



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA,**  
**CONTABILIDADE, SECRETARIADO EXECUTIVO E FINANÇAS**  
**CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**MICAÍAS XAVIER DE FREITAS**

**DETERMINANDO *CLUSTERS* DE BAIROS EM FORTALEZA A PARTIR DA**  
**TRAJETÓRIA TEMPORAL DAS TAXAS DE CRIMINALIDADE**

**FORTALEZA**

**2022**

MICAÍAS XAVIER DE FREITAS

DETERMINANDO *CLUSTERS* DE BAIROS EM FORTALEZA A PARTIR DA TRAJE-  
TÓRIA TEMPORAL DAS TAXAS DE CRIMINALIDADE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Ciências Econômicas da Faculdade de  
Economia, Administração, Atuária, Contabili-  
dade, Secretariado Executivo e Finanças da  
Universidade Federal do Ceará.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linha-  
res

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F937d Freitas, Micaías Xavier de.  
Determinando clusters de bairros em Fortaleza a partir da trajetória temporal das taxas de criminalidade /  
Micaías Xavier de Freitas. – 2022.  
31 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia,  
Administração, Atuária e Contabilidade, Curso de Ciências Econômicas, Fortaleza, 2022.  
Orientação: Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares.

1. Criminalidade . 2. Economia do crime . 3. Econometria espacial . 4. Dependência espacial . 5.  
Clusters. I. Título.

CDD 330

---

MICAÍAS XAVIER DE FREITAS

DETERMINANDO *CLUSTERS* DE BAIROS EM FORTALEZA A PARTIR DA TRAJE-  
TÓRIA TEMPORAL DAS TAXAS DE CRIMINALIDADE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Ciências Econômicas da Faculdade de  
Economia, Administração, Atuária, Contabili-  
dade, Secretariado Executivo e Finanças da  
Universidade Federal do Ceará.

Aprovado em 12/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares (Orientador)

Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Dr. Roberto Tatiwa Ferreira

Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Dr. Marcelo Davi Santos

Universidade Federal do Ceará – UFC

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, criador e sustentador da vida, que me dá força e dirige os meus caminhos todos os dias.

À minha esposa, Lívia Maia, pelo carinho, apoio, e amor dedicados a mim. Sua companhia foi essencial ao longo dessa trajetória.

Aos meus pais, Audório Freitas e Valdelice Freitas, e aos meus irmãos, Clayton Freitas e Cleilson Freitas, pela paciência e amor com que sempre cuidaram de mim.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares, pela confiança, incentivo, e por todos os ensinamentos.

Ao corpo docente do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Ceará, por toda a contribuição para a minha formação acadêmica.

Aos meus amigos do curso de Ciências Econômicas, por todas as experiências proveitosas vividas durante esse percurso.

## RESUMO

O objetivo principal deste estudo foi estimar *clusters* dos bairros de Fortaleza, de acordo com a semelhança da evolução temporal das taxas de furto e de roubo apresentadas no período de 2009 a 2020 por cada unidade espacial. Através do uso de um algoritmo conhecido na literatura como *hierarchical agglomerative clustering (HAC) algorithm*, quatro agrupamentos espaciais foram formados segundo a semelhança da trajetória das séries temporais das taxas de furto dos bairros fortalezenses, e outros quatro com base na evolução das séries de tempo das taxas de roubo. Para avaliar a evolução temporal das taxas de furto e roubo de cada *cluster*, primeiramente os valores finais dos indicadores foram comparados com os iniciais, e foram estimadas a taxa de crescimento instantânea e a composta (anual) por meio de um modelo semilogarítmico chamado *log-lin*. Os *clusters* nos quais as taxas de criminalidade cresceram ao longo do tempo foram compostos por bairros com baixos níveis de desenvolvimento econômico, com alto percentual de suas populações na condição de extrema pobreza e com baixa renda mensal média. Por outro lado, a maior parte dos bairros com bons indicadores socioeconômicos foram alocados nos agrupamentos espaciais que apresentaram, ao fim de suas trajetórias temporais, taxas de furto e roubo inferiores às iniciais.

**Palavras-chave:** criminalidade; economia do crime; econometria espacial; dependência espacial; *clusters*.

## ABSTRACT

The main objective of this study was to estimate clusters of the neighborhoods of Fortaleza, according to the similarity of the temporal evolution of the theft and robbery rates presented in the period from 2009 to 2020 by each spatial unit. Through the use of an algorithm known in the literature as the hierarchical agglomerative clustering (HAC) algorithm, four spatial clusters were formed according to the similarity of the trajectory of the time series of theft rates in the neighborhoods of Fortaleza, and another four based on the evolution of the series time of theft rates. To evaluate the temporal evolution of theft and robbery rates of each cluster, first the final values of the indicators were compared with the initial ones, and the instantaneous and the compound (annual) growth rate were estimated through a semilogarithmic model called log-line. The clusters in which crime rates grew over time were composed of neighborhoods with low levels of economic development, with a high percentage of their populations in extreme poverty and with low average monthly income. On the other hand, most of the neighborhoods with good socioeconomic indicators were allocated to spatial groups that presented, at the end of their temporal trajectories, theft and robbery rates lower than the initial ones.

**Keywords:** crime; economics of crime; spatial econometrics; spatial dependence; spatial clusters.

## SUMÁRIO

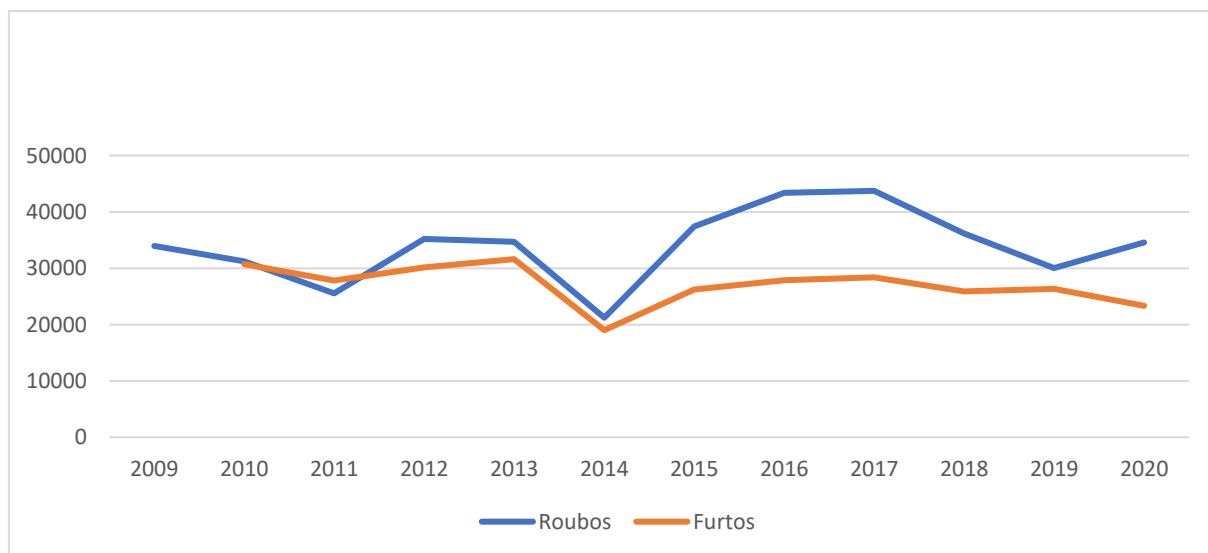
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1. Estudos sobre criminalidade no Brasil feitos sob a ótica espacial.....	13
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
3.1 O modelo para a determinação dos clusters.....	16
<b>4. DADOS.....</b>	<b>18</b>
4.1 Uma breve apresentação da cidade de Fortaleza .....	18
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
5.1 Análise da formação de clusters de acordo com a evolução temporal das taxas de furto dos bairros de Fortaleza entre 2010 e 2020.....	21
5.2 Análise da formação de <i>clusters</i> de acordo com a evolução temporal das taxas de roubo dos bairros de Fortaleza entre 2009 e 2020 .....	24
5.3 Avaliação da variação e das taxas de crescimento das taxas de furto e de roubo apresentadas pelos <i>clusters</i> no período de 2009 a 2020 .....	27
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Fortaleza é uma das capitais mais violentas do Brasil. De acordo com dados publicados em 2021 no Anuário Brasileiro de Segurança Pública, do total de 50033 casos de Mortes Violentas Intencionais (MVI) – categoria que engloba os crimes de homicídio doloso, latrocínio, lesão corporal seguida de morte e mortes decorrentes de intervenções policiais dentro ou fora de serviço - no Brasil em 2020, 1303 ocorreram em Fortaleza. A cidade compõe o elenco dos municípios brasileiros, com população igual ou maior que 100 mil habitantes, cuja taxa de MVI é superior à média nacional. No ano de 2020, aconteceram 23,6 crimes de MVI para cada 100 mil pessoas em todo o território brasileiro; ao passo que em Fortaleza esse número correspondeu a mais do que o dobro da estatística nacional: 48,5, taxa esta que pôs a cidade na segunda pior colocação em termos das MVI, dentre todas as capitais brasileiras.

Segundo o relatório publicado no Anuário Estatístico da Violência e Criminalidade do Ceará (ANEVI-CE), construído com base em dados da GEESP/SUPESP/SSPDS-CE, Fortaleza tampouco apresentou bons resultados com os Crimes Violentos contra o Patrimônio (CVP). A cidade registrou em média, por ano, 33935 ocorrências de roubo no período de 2009 a 2020, e entre 2010 e 2020, 27031 de furto. Os piores resultados foram em 2017 (43735 ocorrências de roubos) e em 2013 (30157 casos de furtos). Os melhores resultados, por outro lado, foram em 2014, quando foram registrados 21220 roubos e 19009 furtos. O gráfico 1 mostra a evolução das séries.

**Gráfico 1** - Séries temporais de ocorrências de roubos e furtos na cidade de Fortaleza, entre os anos de 2009 e 2020



Fonte: Elaboração própria (2022) com base em dados expostos no Anuário Estatístico da Violência e Criminalidade do Ceará (ANEVI-CE).

As estatísticas supracitadas apontam, conjuntamente, para o fato de que a atividade criminosa em Fortaleza produz consequências muito graves para a população. O problema da criminalidade afeta profundamente as vidas dos habitantes da cidade, de modo que suas relações de sociabilidade são alteradas por causa da sensação de insegurança provocada pela expectativa ou experiência de passar, por exemplo, por uma situação de assalto (COSTA, 2018). Esse ponto é vital, uma vez que a segurança desempenha um fundamental papel na sustentabilidade social. Um ambiente seguro garante que as pessoas podem atender às suas necessidades mais básicas: moradia segura e um ambiente urbano no qual possam transitar livremente (CEC-CATO; NALLA, 2020).

Os efeitos do crime não incidem somente sobre a propriedade e a vida das pessoas, mas também sobre a atividade de outros agentes econômicos - como as empresas - e sobre as variáveis macroeconômicas. A criminalidade afeta as firmas que formam o ambiente de negócios de diversas maneiras: exclui empresas da atividade econômica, provoca perdas de produtividade, produz um clima de incerteza, gera interrupções na cadeia produtiva e reduz a qualidade do capital humano disponível (GOLDBERG; KIM; ARIANO, 2014). A violência, ademais, gera forte impacto negativo sobre os níveis de investimento e crescimento econômico, como demonstram as sólidas evidências empíricas expostas por Loureiro e Silva (2010).

Combater o crime é, em razão de seu potencial destrutivo, uma prioridade para a sociedade. Sherman *et al.* (1998) sumarizaram as principais conclusões de mais de 500 avaliações científicas de práticas de prevenção ao crime. Algumas das sugestões de medidas eficazes listadas pelos pesquisadores são: terapia familiar para adolescentes que cometeram algum tipo de ofensa; maior presença de policiais em regiões com atividade criminosa intensa; monitoramento ou encarceramento de criminosos reincidentes; programas de reabilitação para criminosos condenados; programas de tratamento comunitário terapêutico para usuários de drogas na prisão; treinamento vocacional para pessoas mais velhas com antecedentes criminais.

Odon (2018), com base em evidências empíricas colhidas da literatura especializada, elencou medidas que constituiriam uma política pública com grande impacto positivo sobre a criminalidade no Brasil. Algumas das sugestões do trabalho para a elaboração de uma política de enfrentamento ao crime são: aumento da capacidade de aprisionamento; melhora na qualidade do serviço prisional e redução da reincidência; redistribuição de recursos policiais

ostensivos para privilegiar o policiamento estratégico; aumento do investimento em investigação criminal; desaprisionamento para crimes praticados sem violência e sem danos substanciais ao patrimônio; oferta de trabalho e estudo para os presos; incentivo fiscal para a contratação de presos e de jovens; investimento prioritário na educação pré-escolar e fundamental.

O combate ao crime não é uma tarefa fácil e demanda esforços vindos de diversas frentes, principalmente em grandes cidades com índices elevados de violência. Com efeito, problemas complexos como o da criminalidade e o da segurança em espaços públicos não podem ser facilmente compreendidos apenas por meio da ótica de uma disciplina, tal como a criminologia (CECCATO, 2016). Ao invés disso, ajuntar as contribuições de diversas ciências - como a sociologia, a geografia e a economia - é uma melhor abordagem para lidar com questões desse gênero. Precisamente dentro da ciência econômica, os estudos sobre criminalidade foram iniciados a partir do trabalho seminal de Becker (1968). O autor desenvolveu uma análise microeconômica usual, que pressupunha que as pessoas somente cometem ações criminosas se a utilidade esperada por elas com estas excede aquela que poderiam obter dedicando tempo e recursos a outras atividades. O modelo proposto tinha como objetivo precípua o de determinar políticas públicas e privadas ótimas para combater a criminalidade.

Com o avanço dos estudos sobre o crime feitos dentro da ciência econômica, os autores da área passaram a incorporar com frequência a dimensão espacial em seus trabalhos. Esse enfoque foi empregado em diversos campos da economia, não somente nas áreas em que a importância do espaço é fundamental, como a economia regional, mas também em campos mais tradicionais dessa ciência, como o da organização industrial e o da economia do setor público. Isso significa que os economistas passaram a utilizar modelos para lidar com problemas característicos de dados espaciais - conhecidos como efeitos espaciais - como o da heterogeneidade e o da dependência espacial (chamada também de autocorrelação espacial). O primeiro pode ser definido simplesmente como uma instabilidade estrutural, seja na forma de heterocedasticidade ou de coeficientes de regressão variável. O autor afirma que a maior parte dos problemas metodológicos relacionados a heterogeneidade espacial podem ser resolvidos por intermédio das ferramentas da econometria clássica (ANSELIN; BERA, 1998).

O problema da autocorrelação espacial, por sua vez, é central para as ciências naturais, como a geologia e a ecologia; mas também para as sociais, como a psicologia, a sociologia, economia e a geografia. Para a geografia, especificamente, a questão da dependência espacial é de tão grande importância que a primeira lei dessa ciência, postulada por Tobler

(1979 *apud* ANSELIN; BERA, 1998), é: “Todas as coisas estão relacionadas entre si, mas as mais próximas estão mais relacionadas do que as distantes”, o que indica que a presença de dependência espacial é regra, ao invés de exceção. Em suma, se o valor de variável de interesse em um local – como uma proxy para a criminalidade, por exemplo – é em algum nível determinada pelos valores da mesma variável em locais vizinhos, a autocorrelação espacial está presente nos dados (ANSELIN, BERA; 1998). Como já se disse, a econometria tradicional resolve a maioria dos problemas relacionados a heterogeneidade espacial; contudo, não é útil para lidar com esse tipo de dependência entre unidades espaciais. O tratamento adequado para a autocorrelação espacial só pode ser dado por meio das técnicas da econometria espacial.

Neste trabalho, a distribuição espacial foi determinada alternativamente pela evolução temporal dos indicadores criminais dos bairros de Fortaleza, por meio do método desenvolvido em Vogt, Michael & Linton, Oliver (2020). Aglomerados espaciais dos 114 bairros da cidade foram formados com base em similaridade de acordo com a evolução das séries de crimes de roubo e furto – construídas a partir da média móvel de 6 meses – no período de 2009 a 2020. Ao fim do processo, foram encontrados quatro *clusters* que fizeram a separação entre os bairros de Fortaleza quanto às taxas de roubo, e outros quatro que dividiram os bairros da cidade conforme suas respectivas taxas de furto.

É importante salientar que, uma vez que a análise aqui feita se deu sobre as taxas de roubos e furtos e não sobre os números absolutos das ocorrências desses mesmos tipos de crimes, os resultados encontrados apenas mostram a evolução do comportamento dessas variáveis ao longo do tempo. Sendo assim, foi possível observar se houve algum crescimento ou redução - e até mesmo estimar uma taxa de crescimento anual - dos indicadores ao longo do tempo em cada *cluster*. No entanto, não foram realizadas comparações entre os *clusters* com base no nível desses indicadores.

Este estudo foi dividido em cinco seções, além desta introdução. Na segunda parte foi apresentado o referencial teórico, dentro do qual foram expostos os trabalhos cujas teorias e resultados serviram de alicerce para este. Na terceira seção, a metodologia empregada no trabalho foi discutida. Na quarta, juntamente com a fonte dos dados, alguns indicadores socioeconômicos dos bairros e da cidade de Fortaleza foram apresentados sucintamente. Na quinta, os principais resultados encontrados foram mostrados. Na última, foram expostas as considerações finais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A breve revisão da literatura desta seção foi composta pelos principais estudos que serviram de fundamento para a investigação desenvolvida neste trabalho. Já que a dimensão espacial é essencial para os estudos sobre criminalidade, como já se destacou aqui, todos os trabalhos selecionados para constituir o referencial teórico foram construídos com base em técnicas, métodos e instrumentos característicos da econometria espacial. Além disso, todos eles fizeram uso de dados demográficos, geográficos e socioeconômicos de cidades e estados localizados no Brasil.

Não é sem razão a importância dada pela literatura especializada em economia do crime à dimensão espacial. Além de existir um problema metodológico no tratamento de dados espaciais com os instrumentos tradicionais da econometria, as evidências sugerem que as estratégias de combate ao crime devem ser determinadas de modo que não sejam desconsideradas as relações de dependência espacial comuns entre áreas geográficas próximas umas das outras. Isto é, aplicar uma política de contenção à violência em um bairro, ou cidade, pode simplesmente transferir os crimes antes praticados no local onde a estratégia foi empregada para uma região vizinha, em virtude de um efeito conhecido na literatura como *Spillover Effect*, ou *efeito transbordamento*.

Silva Júnior (2016) comprovou a relevância do espaço sobre o estudo da criminalidade, ao investigar o crescimento das taxas de homicídio das cidades brasileiras no período de 2000 a 2010. Após confirmar a presença de autocorrelação espacial e detectar a existência de *clusters* entre os municípios do Brasil, o autor observou que cidades vizinhas nas regiões Norte e Nordeste do país apresentaram taxas de crescimento de homicídios semelhantes, ao passo que no Sul e Sudeste o comportamento dos grupos de cidades vizinhas foi exatamente o oposto. Comprovou-se ainda a presença do efeito transbordamento entre a variável proxy para a criminalidade – a taxa de homicídios – e as variáveis demográficas e socioeconômicas selecionadas no trabalho. À luz desses resultados, políticas de segurança pública, para que sejam efetivas, devem considerar a importância que a dimensão espacial tem sobre a compreensão da criminalidade.

Ao investigar a dependência espacial da criminalidade dos municípios do estado do Paraná no ano de 2015 por meio de técnicas de econometria espacial, Lucas, Cunha e Bondezan (2020) observaram que as taxas de homicídio dos municípios do estado paranaense não se

distribuem aleatoriamente no espaço, sendo possível identificar *clusters* do tipo alto-alto – ou seja, agrupamentos de cidades com elevados índices de criminalidade cuja taxa média de criminalidade dos vizinhos é também alta - na região metropolitana de Curitiba, além de agrupamentos menores de cidades do tipo alto-baixo, baixo-baixo e baixo-alto. Mais uma vez, resultados de trabalhos semelhantes a esse nos conduzem naturalmente a conclusão de que ações estatais de combate à violência precisam considerar sempre as especificidades de cada um desses tipos distintos de concentração de criminalidade entre as cidades.

## **2.1 Estudos sobre criminalidade no Brasil feitos sob a ótica espacial**

Sartoris Neto (2000) empregou a abordagem de Becker (1968) e Ehrlich (1973), a saber, aquela que explica a atividade criminal como produto de uma escolha racional feita pelos indivíduos. A hipótese central do trabalho era a de que existia uma relação causal entre a quantidade de crimes cometidos em uma determinada região e o número de crimes cometidos em uma região vizinha no período anterior. Para a investigação do problema, foi realizada uma análise econométrica de autocorrelação e causalidade espaço-temporal das taxas de homicídios na cidade de São Paulo, considerando dados mensais do biênio de 1995 e 1996.

Peixoto (2003) estudou os determinantes socioeconômicos dos homicídios, roubos e roubos à mão armada no município de Belo Horizonte em 2001. Foram utilizados dados agrupados por regiões das Unidades de Planejamento, para que a dimensão espacial da dinâmica da criminalidade pudesse ser considerada na análise. Com o uso da metodologia de análise exploratória espacial (ESDA) e de econometria espacial – que permitem encontrar *clusters* criminais e *outliers* -, o autor encontrou resultados importantes. Ele observou que a distribuição dos homicídios se concentrou em algumas regiões da cidade, e que as regiões com baixas taxas de roubo e de roubo à mão armada foram exatamente aquelas em que ocorreram mais crimes de homicídios: as Unidades de Planejamento, localizadas normalmente nas periferias e nas favelas. Em suma, os resultados do trabalho vão no sentido de confirmar a existência de agrupamentos espaciais com níveis de criminalidade semelhantes e de que há dependência espacial nos dados das Unidades de Planejamento do município de Belo Horizonte.

O emprego do mesmo método de análise exploratória espacial por Almeida (2005) rendeu conclusões semelhantes. Com dados sobre a criminalidade dos municípios de Minas

Gerais no ano de 1995, os autores observaram a formação de *clusters* espaciais estatisticamente significantes. Assim, chegaram à conclusão de que havia autocorrelação espacial entre as cidades e que, conseqüentemente, a atividade criminosa não se distribuiu aleatoriamente pelo estado no ano analisado. Ambos os trabalhos evidenciam que o aspecto espacial não pode ser negligenciado no que diz respeito ao estudo da criminalidade.

Utilizando dados de 2002 extraídos da Fundação João Pinheiro, Farias, Figueiredo e Lima (2008) investigaram o problema da criminalidade no estado de Minas Gerais, com o objetivo de encontrar grupos entre os municípios mineiros e determinar um índice de criminalidade municipal, através do uso de variáveis representativas de crimes violentos. Os resultados obtidos apontam para a existência de sete *clusters* de municípios no estado, conforme o nível de criminalidade. Os grupos de municípios encontrados pelos autores formaram *clusters* bem definidos. Isto é, as cidades que compuseram os *clusters* relacionados aos crimes violentos contra o patrimônio não fizeram parte dos relacionados aos crimes contra pessoas e vice-versa. Estes e outros resultados conduziram os autores a concluir que técnicas específicas de combate ao crime para cada *cluster* seriam mais eficientes do que políticas que não consideram o problema da dependência espacial.

Para analisar a relação entre fatores de ordem socioeconômica e as taxas de homicídio no estado do Paraná no ano de 2010, Plassa e Parré (2015) fizeram uso de ferramentas que consideram a dimensão espacial relevante para o estudo da criminalidade, como a análise fatorial, a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e modelos econométricos espaciais. Os resultados obtidos expuseram a existência de dependência espacial positiva na taxa de homicídio do estado, e a formação de *clusters* na região metropolitana de Curitiba e fronteira entre os territórios paranaense e paraguaio. Constatou-se ainda que a desigualdade social e a instabilidade residencial contribuíram para o aumento das taxas de homicídio do estado, e que a criminalidade presente nos municípios foi impactada pela de seus vizinhos.

Medeiros, Carvalho e Oliveira (2015), com dados georreferenciados, calcularam a incidência de crimes violentos letais e intencionais (CVLI) nas 247 Unidades de Desenvolvimento Humano (UDH) da cidade de Fortaleza. O estudo mostrou que a distribuição dos crimes violentos cometidos na cidade foi espacialmente concentrada. Isto é, foram observadas taxas de CVLI semelhantes entre Unidades de Desenvolvimento Humano vizinhas. Em adição a isso, entre 2012 e 2014, um processo de difusão de crimes violentos a partir de regiões com maior incidência destes foi observado no território fortalezense. À luz dessas constatações, os

pesquisadores buscaram verificar se a incidência dos CVLI teria alguma relação com o nível de desenvolvimento humano da população da cidade. Concluiu-se, por fim, que: i) um aumento de 0,1 *scores* no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) reduziria em 0,54% a taxa de CVLI em Fortaleza; ii) na análise, as características demográficas da cidade cumpriram um papel fundamental para a determinação das taxas de crimes violentos, já que foi possível observar que a densidade demográfica afeta não linearmente a taxa de crimes violentos letais e intencionais, e que estes têm menor incidência sobre a população que reside em condomínios ou apartamentos.

Em uma pesquisa que avaliou as taxas de crime contra o patrimônio cometidos nos municípios de São Paulo no ano de 2015, Garcia Neto (2017) confirmaram por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) a hipótese do impacto da dimensão espacial sobre a economia do crime dos municípios do estado. Os pesquisadores observaram que a criminalidade foi tão maior quanto maiores foram os resultados das variáveis como o PIB *per capita*, a densidade demográfica e a desigualdade de renda. Por outro lado, a incidência de crimes foi menor em regiões onde foram melhores os resultados de outras variáveis, como: a taxa da população empregada e a proporção de população analfabeta.

Caires *et. al.* (2020), no intuito de conhecer a relação entre o tamanho das cidades da Bahia e a criminalidade no estado, encontraram uma relação positiva entre o número de homicídios e variáveis como a densidade demográfica, a população urbana, o PIB industrial e o PIB de serviços dos municípios baianos, comparando o problema da criminalidade sob a ótica espacial nos anos de 1991, 2000 e 2010. Além disso, eles observaram que, no mesmo período, os locais mais afetados pela atividade criminosa foram os maiores municípios da Bahia e aqueles que, mesmo possuindo pequena extensão territorial, são situados próximos ao centro urbano do estado.

O ensaio desenvolvido em Santos (2020), uma análise da difusão dos crimes de roubo e furto nos bairros de Fortaleza, buscou identificar o impacto dos fatores macroeconômicos - como o nível da atividade econômica, o nível dos preços locais, a desigualdade de renda, o índice de pobreza e a taxa de desemprego – sobre a distribuição espacial da violência e criminalidade dos bairros da cidade. Com esse intuito, foram empregados o modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e o modelo de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (MQ2E) em um modelo econométrico espacial dinâmico, para avaliar o comportamento dos níveis de roubos e furtos nos bairros da cidade a partir de alterações em variáveis de natureza

macroeconômica. Quanto aos principais resultados, os autores observaram que, dentre as variáveis instrumentais utilizadas, o custo da cesta básica não era impactante sobre os roubos, mas o índice de atividade econômica repercutiu positivamente sobre os roubos com o emprego do método MQO, e negativamente nas abordagens que utilizaram variáveis instrumentais. Para o nível de furtos, apenas o regressor espacial e a variável dependente defasada foram consideradas relevantes para alterar o comportamento criminoso. Finalmente, observou-se impacto positivo mais significativo na região oeste da cidade, em comparação com a região leste, através da análise dos resultados do emprego da função de resposta ao impulso (FRI).

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi extraída de Vogt, Michael & Linton, Oliver (2020). O modelo desenvolvido por estes autores é útil para particionar séries temporais em diferentes grupos cujos membros compartilham a mesma evolução temporal, estimada por uma equação de regressão não paramétrica. Eles desenvolveram um método de *clustering* não dependente da largura de banda para estimar a estrutura desconhecida dos grupos de um conjunto de dados. Mais precisamente, foram construídos estimadores que trabalham em diferentes escalas para encontrar os *clusters* e o número desconhecido deles em uma determinada base de dados.

#### 3.1 O modelo para a determinação dos clusters

No modelo, para um número grande de séries temporais  $\tau_i = \{(Y_{it}, X_{it}): 1 \leq t \leq T\}$ , em que  $1 \leq i \leq n$ , cada uma das séries de tempo satisfaz a equação  $Y_{it} = m_i(X_{it}) + u_{it}$ , para  $t = 1, \dots, T$ . Nessa equação, o termo  $m_i$  é uma função desconhecida,  $X_{it} = \frac{t}{T}$  é uma função tendência, e o termo de erro é dado por  $u_{it} = a_i + b_t + e_{it}$ , em que  $a_i$  e  $b_t$  são efeitos fixos e  $e_{it}$  é um termo de erro que pode conter correlação serial. O conjunto das  $n$  séries temporais que constituem a amostra pode ser dividido em um número  $K_0$  de grupos  $G_1, \dots, G_{K_0}$ , de modo que para cada  $k = 1, \dots, K_0$ ,  $m_i = m_j, \forall i, j \in G_k$ . Dessa maneira, todas as séries temporais que constituem um dado grupo  $G_k$  possuem a mesma função de regressão desconhecida.

Para resolver o interessante problema estatístico de como estimar os grupos desconhecidos  $G_1, \dots, G_{K_0}$  e o seu número também desconhecido  $K_0$ , muitos procedimentos já foram propostos na literatura. No entanto, virtualmente todos os métodos disponíveis requerem e dependem da escolha de um número de largura de banda para fazer a estimação da função não paramétrica  $m_i$ . O problema gerado como consequência do uso de tais algoritmos é que os *clusters* deles derivados tendem a variar consideravelmente conforme a largura de banda escolhida. O principal objetivo do trabalho desses autores foi desenvolver uma abordagem alternativa, livre da dependência da seleção de uma largura de banda. Para isso, foram utilizadas técnicas de múltiplas escalas para a execução do processo de *clustering*.

Para extrair os *clusters* de um conjunto de dados, os autores combinam uma medida de dissimilaridade entre dois conjuntos de séries temporais  $S \subseteq \{1, \dots, n\}$  e  $S' \subseteq \{1, \dots, n\}$  com um algoritmo chamado de *hierarchical agglomerative clustering* (HAC) *algorithm*. Em linhas gerais, a medida de dissimilaridade entre  $S$  e  $S'$  é encontrada pela maximização de uma estatística construída pelos autores para medir a distância entre pares de funções não paramétricas  $m_i$  e  $m_j$ , enquanto o algoritmo HAC mescla os  $n$  *clusters* passo a passo até que reste apenas o *cluster*  $\{1, \dots, n\}$ . Em cada passo do algoritmo, os dois *clusters* mais próximos – isto é, cuja medida de dissimilaridade é menor – são mesclados. Para estimar o número desconhecido de grupos  $K_0$ , foi desenvolvida uma regra de limiar aplicada ao dendrograma produzido pelo algoritmo de *clustering*.

Em comparação com outros métodos de *clustering* dependentes de uma largura de banda específica, a abordagem de múltiplas escalas adotada pelos autores se mostrou superior em um estudo de simulação. Um algoritmo dependente de largura de banda para o *clustering* não é capaz de distinguir sinais muito diferentes um do outro com confiabilidade. Com um valor de largura de banda pequeno, características locais das funções – como um pico, por exemplo – são facilmente identificadas por esse tipo de modelo; no entanto, a detecção de características mais globais, como uma ligeira curva na função, é muito difícil de se fazer por meio deles. Em contraposição, a abordagem de múltiplas escalas produz estimativas apropriadas para dados com tais características, uma vez que, como o próprio nome diz, trabalha em muitas escalas simultaneamente.

Em suma, não é possível conhecer de antemão o comportamento das funções de regressão específicas do grupo  $g_k (1 \leq k \leq K_0)$ . Isto é, não se pode afirmar se elas diferem em uma escala global ou local. Portanto, não há qualquer fundamento para selecionar qual largura

de banda deve ser implementada para encontrar resultados adequados por meio do algoritmo. Se houver um equívoco nessa decisão, os resultados do processo de *clustering* podem não ser acurados. Ademais, quando as funções  $g_k$  variam em múltiplas escalas, um método cuja base está na escolha de uma largura de banda particular  $h$  pode não performar bem, independentemente de qual seja o valor específico de  $h$ . Assim, a abordagem dos autores engendra resultados mais confiáveis do que os métodos convencionais, seja qual for o comportamento das funções  $g_k$ . Quer variem em uma escala local, global ou em múltiplas distintas escalas.

## 4. DADOS

Os dados utilizados neste trabalho foram extraídos das informações oficiais consolidadas sobre o crime divulgadas pela Secretaria de Segurança Pública do Estado do Ceará (SSPDS/CE). As taxas de furto dos bairros de Fortaleza foram calculadas com base em dados do período de 2010 a 2020, e as taxas de roubo a partir de dados do ano de 2009 ao de 2020. Para os fins deste estudo, foram desconsideradas todas separações e criações de novos bairros feitas a partir de 2010. Assim, foram incluídas as observações de apenas 114 bairros híbridos da cidade de Fortaleza.

### 4.1 Uma breve apresentação da cidade de Fortaleza

Segundo dados do último censo demográfico, feito no ano de 2010 pelo IBGE, Fortaleza é a quinta cidade mais populosa do país e a primeira dentre as cidades cearenses, com população apurada de 2.452.185 habitantes. A densidade demográfica da cidade é de 7.786,44 habitantes/km<sup>2</sup>, o que torna Fortaleza a cidade brasileira com a nona maior densidade populacional do Brasil e a primeira entre todas as capitais do país.

A renda mensal média – em valores nominais de 2010 - das pessoas com idade igual ou superior a dez anos, era de R\$ 876,75. Entre os dez bairros mais ricos da cidade, a renda mensal média da população era R\$ 2781,85, ou seja, três vezes maior do que a média de todos os bairros. Por outro lado, a renda mensal média dos habitantes dos dez bairros mais pobres era de R\$ 322,54: menos que metade da média de todos os bairros e quase nove vezes menor do que a dos bairros mais ricos. Essa grande diferença reservou para Fortaleza a posição de quinta

cidade mais desigual do mundo no relatório *State of the World Cities 2010/2011: Bridging the Urban Divide*, organizado pelas Nações Unidas.

Fortaleza apresentou em 2010 a 15ª maior taxa de ocupação – estatística útil para avaliar o mercado de trabalho e que reflete, de maneira aproximada, o nível de atividade econômica - entre as capitais brasileiras, e a segunda maior entre as nordestinas, atrás apenas de Salvador (BA). Entre 2000 e 2010, esse indicador da cidade de Fortaleza cresceu 16,7%, e foi de 45,9% para 53,6%. O crescimento da taxa de ocupação em Fortaleza na década mencionada foi o 7º maior dentre as capitais dos estados brasileiros. Ademais, o número de postos de trabalhos em empregos formais aumentou substancialmente nesses dez anos, e o percentual da população vinculada ao setor formal passou de 19,3% para 29,6%. A variação do indicador no período, em termos absolutos, foi de 75,27%.

Em 2010, a cidade tinha 134 mil pessoas em condição de extrema pobreza, número correspondente a 5,5% da população fortalezense. A participação de Fortaleza na totalidade dos cearenses extremamente pobres (aproximadamente 1,5 milhão de pessoas) foi de 8,9%, a maior entre todos os municípios do estado. O bairro Manuel Dias Branco apresentou o maior percentual de pessoas em condição de extrema pobreza (26,88%), seguido de Conjunto Palmeiras (17,15%) e Parque Presidente Vargas (15,66%), Siqueira (11,88%) e Jangurussu (10,92%). Os menores percentuais, por outro lado, foram apresentados pelos bairros Cidade 2000 (0,41%), Dionísio Torres (0,43%), Gentilândia (0,45%), Joaquim Távora (0,53%) e Praia de Iracema (0,61%).

Em termos do tamanho do território, Fortaleza é um dos menores municípios do Ceará. Com extensão territorial de 312.353 km<sup>2</sup>, a cidade assume a 134ª posição entre as 184 que fazem parte do estado. A área da unidade territorial da capital cearense é dividida atualmente em 121 bairros, que compõem 12 Secretarias Executivas Regionais. A Figura 1 exibe um mapa dos bairros da cidade divididos conforme suas respectivas Secretarias Executivas Regionais.

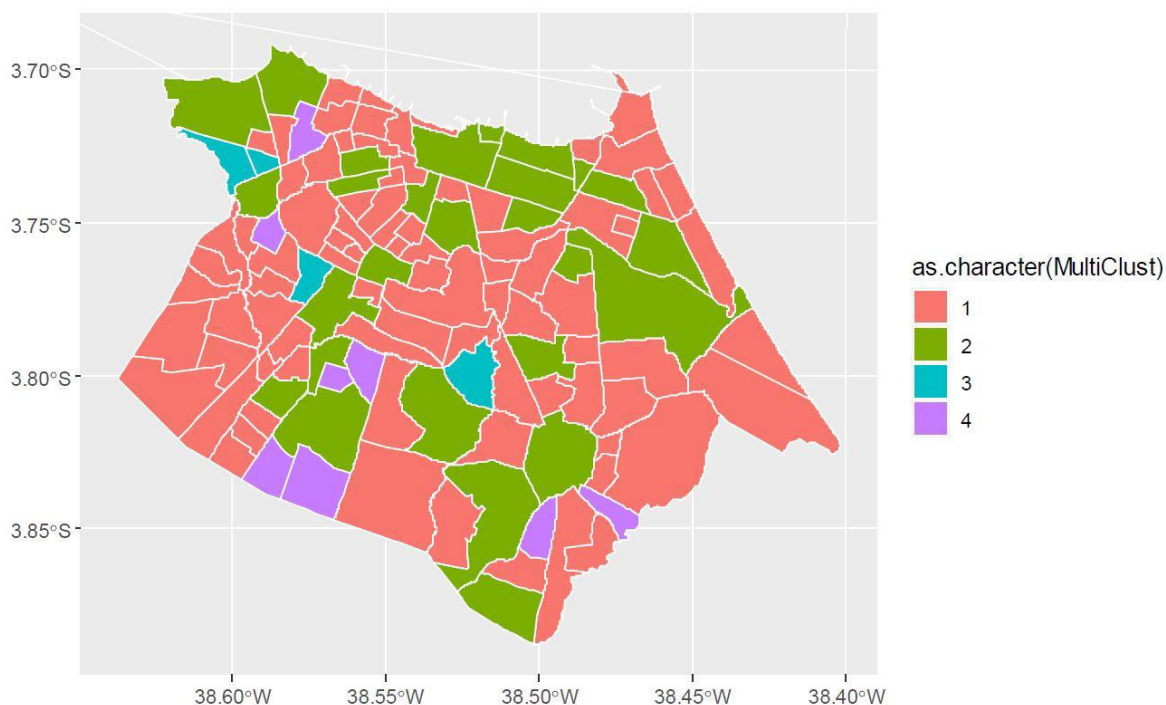
**Figura 1:** Mapa dos bairros de Fortaleza.



## 5.1 Análise da formação de clusters de acordo com a evolução temporal das taxas de furto dos bairros de Fortaleza entre 2010 e 2020

A Figura 2 mostra a configuração geográfica dos bairros de Fortaleza, agrupados em *clusters* conforme a evolução temporal de suas taxas de furto, de acordo com as oscilações dessa variável no período de 2010 a 2020. O trabalho de *clustering* efetuado pelo algoritmo resultou na separação do conjunto dos bairros da cidade em quatro grupos distintos cujos membros compartilham semelhante evolução das séries temporais. Na distribuição dos grupos exibida pela figura, o *cluster 1* se destaca por causa da quantidade de bairros que dele fazem parte. Dos 114 bairros que compõem a base de dados, 78 estão no primeiro agrupamento. O *cluster 2* aparece em sequência, sendo composto de 26 bairros. Os demais grupos se constituem de uma quantidade de bairros substancialmente menor, em comparação com os dois primeiros. O *cluster 3* é formado por 3 bairros, e o último por 7.

**Figura 2** – Distribuição espacial dos bairros da cidade de Fortaleza conforme a evolução temporal de suas taxas de furto no período de 2010 a 2020

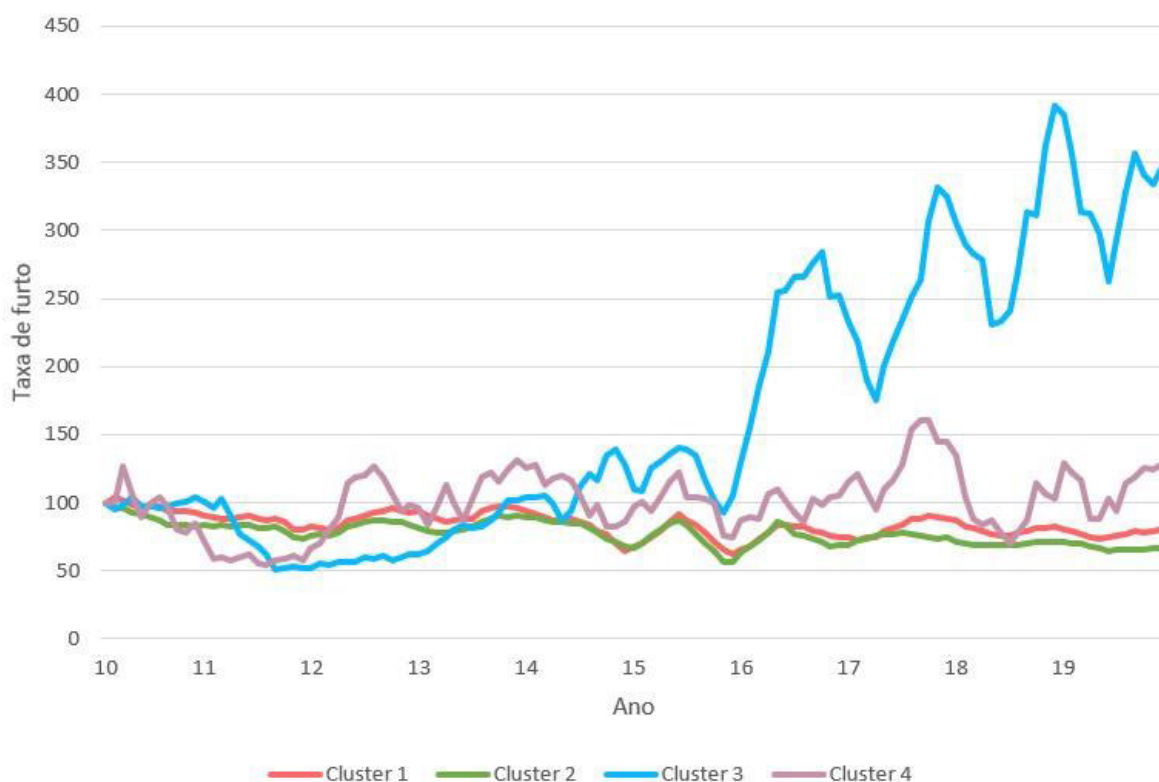


Taxa de furto

Fonte: Elaboração própria (2022).

A evolução temporal de cada um dos quatro aglomerados espaciais é exibida na Gráfico 2. O comportamento da série temporal do *cluster 3* se destaca principalmente em virtude do crescimento expressivo da taxa de furto a partir de 2016. Desse ano até 2020, o último ano da série de tempo, a variação do indicador foi de 245%. A taxa de furto do *cluster 4* também apresentou variação positiva na década. Após atingir seu ápice por volta do ano de 2018, o indicador sofreu uma retração nos anos subsequentes e encerrou sua evolução em um valor 28% maior do que o inicial. Os *clusters 1* e 2 apresentaram evoluções temporais consideravelmente semelhantes. As séries de tempo desses agrupamentos permaneceram próximas uma da outra durante quase todo o período analisado e até se sobrepuseram em alguns trechos. No entanto, elas se dissociaram brandamente a partir de 2017 e não mais se entrecruzaram até o ano de 2020. Em comparação com o período inicial, as taxas de furto de ambos os *clusters* foram reduzidas, sendo a variação do *cluster 1* de 19% e a do *cluster 2* – que apresentou o melhor desempenho dentre os quatro – de 33%.

**Gráfico 2** – Evolução temporal da taxa de furto dos quatro *clusters* no período de 2010 a 2020



Fonte: Elaboração própria (2022).

Em um *ranking* de IDH-B (Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros) construído com dados do censo demográfico de 2010 pela SDE (Secretaria Municipal de

Desenvolvimento Econômico), os dez bairros do topo da lista figuraram, sem exceção, no *cluster* 1 ou no *cluster* 2. Analogamente, os bairros que preencheram as dez piores colocações da lista foram todos inseridos pelo algoritmo no *cluster* 1. Isso não significa, no entanto, que a frequência de ocorrências de furtos é semelhante tanto nos bairros com os maiores IDH-B da cidade, quanto naqueles com os piores resultados. De fato, esse resultado indica que, ao longo do período analisado, houve uma queda na taxa de furto desses bairros (sem importar a sua magnitude inicial); assim, o valor dessa variável observado ao fim da série temporal foi menor do que aquele apresentado no início. Por outro lado, os *clusters* 3 e 4 foram compostos apenas por bairros de IDH-B baixo, isto é, inferior a 0,500. Dentre eles, o bairro com maior IDH-B é o Jóquei Clube (0,406), o menor é o Planalto Ayrton Senna (0,168), e a média desse indicador entre os bairros desses dois agrupamentos espaciais é de aproximadamente 0,270.

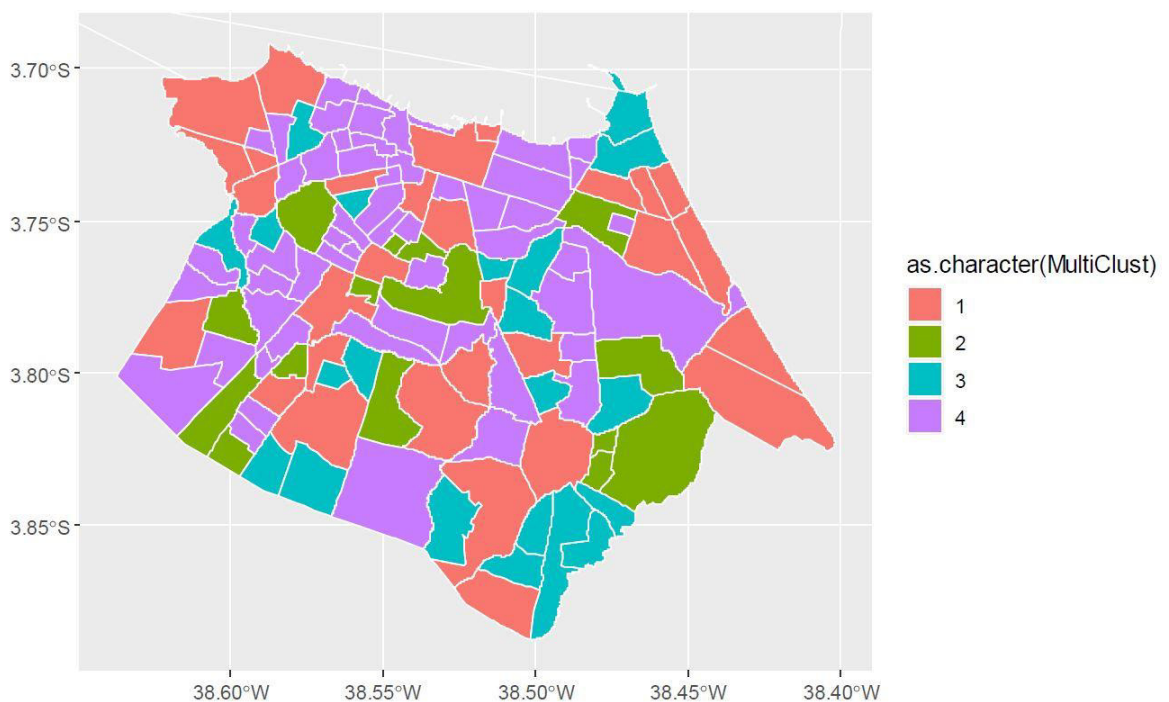
Ademais, os bairros que compõem o grupo cuja taxa de furto apresentou maior crescimento no período, isto é, o *cluster* 3, são: Boa Vista (Castelão/Mata Galinha), Jóquei Clube e Quintino Cunha. No *ranking* da população extremamente pobre dos bairros de Fortaleza organizado pelo IPECE com dados do censo demográfico de 2010, os bairros Castelão e Mata Galinha assumiram, respectivamente, a 41ª e a 27ª posição. Do primeiro, 5,41% da população estava na condição de extrema pobreza e 6,44% do segundo. Em melhor posição na lista, a 91ª, o bairro Jóquei Clube tinha 2,25% de sua população dentro dessa condição. Por outro lado, o bairro Quintino Cunha ficou no pior lugar dentre os que compuseram o *cluster* 3. Na 19ª posição do *ranking*, o bairro tinha 7,40% dos habitantes na condição de extrema pobreza. Os bairros que assumiram as últimas posições do *ranking*, isto é, aqueles com menor percentual de indivíduos extremamente pobres, foram agrupados nos *clusters* 1 e 2. Com exceção dos bairros Jóquei Clube, Jardim Cearense e Dom Lustosa, todos os participantes dos *clusters* 3 e 4 ficaram entre os 50 bairros com maior percentual de população extremamente pobre da cidade. Em média, 5,161% dos habitantes desses bairros foram classificados nessa condição.

A composição de bairros dos *clusters* 3 e 4 foi formada por membros cuja renda média mensal em valores nominais de 2010 dos habitantes com idade superior a 10 anos era menor do que R\$ 720,00. O Jardim Cearense apresentou o melhor resultado dentre os participantes desses agrupamentos espaciais, na 47ª posição do *ranking* do IPECE, com uma renda mensal média de R\$ 717,01. O pior resultado foi o do Planalto Ayrton Senna: o bairro ficou na 109ª posição, com uma renda mensal média de R\$ 360,67. A média desse indicador entre os membros desses dois *clusters* foi de R\$ 553,15 – isto é, um valor cerca de 37% menor do que a média de todos os bairros da cidade, R\$ 876,75.

## 5.2 Análise da formação de clusters de acordo com a evolução temporal das taxas de roubo dos bairros de Fortaleza entre 2009 e 2020

A distribuição geográfica dos bairros de Fortaleza agrupados em *clusters* de acordo com a evolução temporal de suas taxas de roubo no período de 2009 a 2020 é apresentada na Figura 3. O algoritmo empregado separou os bairros de Fortaleza em quatro diferentes *clusters*, agrupando-os segundo a semelhança do comportamento no tempo de suas séries de taxas de roubo. O *cluster* 4 concentrou o maior número de bairros: 55, seguido pelo *cluster* 1, com 25, e depois pelos *clusters* 3 e 2, que juntaram 19 e 15 bairros, respectivamente.

**Figura 3** - Distribuição espacial dos bairros da cidade de Fortaleza conforme a evolução temporal de suas taxas de roubo no período de 2009 a 2020



**Taxa de roubo**

Fonte: Elaboração própria (2022).

O comportamento das séries temporais dos quatro *clusters* é exibido na Gráfico 3. O mais baixo valor da taxa de roubo do *cluster* 1 na série temporal foi atingido no ano de 2014, quando a variável apresentou um valor aproximadamente 40% menor do que o do ano inicial.

Depois disso, sucessivos aumentos levaram a variável a alcançar seu pico na série por volta do ano de 2018 – um valor 40% maior do que o do ano de 2009. Ao fim do período de análise, a variável passou por um declínio até atingir, em 2020, um patamar muito próximo ao do começo da série temporal. O desempenho do *cluster 2* foi certamente o pior dentre os quatro durante a década. Ele foi o único que apresentou ao final da série uma taxa de roubo maior do que a inicial. Após atingir em 2011 um valor quase 32% menor do que o inicial, a taxa de roubo passou por uma tendência de alta até se estabelecer nos anos de 2016 a 2019 com poucas oscilações em torno de um valor 100% mais alto do que o de 2009. Apesar de regredir depois desse período, a variável permaneceu em um nível quase 50% mais elevado do que o do início da série.

**Gráfico 3** - Evolução temporal da taxa de roubo dos quatro *clusters* no período de 2009 a 2020



Fonte: Elaboração própria (2022).

A semelhança entre as evoluções temporais das séries dos *clusters* 3 e 4 é notável - elas se tangenciam e se sobrepõem em diversos momentos do período. As variáveis de ambas as séries encerram o ano de 2020 em níveis cerca de 20% mais baixos do que os do início, em 2009. O pior momento para os bairros do *cluster 3* aconteceu entre os anos de 2016 e 2017, quando a taxa de roubo alcançou o seu mais alto valor na série temporal (17% maior do que o

nível do primeiro ano do período). O pico da série do *cluster* 4, por sua vez, ocorreu no ano de 2016, quando o indicador atingiu um valor 31% maior do que o inicial.

Dentre os bairros que ocuparam as dez primeiras posições do *ranking* de IDH-B (Índice de Desenvolvimento Humano dos Bairros) estruturado pela SDE com dados do censo de 2010, sete foram inseridos pelo algoritmo no *cluster* 4, dois foram direcionados para o *cluster* 1 e um para o *cluster* 2. Este último, o Cocó, foi o único bairro da lista a fazer parte de um agrupamento espacial cuja evolução temporal da taxa de roubo resultou em um aumento do indicador. Os membros do *cluster* 2, com exceção dos bairros Cocó, Parreão e Bom Futuro, todos apresentaram um IDH-B baixo, inferior a 0,500. Dentre os quinze bairros do grupo, o Cocó tem o maior IDH-B (0,762), o Parque Presidente Vargas o menor (0,135), e a média de todos eles é 0,312.

No *ranking* da população extremamente pobre - organizado também pelo IPECE -, seis dos bairros estabelecidos nas dez melhores posições foram alocados no *cluster* 4, três no *cluster* 1 e um no *cluster* 2 (a saber, o bairro Cocó). Dez dos quinze bairros deste agrupamento ficaram entre os 50 bairros com maior percentual de população extremamente pobre da cidade. Seis deles figuraram, inclusive, entre as 25 piores posições da lista. O bairro Parque Presidente Vargas apresentou o pior resultado do *cluster*, com 15,66% de sua população na condição de extrema pobreza, seguido por Canindezinho (10,47%), e Granja Portugal (10,44%). Os melhores resultados foram apresentados pelo Cocó (0,66%), Parreão (1,05%) e Itaoca (2,32%). Em média, 6% da população dos bairros desse agrupamento espacial é extremamente pobre.

Com exceção dos bairros Cocó e Parreão, todos os integrantes do *cluster* 2 ficaram no *ranking* do IPECE entre aqueles cuja renda média mensal de seus habitantes era menor do que R\$ 800,00, em valores nominais de 2010. O Cocó apresentou um dos melhores resultados da lista, posicionando-se em 3º lugar com uma renda mensal média de R\$ 3295,32 e o Parreão em 23º, com R\$ 1202,45. Desconsiderando esses dois bairros, a média desse indicador no *cluster* seria de R\$ 522,36, a saber, um valor 40% menor do que a média de todos os bairros de Fortaleza. Os bairros que assumiram as posições mais altas da lista ficaram fortemente concentrados no *cluster* 4, salvo algumas exceções – dentre as quais, a que merece mais ênfase já foi mencionada: o bairro Cocó, que apesar de apresentar bons indicadores socioeconômicos, figurou entre os *clusters* com pior desempenho.

### 5.3 Avaliação da variação e das taxas de crescimento das taxas de furto e de roubo apresentadas pelos *clusters* no período de 2009 a 2020

Em síntese, nos agrupamentos espaciais formados conforme a evolução temporal das taxas de furto dos bairros fortalezenses, os valores do indicador observados ao fim da trajetória das séries temporais dos *clusters* 1 e 2 foram menores do que os iniciais, e os dos *clusters* 3 e 4 foram maiores. Nos grupos construídos a partir da evolução temporal das taxas de roubo, o valor final do indicador só foi maior do que o inicial na série temporal do *cluster* 2. A variação foi aproximadamente nula na série de tempo do *cluster* 1, e negativa nas séries dos *clusters* 3 e 4. Um resumo da magnitude das diferenças entre os valores finais e iniciais dos indicadores é exibido no Quadro 1.

**Quadro 1** – Resumo das diferenças entre os valores finais e iniciais das taxas de furto e roubo dos *clusters*

Taxa de furto	Variação	Taxa de roubo	Variação
Cluster 1	-19%	Cluster 1	-2%
Cluster 2	-33%	Cluster 2	47%
Cluster 3	245%	Cluster 3	-17%
Cluster 4	28%	Cluster 4	-21%

Fonte: Elaboração própria (2022).

Dentre os bairros agrupados de acordo com a evolução temporal das taxas de furto, aqueles já antes mencionados que compuseram o *cluster* 3 foram alocados nos *clusters* (taxa de roubo) 1 (Boa Vista e Quintino Cunha) e 4 (Jóquei Clube) pelo algoritmo. Isto é, esses três bairros foram agrupados aos *clusters* em que a taxa de roubo diminuiu (*cluster* 4), ou pelo menos não cresceu (*cluster* 1), apesar de terem formado o *cluster* que apresentou o crescimento mais expressivo da taxa de furto. Todos os bairros que compuseram o *cluster* 4 (taxa de furto) – grupo que também apresentou variação positiva do indicador – foram postos no *cluster* 3 (taxa de roubo). Neste, a variação do indicador foi negativa, como podemos observar no quadro.

Os 78 bairros do *cluster 1* (taxa de furto) foram alocados nos *clusters* (taxa de roubo) da seguinte maneira: *cluster 1* (4 bairros), *cluster 2* (15 bairros), *cluster 3* (12 bairros) e *cluster 4* (47 bairros). Os membros do *cluster 2* (taxa de furto) foram incluídos nos *clusters* (taxa de roubo) 1 e 4. Dos 47, 40 foram inseridos no *cluster 1* e 7 no *cluster 4*. Os primeiros foram posicionados em agrupamentos espaciais que apresentaram redução na taxa de furto e na taxa de roubo, e os demais em grupos que apresentaram uma queda na taxa de furto e uma variação nula da taxa de roubo.

A maioria dos bairros participantes do *cluster 1* (taxa de roubo) foram adicionados ao *cluster 2* (taxa de furto). Nesses, a variação da taxa de roubo foi nula e a da taxa de furto foi negativa. Todos os integrantes que figuraram no *cluster 2* (taxa de roubo) figuraram no *cluster 1* (taxa de furto). Esses bairros apresentaram variação positiva na taxa de roubo e negativa na taxa de furto. A maior parte daqueles que integraram *cluster 2* (taxa de roubo) foram inseridos no *cluster 1* (taxa de furto). Nesses, a variação dos dois indicadores foi negativa. Dos 55 membros do *cluster 4* (taxa de roubo), 49 figuraram no *cluster 1* (taxa de furto). Nesses, o fenômeno se repetiu: as taxas de furto e roubo foram reduzidas.

Com o intuito de obter as taxas de crescimento dos indicadores ao longo do período estudado neste trabalho, estimamos um modelo semilogarítmico chamado *log-lin*. Neste tipo de modelo – descrito por  $\ln Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + u_t$  -, o regressando é o logaritmo da variável dependente, o regressor é o tempo, e o coeficiente angular  $\beta_2$  é conhecido na literatura específica como a semielasticidade de Y em relação a X e representa a taxa de crescimento de Y. O coeficiente  $\beta_2$  fornece a taxa de crescimento em um ponto do tempo, chamada de taxa de crescimento instantânea, e o seu antilogaritmo dá a taxa de crescimento em um intervalo de tempo, isto é, a taxa de crescimento composta (GUJARATI; PORTER, 2011).

Dentre os grupos formados com base na semelhança da evolução temporal das taxas de furto dos bairros de Fortaleza, os *clusters 1* e *2* apresentaram taxas de crescimento instantâneas negativas: -0,18% e -0,23%, respectivamente. Uma vez que esses valores são negativos, o antilogaritmo deles mede a taxa de decrescimento anual das taxas de furto dos agrupamentos espaciais. Portanto, os *clusters 1* e *2* apresentaram reduções da taxa de furto de 0,83% e 0,79% ao ano ao longo do período. Por outro lado, as taxas de crescimento instantâneas dos *clusters 3* e *4* foram positivas, sendo a do primeiro igual a 1,58% e a do segundo a 0,28%. O crescimento anual da taxa de furto do *cluster 3* foi bastante significativo. A taxa de crescimento composta

desse agrupamento espacial foi de 4,85%. Por fim, a taxa de crescimento instantânea do *cluster* 4 foi de 0,28% e a taxa de furto do grupo cresceu 1,32% ao ano.

No que diz respeito aos grupos estruturados segundo a semelhança da evolução temporal das taxas de roubo dos bairros fortalezenses, somente a taxa de crescimento instantânea do *cluster* 3 foi negativa: -0,006%. A taxa de furto desse *cluster* sofreu redução de 0,99% ao ano ao longo de todo o período observado. Os *clusters* 1, 2 e 4, em contrapartida, apresentaram taxas de crescimento instantâneas positivas de 0,29%, 0,59% e 0,004%. Dentre eles, a maior taxa de crescimento composta foi a do *cluster* 2. Ao ano, a taxa de roubo deste cresceu 1,80%. A segunda maior taxa de crescimento anual foi a do *cluster* 1, 1,33%; e a última a do *cluster* 4, 1%.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi estimar *clusters* com base na semelhança da trajetória temporal das taxas de furto e roubo dos bairros de Fortaleza. Por meio do uso da metodologia apresentada em Vogt, Michael & Linton, Oliver (2020), os 114 bairros da cidade foram separados em quatro agrupamentos espaciais, de acordo com a similaridade da evolução temporal das suas taxas de furto, e em outros quatro segundo a semelhança da trajetória das séries temporais das suas taxas de roubo.

Dentre os quatro *clusters* encontrados na estimação feita pelo algoritmo HAC de acordo com a evolução temporal das taxas de furto no período de 2010 a 2020, o *cluster 1* capturou a maior quantidade de unidades espaciais: número equivalente a quase 70% dos bairros da cidade. O *cluster 2* recebeu cerca de 22% dos bairros e o percentual restante distribuiu-se entre os *clusters 3* e 4. A taxa de furto foi reduzida nos *clusters 1* e 2, mas cresceu nos *clusters 3* e 4. A magnitude das variações ao fim do período, resumida na Tabela 1, foi de -19%, -33%, 245% e 28%, respectivamente. Ademais, as taxas de variação anual do indicador dos quatro *clusters*, obtidas por meio do uso do modelo *log-lin*, foram de -0,83%, -0,79%, 4,85% e 1,32%.

Na divisão das unidades espaciais feitas conforme a semelhança da evolução temporal das taxas de roubo no período de 2009 a 2020, cerca de 48% dos bairros da cidade concentraram-se no *cluster 4*. Pouco mais de 21% foram alocados no *cluster 1*, e o percentual restante nos outros dois agrupamentos espaciais. A variação da taxa de roubo do *cluster 1* foi de -2%, e as dos demais foram, respectivamente de: 47%, -17% e -21%. Por último, as taxas de variação anual do indicador apresentadas pelos quatro *clusters* foram de 1,33%, 1,80%, -0,99% e 1%.

## REFERÊNCIAS

- ANEVI-CE. **Anuário Estatístico da Violência e Criminalidade do Ceará**. Disponível em: <[https://www.ufc.br/images/\\_files/noticias/2021/210520\\_anuario\\_violencia.pdf](https://www.ufc.br/images/_files/noticias/2021/210520_anuario_violencia.pdf)> Acesso em: 20/06/2022.
- ALMEIDA, E. S., HADDAD, E. A., & Hewings, G. J. D. The spatial pattern of crime in Minas Gerais: An exploratory analysis. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 39-55, 2005.
- ANSELIN, Luc; BERA, Anil K.. Spatial dependence in linear regression models with and introduction to spatial econometrics. In: ULLAH, Aman. **HANDBOOK OF APPLIED ECONOMIC STATISTICS**. New York: CRC Press, 1998. p. 237-289.
- BECKER, Gary S.. Crime and punishment: an economic approach. **Journal Of Political Economy**, Chicago, v. 76, n. 2, p. 169-217, mar./abr 1968.
- CAIRES, Fernanda Oliveira Caires e; PIRES, Mônica de Moura; GOMES, Andréa da Silva; MOROLLÓN, Fernando Rubiera. Dinâmicas espaciais da criminalidade no estado da Bahia. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, n. 3, p. 69-87, jul./set., 2020.
- CECCATO, Vania. Public space and the situational conditions of crime and fear. **International Criminal Justice Review**, Georgia, v. 26, n. 2, p. 69-79, maio 2016.
- CECCATO, Vania; NALLA, Mahesh K.. **CRIME AND FEAR IN PUBLIC SPACES: towards safe, inclusive and sustainable cities**. New York: Routledge, 2020. Disponível em: <<https://www.taylorfrancis.com/books/oa-edit/10.4324/9780429352775/crime-fear-public-places-vania-ceccato-mahesh-nalla>> Acesso em: 04 jul. 2022.
- COSTA, Fernanda Vieira Crisóstomo da. "**A violência impera nessa cidade**": reflexões sobre o medo de assaltos em Fortaleza-CE. 2018. 227 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sociologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- EHRlich, Isaac. Participation in illegitimate activities: an economic analysis. **Journal Of Political Economy**, Chicago, v. 81, n. 3, p. 521-565, mai./jun 1973.
- FARIAS, Christiano Alves; FIGUEIREDO, Adelson Martins; LIMA, João Eustáquio de. 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.
- FBSP. **Fórum Brasileiro de Segurança Pública**. Anuário Brasileiro de Segurança Pública, 2021. Disponível em: <<https://forumseguranca.org.br/anuario-brasileiro-seguranca-publica/>> Acesso em: 20/06/2022.
- GARCIA NETO, A. S. G.; SIMÃO, C. H. M.; MACHADO, T. P.; e PARRÉ, J. L. **Análise espacial dos crimes contra o patrimônio no Estado de São Paulo**. I Congress Latin American and Caribbean Regional Science Association International. XV 114 Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos. São Paulo; 2017.
- GOLDBERG, Michael; KIM, Kwang Wook; ARIANO, Maria. **HOW FIRMS COPE WITH CRIME AND VIOLENCE: experiences from around the world**. Washington, Dc: World Bank, 2014. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16539>. Acesso em: 04 jul. 2022.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C.. **ECONOMETRIA BÁSICA**. 5. ed. São Paulo: Amgh Editora Ltda., 2011.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil municipal de Fortaleza, tema IV: dinâmica do emprego formal. IPECE Informe, n. 42, outubro, 2012.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil municipal de Fortaleza, tema VII**: distribuição espacial da renda pessoal. IPECE Informe, n. 37, agosto, 2012.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil municipal de Fortaleza, tema VIII**: o mapa da extrema pobreza. IPECE Informe, n. 43, outubro, 2012.

LOUREIRO, Paulo R. A.; SILVA, Emilson Caputo Delfino. Does violence deter investment and hinder economic growth? **Brazilian Review Of Econometrics**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 53-67, maio 2010.

LUCAS, Miriã de Sousa; CUNHA, Marina Silva da; BONDEZAN, Kézia de Lucas. Determinantes socioeconômicos da criminalidade no estado do Paraná: uma análise espacial. **Revista de Economia**, [S.L.], v. 41, n. 75, p. 248-281, 30 jun. 2020. Universidade Federal do Paraná. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.5380/re.v41i75.68314>> Acesso em: 04 jul. 2022.

MEDEIROS, C. N.; CARVALHO, J. R.; e OLIVEIRA, V. H. Violência, desenvolvimento e demografia: uma análise espacial para a cidade de fortaleza em anos recentes. In: BARRETO, Flávio Ataliba Flexa Daltro; MENEZES, Adriano Sarquis B. de; ASSIS, Dércio N. Chaves de; SOUSA, Fátima Juvenal de. (org.). **Economia do Ceará em Debate**, 2015. Fortaleza, CE: IPECE, v. 1; p. 8-41; 2015.

SARTORIS NETO, Alexandre. **Homicídios na cidade de São Paulo**: uma análise de causalidade e autocorrelação espaço-temporal. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ODON, Tiago Ivo. Segurança pública e análise econômica do crime: o desenho de uma estratégia para a redução da criminalidade no brasil. **Revista de Informação Legislativa**, Brasília, v. 55, n. 218, p. 33-61, abr./jun 2018. Disponível em: <[https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/55/218/ril\\_v55\\_n218\\_p33](https://www12.senado.leg.br/ril/edicoes/55/218/ril_v55_n218_p33)> Acesso em: 04 jul. 2022.

PEIXOTO, Betânia Totino. **Determinantes da criminalidade no município de Belo Horizonte**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

PLASSA, W. e PARRÉ, J. L. A Violência no estado do Paraná: uma análise espacial das taxas de homicídios e de fatores socioeconômicos. Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbano. **Anais**; Curitiba: ABER; 2015.

SANTOS, Marcelo Davi. **Ensaio sobre violência & criminalidade (V&C) em uma análise teórica, empírica e espacial**: evidências para o estado do Ceará e a cidade de Fortaleza. Tese (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal do Ceará, 2020.

SDE – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico. **Desenvolvimento humano, por bairro, em Fortaleza**. Prefeitura de Fortaleza, fevereiro, 2014.

SHERMAN, Lawrence W.; GOTTFREDSON, Denise C.; MACKENZIE, Doris L.; ECK, John; REUTER, Peter; BUSHWAY, Shawn D.. **Preventing crime**: what works, what doesn't,

what's promising. New York: U.S. Department Of Justice, 1998. Disponível em: <<https://www.ojp.gov/pdffiles/171676.pdf>> Acesso em: 04 jul. 2022.

SILVA JÚNIOR, Inaldo Bezerra da. **Impactos das políticas de segurança sobre a difusão da criminalidade entre as cidades**: uma aplicação dos modelos de econometria espacial. 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SSPDS/CE - Secretaria da Segurança Pública e Defesa Social do Ceará. **Boletim mensal de Crimes violentos letais e intencionais (CVLI), Crimes violentos contra o Patrimônio (CVP) e Furtos**. Superintendência de Pesquisa e Estratégia de Segurança Pública do Ceará (SUPESP/CE); Gerência de Estatística e Geoprocessamento (GEESP), Fortaleza, CE, dezembro, 2020.

UN-Habitat – United Nations Human Settlements Programme. **State of the world's cities 2010/2011 – cities for all**: bridging the urban divide. Earthscan, 2010. Disponível em: <<https://unhabitat.org/>> Acesso em: 04 de jul. 2022.

VOGT, Michael; LINTON, Oliver. Multiscale clustering of nonparametric regression curves. *Journal Of Econometrics*, [S.L.], v. 216, n. 1, p. 305-325, maio 2020. **Elsevier BV**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jeconom.2020.01.020>> Acesso em: 04 jul. 2022.