ρ</i>	0,16 (0,69)	0,02 (0,89)	1,88 (0,17)	0,19 (0,67)	13,81 (0,00)	12,69 (0,00)
<i>LM_ρ robusto</i>	0,24 (0,62)	6,77 (0,01)	0,19 (0,66)	1,22 (0,27)	1,51 (0,22)	1,94 (0,16)
<i>LM_λ</i>	4,08 (0,04)	11,33 (0,00)	4,86 (0,03)	0,11 (0,74)	12,49 (0,00)	10,77 (0,00)
<i>LM_λ robusto</i>	4,17 (0,04)	18,09 (0,00)	3,17 (0,08)	1,14 (0,29)	0,19 (0,66)	0,02 (0,88)
<i>Jarque-Bera</i>	1,91 (0,39)				<i>Koenker-Basset</i>	4,99 (0,42)

Fonte: elaboração própria. Nota: *valor-p* entre parênteses.

¹⁵ A hipótese nula é de normalidade do termo de erro.

¹⁶ A hipótese nula é de homocedasticidade.

Para todas as matrizes de pesos espaciais, o coeficiente I de Moran nos resíduos é significativo, indicando que uma parte da regressão, o componente espacial, que é estatisticamente relevante, não está sendo especificado e, portanto, os resultados da regressão clássica serão viesados. Em relação ao diagnóstico dos resíduos da regressão, a não rejeição das hipóteses nula indica que os resíduos são homocedásticos e com distribuição normal.

Os testes LM para as matrizes de peso de distância fixa se mostraram bastante semelhantes: não se rejeita aleatoriedade espacial na defasagem da taxa de homicídio (LM_ρ - Modelo SAR) e rejeita-se na dependência espacial do termo de erro (LM_λ - Modelo SEM), indicando que o modelo que deve ser escolhido é o Modelo de Erro Autorregressivo Espacial (SEM). O modelo que será estimado será o com a distância de 1 km, pois este apresentou maior valor de I de Moran. A Tabela 4 traz os resultados das regressões.

Tabela 4: Resultado das Regressões Estimadas para Criminalidade

Dependente: logaritmo da taxa de homicídio

Modelos:

$$homic_i = \beta_0 + \rho W y_{homic_i} + \beta_1 renda_i + \beta_2 densidade_i + \beta_3 densidade_i^2 + \beta_4 roubo_i + \beta_5 entorpecentes_i + \varepsilon_i$$

$$homic_i = \alpha_0 + \alpha_1 renda_i + \alpha_2 densidade_i + \alpha_3 densidade_i^2 + \alpha_4 roubo_i + \alpha_5 entorpecentes_i + \xi_i, \\ \text{com } \xi_i = \lambda W \xi_i + \varepsilon_i$$

Regressores	OLS	SAR	SEM
Constante	4,3154* [0,191]	4,3747* [0,500]	4,4948* [0,241]
Renda Média Mensal	-0,0005* [0,0001]	-0,0005* [0,0001]	-0,0005* [0,0001]
Densidade	-0,00004* [0,00001]	-0,00004* [0,00001]	-0,00003** [0,00001]
Densidade ²	0,0000 [0,000]	0,0000 [0,000]	0,0000 [0,000]
Taxa Roubo	0,0018 [0,002]	0,0018 [0,002]	0,0026 [0,002]
Taxa Entorpecentes	0,0027* [0,001]	0,0027* [0,0007]	0,0020* [0,001]
ρ		-0,0157 [0,120]	
λ			0,5812* [0,126]
R ²	0,3549	0,3550	0,4477

Fonte: elaboração própria

Nota: desvio-padrão entre parênteses; * Significante a 1%; ** Significante a 5%;

Conforme esperado, a renda média de um bairro está negativamente correlacionada com sua taxa de homicídio, de forma que um aumento de 100 reais na média da renda de uma localidade gera uma redução de 5% na taxa de homicídio. Este achado coaduna com o previsto na Teoria das Janelas Quebradas citada anteriormente, em virtude da correlação direta entre renda e organização da área urbana.

A densidade demográfica também se mostrou significativa, negativamente relacionada com a taxa de homicídio. Este resultado difere do comumente encontrado na literatura e até mesmo do censo comum de que criminalidade é um problema dos grandes aglomerados

urbanos. Entretanto, há de se ressaltar que os estudos que encontram uma relação positiva têm como unidade espacial, em sua maioria, municípios, ou seja, uma unidade territorial extensa. No presente estudo, é de se esperar que, por se tratar de um espaço geográfico menor, em que as pessoas se conhecem e interagem mais entre si, é provável que exista uma maior vigilância por parte da própria população, de forma que a densidade seja negativamente relacionada com o número de crimes. A densidade ao quadrado, que captaria o efeito não-linear argumentado por Regoeczi (2002), não se mostrou significativa.

Por fim, os indicadores taxa de entorpecentes e taxa de roubos, que buscam medir o nível de criminalidade já arraigada na localidade vai ao encontro dos resultados já obtidos na literatura: enquanto os crimes relacionados ao tráfico de entorpecentes que, como exposto, podem ser um indicativa da presença de facções criminosas na região, impactam positivamente na taxa de homicídio, o crime de roubo não se mostrou significativo, o que reforça a ideia que este tipo de delito é mais propício de ocorrer em regiões economicamente mais atraentes.

Por fim, o coeficiente da dependência espacial no erro, λ , também foi positivo e significativo. Isso significa que fatores não observados de um determinado bairro afetam não só a taxa de homicídio dessa localidade, mas também dos bairros vizinhos, ponderados pela matriz de pesos espaciais.

Esses fatores podem ser em parte de ordem socioeconômica não observada como, por exemplo, desigualdade econômica ou infraestrutura do bairro, ou também de ordem social, como a disputa pelo controle do tráfico de drogas, não sendo possível afirmar o que mais tem influência.

6 Considerações Finais

O estudo considera a evolução do fenômeno da criminalidade e seus impactos no bem-estar social para propor uma metodologia de investigação dos determinantes de ocorrências de Crimes Violentos Letais Intencionais (CVLI) que leva em consideração, além dos fatores socioeconômicos tradicionais, os transbordamentos espaciais da prática criminosa. Não obstante, como *proxy* para os ilícitos selecionados na análise, restringe-se a investigação à modalidade mais nociva, qual seja os casos de homicídios na capital cearense.

Uma vez que a taxa de homicídio não se distribui uniformemente por toda a extensão do território da capital do Estado do Ceará, optou-se por utilizar a unidade territorial de bairros para condução de uma análise desagregada, a qual, além de permitir uma melhor inferência sobre os determinantes do crime, ainda possibilita a investigação acerca de como a taxa de homicídio de uma determinada localidade é impactada pelas ocorrências nas localidades vizinhas. Este é o denominado efeito transbordamento dos índices de criminalidade de um bairro para outro.

Ressalte-se que a maioria dos estudos que tratam da questão da dependência espacial das taxas de crimes o fazem entre municípios. Embora importante, esse tipo de análise é mais limitado no sentido de que os transbordamentos entre os municípios devem se dar, primordialmente, na região de fronteira entre eles. Assim, um crime que ocorre dentro do mesmo município, mas em uma região distante geograficamente da fronteira não deve ter a mesma influência que outro que ocorra perto. Além disso, a análise municipal não dá ao gestor público subsídios suficientes para elaboração de políticas públicas setoriais eficazes. Desta forma, uma das grandes contribuições deste estudo é a desagregação da análise em bairros que permitirá ainda, fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas locais mais eficazes no combate à criminalidade em seu estágio de organização atual.

Foram identificadas três áreas com altas taxas de homicídio em que a dependência espacial se mostrou significativa. No sudoeste da cidade, composto pelos bairros Siqueira, Granja Lisboa, Bom Jardim, Parque São José, Canindezinho e Planalto Ayrton Senna, na porção sudeste, com os bairros Pedras, Ancuri e Jangurussu e no litoral leste, no bairro Praia do Futuro. Todos esses *clusters* se localizam em regiões mais distantes do centro da cidade e são

compostos por bairros que, em sua maioria, se enquadram como os 25% mais violentos em termos de taxa de homicídio.

Adicionalmente, identifica-se um agrupamento em que ocorrem transbordamentos positivos em relação à taxa de homicídios, ou seja, bairros com baixas taxas de homicídios impactando bairros com também baixas taxas. Esse *cluster* é formado pelos bairros de Fátima, São João do Tauape, Rodolfo Teófilo, Damas, Jardim América, Bom Futuro, Montese, Vila União, Itaóca, Demócrito Rocha, Pan Americano, Bela Vista, Parque Araxá, Pici e Parquelândia. Não por acaso, a maioria desses bairros compõe o grupo do 25% com maior renda média mensal, a despeito da heterogeneidade inerente a uma cidade desigual como Fortaleza.

Os resultados do modelo proposto estão em consonância com a literatura correlata, que prevê que a renda está negativamente correlacionada com a taxa de homicídio. Para o caso específico em análise, estima-se que o aumento de R\$ 100,00 na renda média do bairro reduz em 5,0% sua taxa de homicídio. Esta evidência coaduna, por exemplo, com o previsto na Teoria das Janelas Quebradas, já que em bairros de renda mais elevada o padrão de organização urbana tende a ser superior.

Por sua vez, a densidade demográfica se mostrou negativamente correlacionada com a taxa de homicídio. Este resultado, que em uma visão míope seria contraditório à literatura tradicional, se mostra razoável para o presente estudo que considera o bairro, e não o município, como unidade espacial de referência, inovando também neste aspecto em relação aos estudos mais atuais. Com efeito, para dois municípios distintos, espera-se como regra que a baixa densidade demográfica deva estar associada a menores níveis de criminalidade, mas para bairros pode haver inclusive maior transbordamento dos atos ilícitos a partir dos mais povoados. Como exemplo cite-se o caso da cidade de Fortaleza, onde é possível identificar bairros densamente povoados, em especial bairros mais nobres, com baixas de homicídio e bairros com baixa densidade demográfica e altas taxas de crime.

A ausência de desordem local, conforme previsto novamente na teoria supracitada, ou mesmo o efeito vigilância, não considerados nesta abordagem, podem justificar baixos índices de homicídio em bairros ricos e densamente povoados, fenômeno esse prejudicado quando a escala de análise se dá ao nível de município.

Por fim, os resultados apresentados permitem inferir que há não apenas uma grande concentração dos crimes de homicídio em determinados bairros da cidade, mas, principalmente, uma dependência espacial entre eles a qual tem o alcance dimensionado e limitado a um raio de até 2,0km, fato que contribui sobremaneira para um planejamento efetivo no combate ao crime inclusive com ações descentralizadas por delegacia ou área de segurança.

Referências

ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. Alínea: Campinas-SP, 2012.

ALMEIDA, E. S.; HADDAD, E. A.; HEWINGS, G. J. The spatial pattern of crime in Minas Gerais: An exploratory analysis. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 1, p. 39-55, 2005.

ANJOS JÚNIOR, O; CIRÍACO, J; SILVA, M. Testando a Hipótese de Dependência Espacial na Taxa de Crime dos Municípios da Região Sul do Brasil. **XIX Encontro de Economia da Região Sul** – ANPEC/SUL, Florianópolis, 2016.

ANSELIN, Luc, **Spatial econometrics: Methods and models**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1988a

- _____. Lagrange multiplier test diagnostics for spatial dependence and spatial heterogeneity. **Geographical Analysis**, 20: 1–17, 1988b
- _____. Local Indicators de Spatial Association – LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ARAÚJO, Veneziano; VIEIRA, Dayane. Determinantes da criminalidade nos municípios paulistas: uma análise espacial. **I Congress Latin American and Caribbean Reginal Science Association International. XV Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**. São Paulo, 2017.
- BALLER, Robert; ANSELIN, Luc; MESSNER, Steven; DEANE, Glenn; HAWKINS, Darnell. Structural Covariates of U.S. County Homicide Rates: Incorporating Spatial Effects. **Criminology**. Volume 39, nº 3, 2001.
- BARTELS, CP; KETELLAPPER, R. **Exploratory and explanatory analysis of spatial data**. Martinus Nijhoff, Boston, MA, 1979.
- BENNETT, R. **Spatial time series**. Pion, London, 1979.
- BRASIL. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. Disponível em: www.ibge.gov.br.
- CEARÁ. **Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social – SSPDS/CE**. Disponível em: www.sspds.ce.gov.br.
- _____. **Instituto de Pesquisa Econômica do Estado do Ceará – IPECE**. Disponível em: www.ipece.ce.gov.br.
- CARVALHO *et al.* (2011). **Análise de Sobrevivência: teoria e aplicações em saúde**. Rio de Janeiro. Editora Fiocruz. 2ª ed.
- FARIAS, C. A.; FIGUEIREDO, A. M.; LIMA, J. E. Dependência espacial e análise de agrupamento de municípios para diferentes tipos de crime em Minas Gerais. **Reuna**, v. 13, n. 3, p. 67-83, 2008.
- GARCIA NETO, Abílio; SIMÃO, Carlos; MACHADO, Tomás; PARRÉ, José. Análise espacial dos crimes contra o patrimônio no estado de São Paulo. **I Congress Latin American and Caribbean Reginal Science Association International. XV Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**. São Paulo, 2017.
- GOMES, Carlos; EVANGELISTA, Thamirys; LIMA, Renata; PARRÉ, José. Determinantes do crime nos municípios de Minas Gerais e seus possíveis *spillovers* espaciais. **Economia-Ensaio**, 31 (2), 201-228, 2017.
- GRIFFITHS, E; CHAVEZ, J. Communities, Street Guns and Homicide Trajectories in Chicago, 1980-1995: Merging Methods for Examining Homicide Trends Across Space and Time. **Criminology**. Volume 42, Nº 4, 2004.
- HARTUNG, Gabriel Chequer. **Ensaio em Demografia e Criminalidade**. Tese (Doutorado em Economia) – Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2009.

- HORDIJK, L. Problems in estimating econometric relations in space. *Papers in Regional Science* 42: 99– 115, 1979.
- KELLING, G. and COLES, C. *Fixing Broken Windows: Restoring Order and Reducing Crime in Our Communities*, ISBN 0-684-83738-2, 1996.
- MEDEIROS, Cleber; CARVALHO, José; OLIVEIRA, Victor; *Violência, Desenvolvimento e Demografia: uma análise espacial para a cidade de Fortaleza em anos recentes. In: Economia do Ceará em Debate*, 2015.
- REGOECZI, W. C. The Impact of Density: The Importance of Nonlinearity and Selection on Flight and Fight Responses. *Social Forces*, 81(2), 505-530, 2002.
- PAELINCK, J; KLAASSEN, L. **Spatial econometrics**. Saxon House, Farnborough, 1979.
- PLASSA, W.; PARRÉ, J. L. A Violência no Estado do Paraná: Uma Análise Espacial das Taxas de Homicídios e de Fatores Socioeconômicos. In: *Anais do Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (ENABER)*, 13. 2015, Curitiba. Curitiba: ABER, 2015.
- SASS, K. S.; PORSSSE, A. A., DA SILVA, E. R. H. Determinantes das taxas de crimes no Paraná: uma abordagem espacial. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 10, n. 1, p. 44-63, 2016.