

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS  
CENTRO DE ECONOMIA E NEGÓCIOS FACULDADE DE  
CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**JOÃO PEDRO TOLEDO TRICOLI DE LUCAS**

**DETERMINANTES DO CRIME NO SUDESTE  
BRASILEIRO: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE  
ECONOMETRIA ESPACIAL**

**CAMPINAS**

**2023**

**JOÃO PEDRO TOLEDO TRICOLI DE LUCAS**

**DETERMINANTES DO CRIME NO SUDESTE  
BRASILEIRO: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE  
ECONOMETRIA ESPACIAL**

Monografia apresentada à Faculdade de Ciências Econômicas no Centro de Economia e Negócios na Pontifícia Universidade Católica de Campinas como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Me. Pedro de Miranda Costa

**CAMPINAS**

**2023**

**JOÃO PEDRO TOLEDO TRICOLI DE LUCAS**

**DETERMINANTES DO CRIME NO SUDESTE BRASILEIRO: APLICAÇÃO DE  
TÉCNICAS DE ECONOMETRIA ESPACIAL**

Monografia defendida e aprovada em 05 de dezembro  
de 2023 pela comissão examinadora:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Me. Pedro de Miranda Costa  
Orientador e presidente da comissão  
examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas

---

Professor Dr. Paulo Ricardo da Silva Oliveira  
Examinador  
Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas

---

Professor Me. Roberto Brito de Carvalho  
Examinador  
Pontifícia Universidade Católica de  
Campinas

**CAMPINAS**

**2023**

Ficha catalográfica elaborado por XXX CRB Sistema de Bibliotecas e Informações – SBI – PUC-Campinas

The screenshot shows a web application interface for managing cataloging requests. The breadcrumb navigation at the top reads: "Meu Pergamum >> Solicitações >> Ficha catalográfica".

**Left Sidebar:**

- Voltar
- Solicitações
  - Consultar solicitações de empréstimo
  - Levantamento bibliográfico
  - Ficha catalográfica
- Sair

**Main Content Area:**

Header: "Ficha catalográfica >> Histórico" with a "Ficha catalográfica" link.

Message: "O prazo para elaboração da ficha catalográfica é de até 3 dias úteis." (The deadline for the cataloging card is up to 3 business days.)

Filter: "Filtrar por situação" with a dropdown menu set to "Todos". Buttons: "Mostrar" and "Limpar".

Data da solicitação	Descrição da solicitação	Situação
23/11/2023 - 15:27	<p>Unidade de Informação: Biblioteca Campus I - Unid. 1</p> <p>Título: DETERMINANTES DO CRIME NO SUDESTE BRASILEIRO: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ECONOMETRIA ESPACIAL</p> <p>Palavras-chave: Economia do Crime; Econometria Espacial; Análise Exploratória de Dados Espacial; Criminalidade Sudeste Brasileiro</p> <p>Folha de rosto: Monografia apresentada à Faculdade de Ciências Econômicas no Centro de Economia e Negócios na Pontifícia Universidade Católica de Campinas como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.</p>	Aguardando

**Footer:**

©2023 Pergamum. Todos os direitos reservados. | Navegadores - versões mínimas: 104.0.0.1 | 110.0.1 | 110.0.0.1 | Suporte

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente à minha mãe, Lilia de Jesus Toledo Tricoli de Lucas, e à minha madrinha, Dirlene Aparecida de Oliveira, pelo apoio incondicional e dedicação ao longo da minha vida e trajetória acadêmica.

Ao estimado professor Paulo Ricardo da Silva Oliveira, responsável por grande parte do meu desenvolvimento acadêmico e profissional, agradeço a dedicação, paciência, apoio e incentivo. Suas perspectivas compartilhadas serão levadas por toda a minha vida.

Ao professor e orientador Pedro de Miranda Costa, expresso minha gratidão pela paciência e apoio durante a elaboração da monografia, bem como pela parceria nos projetos do Observatório.

Expresso minha gratidão a todos os professores do Observatório PUC-Campinas, cujo suporte foi fundamental em todos os projetos de extensão. Contribuindo para criar um ambiente de aprendizado agradável e promovendo meu crescimento acadêmico.

Ao professor Brito de Carvalho, agradeço por me incluir em diversos projetos que representaram a universidade, além de oferecer valiosas perspectivas econômicas.

A todos, muito obrigado.

"I am saying that the economic approach provides a valuable unified framework for understanding all human behaviour".

Gary Becker

## RESUMO

LUCAS, João Pedro Toledo Tricoli. DETERMINANTES DO CRIME NO SUDESTE BRASILEIRO: APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ECONOMETRIA ESPACIAL. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Ciências Econômicas, Centro de Economia e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2023.

Diversas áreas do conhecimento investigam os determinantes da criminalidade, buscando compreender o "como" e "porquê" as pessoas cometem crimes. Este estudo propõe-se a analisar os determinantes do crime na região sudeste do Brasil, utilizando técnicas de econometria espacial. Embasado na economia do crime e na Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), o modelo econométrico Spatial Lag (SAR) foi aplicado aos dados de taxas de homicídio por cem mil habitantes de 2010, suavizado pelo método bayesiano, em nível municipal e para grupos de variáveis socioeconômicas que abrangem desigualdade, predisposição do homem jovem, instabilidade familiar, educação, urbanização e risco. A inclusão do componente espacial não valida a significância encontrada no modelo linear simples para variáveis como desigualdade e predisposição do jovem ao crime. Por outro lado, destaca-se o impacto positivo da educação, estabilidade familiar, urbanização, taxa de desocupação e risco de apreensão em regiões metropolitanas. Vale ressaltar a presença de clusters de alta criminalidade no Rio de Janeiro e Espírito Santo e baixa em regiões de Minas Gerais e São Paulo. Em resumo, políticas voltadas para a redução de desigualdades, promoção da educação, fortalecimento da estabilidade familiar, investimento em segurança e criação de oportunidades de trabalho têm o potencial de gerar impactos positivos na diminuição da taxa de homicídios.

**Palavras-chave:** Economia do Crime; Econometria Espacial; Análise Exploratória de Dados Espacial; Sudeste Brasileiro

## ABSTRACT

LUCAS, João Pedro Toledo Tricoli. DETERMINANTS OF CRIME IN BRAZILIAN SOUTHEAST: APPLICATION OF SPATIAL ECONOMETRIC TECHNIQUES. 2023. Undergraduate Thesis. School of Economics, Center for Economics and Business, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2023.

Several fields of knowledge delve into the determinants of criminality, aiming to understand "how" and "why" individuals commit crimes. This study seeks to analyze the determinants of crime in the southeastern region of Brazil, utilizing spatial econometric techniques. Based on the economics of crime and Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA), the Spatial Lag (SAR) econometric model was applied to homicide rate data per one hundred thousand inhabitants from 2010, smoothed by Bayesian methodology, at the municipal level and across socio-economic variable groups encompassing inequality, predisposition of young men, family instability, education, urbanization, and risk. The inclusion of the spatial component does not validate the significance found in the simple linear model for variables such as inequality and young people's predisposition to crime. Conversely, it highlights the positive impact of education, family stability, urbanization, unemployment rate, and apprehension risk in metropolitan regions. It is worth noting the presence of high crime clusters in Rio de Janeiro and Espírito Santo and low clusters in regions of Minas Gerais and São Paulo. In summary, policies aimed at reducing inequalities, promoting education, strengthening family stability, investing in security, and creating job opportunities have the potential to generate positive impacts in reducing homicide rates.

**Keywords:** Economics of Crime; Spatial Econometrics; Spatial Exploratory Data Analysis; Brazilian Southeast.



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Matrizes de Vizinhança .....	32
Quadro 2 - Matriz de Vizinhança de Segunda Ordem.....	33
Quadro 3 - Matriz de Vizinhança com Pesos Binários .....	34
Quadro 4 - Matriz de Vizinhança com Pesos Padronizados .....	35
Quadro 5 - Categorias do Indicador de Associação Espacial Local.....	36
Quadro 6 - Variáveis Independentes Finais e Expectativa de Impacto .....	47
Quadro 7 - Interpretações de Impacto Modelo Spatial Lag (SAR) .....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis Independentes Regressão Stepwise .....	46
Tabela 2 - Resultado Modelo MQO.....	48
Tabela 3 - Resultado Global Moran I .....	50
Tabela 4 - Resultado Multiplicador de Lagrange.....	52
Tabela 5 - Comparação dos Resultados do MQO e SAR .....	54
Tabela 6 - Impactos das Variáveis do Modelo (SAR).....	56

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação de Modelos de Regressão Espacial .....	40
Figura 2 - Processo de Escolha Modelo de Regressão Espacial.....	42
Figura 3 - Taxa de Homicídio por Cem Mil Habitantes no Sudeste Brasileiro em 2010 .....	45
Figura 4 - Taxa de Homicídio por Cem Mil Habitantes Suavizada no Sudeste Brasileiro em 2010 .....	45
Figura 5 - Mapa dos Resíduos.....	49
Figura 6 - Correlograma de Moran I.....	50
Figura 7 - Indicador Local de Associação Espacial (LISA).....	51

## **LISTA DE SIGLAS**

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
SAR	Spatial Autoregressive Model
SEM	Spatial Error Model
MQO	Mínimo Quadrados Ordinários
OLS	Ordinary Least Squares
GMM	Gaussian Mixture Model
AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
LISA	Local Indicator Spatial Assosiation
SLM	Standart Linear Model
VIF	Variance Inflation Factor

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEÓRIA ECONÔMICA SOBRE A CRIMINALIDADE .....	17
1.1.1 DANOS .....	17
1.1.2 O CUSTO DE APREENSÃO E CONVICÇÃO .....	18
1.1.3 OFENÇAS.....	19
1.1.4 PUNIÇÃO.....	20
1.3 REVISAO DA LITERATURA .....	22
1.3.1 DETERMINANTES DO CRIME .....	23
2. METODOLOGIA .....	29
2.1 REGRESSÃO ESPACIAL .....	29
2.1.1 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL.....	30
2.1.2 MATRIZ DE VIZINHANÇA .....	31
2.1.4 ÍNDICE DE MORAN.....	35
2.1.5 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS ORDINÁRIOS (MQO) .....	37
2.1.6 MODELO SPATIAL LAG (SAR).....	38
2.1.7 MODELO SPATIAL ERROR (SEM).....	40
2.1.8 ESCOLHA DO MODELO DE REGRESSÃO ESPACIAL .....	41
3. RESULTADOS.....	43
3.1 MODELO MQO .....	43
3.2 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL – MORAN I E LISA.....	49
3.3 SELEÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO ESPACIAL.....	52
3.4 MODELO SPATIAL LAG (SAR) .....	53
3.4.1 INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA.....	55
3.5 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM ESTUDOS SIMILARES .....	57
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

## 1. INTRODUÇÃO

Há procura de respostas sobre a criminalidade sempre foi algo estudado por diversas áreas acadêmicas, tendo como pioneirismo a sociologia, com estudos empíricos, baseado em observação. O desenvolvimento da criminologia pode ser sintetizado em duas classificações. A escola clássica desenvolvida no século XVIII, com a tentativa de reformar o sistema legal e proteger o acusado contra ações arbitrárias do estado e a escola positivista, com o intuito de aplicar métodos científicos ao estudo do crime. (JEFFERY, 1960)

A escola positivista ao contrário da clássica rejeitava a definição de crime como um termo legal, tendo como diferença, o foco de estudo, sendo o indivíduo criminoso, como elemento central, e não o crime em si. A caracterização do positivismo pode ser vista segundo Jeffery (1960) como a tentativa de responder por meio de estudos científicos a criminalidade.

The main characteristic of positivism is its attempt to answer the riddle of criminality by means of scientific studies of the individual offender. The use of scientific method is one of the major characteristics of positivism. (JEFFERY, 1960, v.50, p.3)

Cesare Lombroso, criminologista italiano foi um dos pioneiros na visão positivista, mudando a atenção para o indivíduo no escopo dos estudos. A pergunta do “como e porquê?” as pessoas cometem crimes é a principal indagação do positivismo. (JEFFERY, 1960)

Neste sentido, diversas áreas acadêmicas contribuíram para esta pergunta, partindo da sociologia, psicologia, incluindo as ciências econômicas. A criação de modelos com fundo científico para explicações econômicas iniciou de forma mais constante a partir de Adam Smith, com considerações ao indivíduo como racional, custo benéfico e teorização sistemática de problemas econômicos.

Desta forma, a base científica do positivismo promoveu um ambiente propício há aplicação de modelos matemáticos, com fundo econômico, tendo como objetivo entender os fatores que estão relacionados com a decisão do indivíduo ao cometer um crime.

A base destes estudos, se encontra entorno de análises econométrica espacial das variáveis socioeconômicas, que podem se relacionar com a ação criminosa, em outras palavras, quais fatores podem influenciar na decisão do indivíduo em cometer ou não um crime.

A literatura discute vários indicadores socioeconômicos que podem estar vinculado com a criminalidade. Segundo Jeffery (1960) a sociologia e psicologia enfatizam a importância da família na relação do crime, por outro lado, a economia busca relação com o desemprego, renda, desigualdade social, dentre outras.

Uma das teses científicas baseadas no pensamento econômico, que irá servir como base para este trabalho, é a de Becker (1968), explicitado em seu estudo, *Crime and Punishment an Economic Approach*, onde um modelo econômico e matemático analisa a escolha de um indivíduo de cometer ou não um crime.

Assumindo a racionalidade, uma pessoa cometeria um ato ilícito ao considerar que a utilidade de cometer tal delito supere a utilidade que ele poderia ter ao utilizar seu tempo em outra atividade legal.

A visão utilitarista traz um ideal sobre a escolha do indivíduo racional, ponderando os riscos e possíveis recompensas no momento de escolha da prática criminosa. A inclusão das variáveis socioeconômicas em modelagem matemática tem por objetivo identificar os possíveis determinantes que pesem na decisão do indivíduo, sendo uma das contribuições econômicas.

Com isso, diversos estudos foram feitos, em vários níveis territoriais para as principais variáveis socioeconômicas e a relação com a atividade criminal. A literatura concorda que por exemplo, um maior nível de educação, menor desigualdade, dentre outros, levariam a uma redução no nível de criminalidade.

Contudo no passar dos séculos vemos uma maior alfabetização, democratização, renda, controle inflacionário e diversos outros avanços socioeconômicos que contribuem para a melhora do bem-estar. Apesar disso, os indicadores de violência e criminalidade continuam a crescer de maneira constante. Filho e Reis (1999) explicitam este fenômeno como um paradoxo, onde apesar dos avanços socioeconômicos a criminalidade continua a aumentar, principalmente em grandes centros urbanos.

Portanto, este trabalho tem como objetivo geral estudar a economia do crime, com referencial teórico pautado na teoria de Becker (1968), utilizando de modelagem a econometria espacial e Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para identificar a relação das principais variáveis socioeconômicos com a criminalidade na região Sudeste do Brasil.

Os objetivos específicos são: a) Analisar os pilares dos determinantes do crime, sendo estes, danos, custo de apreensão e convicção, ofensas e punição. Seguindo o referencial teórico de Becker (1968); b) Revisão da literatura, pautada na conclusão de resultados obtidos em estudos similares, com diferentes níveis territoriais, e a decisão das escolhas de variáveis; d) Especificar os princípios da econometria espacial e Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), incluindo os principais modelos: MQO, Spatial Lag, Spatial Erro além dos critérios de escolha por Anselin. L (2005) e) Construção do modelo, considerando como variável dependente a taxa de homicídio por cem mil habitantes em 2010, suavizada pelo método bayesiano, no sudeste brasileiro e processo de escolha das variáveis independentes f) Estimação do modelo MQO e sequência do processo metodológico para escolha da regressão espacial f) Interpretação do modelo espacial escolhido g) Conclusão e comparação dos resultados encontrados com estudos similares.

A metodologia utilizada nessa pesquisa, considerando objetivos e finalidades será feita por método empírico e pesquisa bibliográfica para método de comparação. Os dados coletados sobre criminalidade serão do Atlas da Violência do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Em relação as variáveis socioeconômicas o ATLAS Brasil, que sumariza dados por municípios, pautado no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) será a principal fonte utilizada.

A Monografia será dividida em três capítulos. O primeiro apresentará o referencial teórico da economia do crime, seguido da revisão de literatura sobre os principais estudos relacionados à teoria, focando nos critérios das principais variáveis socioeconômicas escolhidas e resultados obtidos.

O segundo capítulo irá trazer a metodologia, seguindo os conceitos da econometria espacial e Análise Exploratória de Dados Espaciais.

O terceiro capítulo trará o processo de aplicação metodológica aos dados selecionados e interpretação dos resultados obtidos, evidenciando como a incorporação do componente espacial impactou o modelo inicial.

Por fim, será feita uma comparação dos resultados as conclusões de estudos similares, explicitadas na revisão da literatura, evidenciando as semelhanças e divergências dos resultados com o obtido neste estudo.



## 1.1 TEÓRIA ECONÔMICA SOBRE A CRIMINALIDADE

O referencial teórico da presente pesquisa procurou compreender a economia do crime, baseado no estudo, *Crime and Punishment: An Economic Approach* de Becker (1968), que explicita a ação criminosa sendo pautada pela decisão do indivíduo racional, que analisa o custo benéfico, incluindo vantagens e riscos, pesando na decisão de cometer um crime.

Em seu estudo sobre a economia do crime, Becker (1968) desenvolve com bases econômicas, uma análise de políticas públicas e privadas com o objetivo de minimizar o comportamento ilegal na sociedade. A consideração principal do modelo é pautada na decisão do indivíduo, considerando o custo-benefício em alocar seu tempo em uma atividade legal ou ilegal.

Esta decisão pode ser entendida segundo a fórmula abaixo. Viapiana (2006) explicita o modelo de Becker, com o intuito de entender o determinante da atividade criminosa.

$$b > cp \quad (1)$$

Onde:

*b*: benefício gerado ao criminoso por praticar o delito;

*c*: custos da atividade criminosa;

*p*: probabilidade de apreensão

Desta forma o indivíduo é incentivado a escolher a atividade criminosa quando o benefício (*b*) excede o custo da atividade criminosa (*c*) multiplicado pela chance de ser apreendido (*p*).

Neste sentido, a teoria é dividida em quatro (4) principais áreas de atuação, danos, custo de apreensão e convicção, ofensas e a punição.

Nas próximas sessões, cada área de atuação terá um foco maior, explicitando a metodologia matemática de forma sintetizada como meio de pautar e sustentar a teoria.

### 1.1.1 DANOS

Segundo Becker (1968), a quantidade de danos tende a aumentar com o maior nível de atividade criminal.

$$H'_i = \frac{dH_i}{dO_i} > 0 \quad (2)$$

Onde  $H_i$  é o dano da atividade  $i$  e  $O_i$  é o nível de atividade. Também temos que o valor social de ganho para o ofensor tende a aumentar com o número de ofensas.

$$G = G(O) \quad (3)$$

$$G' = \frac{dG}{dO} > 0$$

Logo, o custo ou danos a sociedade é a diferença entre dano e ganho.

$$D(O) = H(O) - G(O) \quad (4)$$

Estas métricas, apesarem de serem importantes não podem ser generalizadas, pois segundo Becker (1968), os custos a sociedade por atividade criminosa se diferem. O exemplo é o custo do assassinato, podendo ser medido simplesmente pela perda de renda da vítima, excluindo o valor dado a vida pela sociedade.

### 1.1.2 O CUSTO DE APREENSÃO E CONVICÇÃO

Neste ponto, Becker (1968) traz a ideia dos gastos relativos a policiamento, corte, juizado, dentre outros fatores do aparato governamental público que são alocados em esforços referente ao combate à criminalidade.

Sendo postulado a relação entre os resultados provindos de policiamento, cortes e outros poderes, incluindo capital e materiais empregados para suprimir a criminalidade. (BECKER, 1968)

Estes resultados, provindos das diversas “Atividades” pode ser sumarizado na seguinte função  $A = f(m, r, c)$ , onde  $f$  compila os esforços, dado os insumos. Logo, a “Atividade” seria mais dispendiosa, como sumariza a relação.

$$C = C(A)$$

$$C' = \frac{dC}{dA} > 0$$
(4)

Uma aproximação para medir o nível de “Atividade”, seria o número de crimes inocentadas por condenação.

$$A \cong pO$$
(5)

Onde  $p$  é a relação entre os delitos apurados pelas condenações e todos os delitos.

Em outras palavras,  $p$  seria a probabilidade geral de que um delito seja resolvido por condenação. A relação principal, é que aumentar a probabilidade de convicção ou o número de ofensas, aumentaria o custo total da ação criminosa. A formulação abaixo traz este pressuposto. (BECKER, 1968)

$$C_o = C'p > 0 \text{ se } pO \neq 0$$
(6)

Uma das argumentações na modelagem de regressão é o fator dos investimentos e qualidade de policiamento, que envolvem esforços governamentais, com objetivo de monitorar e minimizar as atividades criminosas.

### 1.1.3 OFENÇAS

A literatura traz diversos pontos na consideração dos determinantes da atividade criminosa, sendo estes, especificados na revisão da literatura. Contudo, a maioria concorda, que com tudo ou mais constante, temos uma tendencia a redução da atividade criminosa quando se aumenta a probabilidade de apreensão. Becker (1968) evidencia o método principal da escolha racional do indivíduo baseado na expectativa de utilidade.

*The approach taken here follows the economists' usual analysis of choice and assumes that a person commits an offense if the expected utility to him exceeds the utility he could get by using his time and other resources at other*

*activities. Some persons become "criminals," therefore, not because their basic motivation differs from that of other persons, but because their benefits and costs differ.*  
(BECKER, 1968, v. 76, p. 176)

Portanto, a metodologia se embasa na pressuposição que existe uma função, relacionando o número de ofensas de qualquer pessoa à sua probabilidade de condenação, à sua punição se condenado, e a outras variáveis, como a renda disponível em atividades legais além de outras atividades ilegais, a frequência de prisões e predisposição de cometer um ato ilegal. (BECKER, 1968)

$$O_i = O_i(p_i, f_i, u_i) \quad (7)$$

Onde  $O_i$  é o número de delitos que ele cometeria durante um determinado período,  $p_i$  sua probabilidade de condenação por delito,  $f_i$  sua punição por ofensa, e  $u_i$  uma variável que representa todas as outras Influências. (BECKER, 1968)

O aumento de  $p_i$  ou  $f_i$  reduziria a utilidade esperada por ofensa, em consequência reduzindo o número de crimes, isto porque o risco por pagar pelo crime cometido iria aumentar, uma vez que a probabilidade de condenação ou a punição por ofensa aumentou. (BECKER, 1968)

#### 1.1.4 PUNIÇÃO

A punição para a atividade criminosa é um fator discutido de forma polemica e com diversas vertentes. No âmbito político e de políticas públicas um grande esforço é alocado em possíveis soluções para a redução da criminalidade.

A punição acaba sendo um dos principais, pela facilidade e aceitação. Alguns exemplos são a redução da maioria penal, maior rigor nas condenações, dentre outros.

De modo geral, a punição deve se encaixar com o crime, logo, para infrações mais simples temos multas, que são uma punição financeira para quem realiza a ofensa. Por outro lado, em casos mais sérios temos prisão, confisco de bens, dentre outros.

É importante ressaltar que o custo da punição não reside somente sobre o criminoso, e sim sobre toda sociedade. Por exemplo, na prisão temos a exigência

de pessoal, segurança física e tecnológica, manutenção, portanto, estes gastos acabam não sendo redirecionados a outros setores sociais, e são, em sua maioria, originários de tributos e impostos pagos por toda sociedade.

Sendo assim, Becker (1968) determina que o custo da punição é o custo para o indivíduo que cometeu a ofensa mais o custo ou menos o ganho de outros. A relação abaixo mostra a condição em termos do ofensor.

$$f' \equiv bf \quad (8)$$

Onde  $f'$  é o custo social e  $b$  é o coeficiente que transforma  $f$  em  $f'$ . O tamanho de  $b$  difere para cada tipo de punição. Para  $b \cong 0$  temos crimes menores, com multas, enquanto  $b > 1$  seria prisão, e outros tipos mais sérios de punição. (BECKER, 1968)

Quando se fala sobre as punições, como método de redução na atividade criminosa, é importante manter um certo nível de interpretação, pois existem ideologias distintas relacionadas a punição, a ideia como sempre é encontrar um equilíbrio. Em outras palavras, uma penalidade que se encaixa no crime.

Isto é evidenciado principalmente em crimes menores, uma maior punição não significa uma redução nas ofensas, podendo gerar o resultado contrário, uma vez que o risco pelo crime fica drasticamente maior, levando conseqüentemente a maior violência em crimes simples.

Em suma, Becker (1968), concentra a ideia de determinação de um modelo que permita a melhor alocação de recursos para políticas públicas, com o objetivo de reduzir as ações criminosas, incluindo variáveis de gastos governamentais na segurança pública, policiais, cortes, juizados, dentre outros, que ajudariam a aumentar a probabilidade de um crime ser descoberto  $p$  e o ofensor seja preso e condenado.

O peso da punição pode ser visto como  $f$  juntamente com o tipo, prisão em regime fechado ou aberto, multa, tudo dependendo do nível de severidade do crime cometido.

Sendo assim, participar em atividades ilegais poderia ser explicado como uma escolha econômica, de um indivíduo racional, onde, alocar tempo em

certa atividade ilegal geraria maior retorno, considerando os riscos, do que uma atividade legal.

É relevante destacar as diferenças de cada sujeito na consideração de danos causados e riscos, levando em conta que cada um pode ter uma visão acerca do que é considerado atividade ilegal.

To some, any wage rates set by competitive labor markets are permissible, while to others, rates below a certain minimum are violations of basic rights; to some, gambling, prostitution, and even abortion should be freely available to anyone willing to pay the market price, while to others, gambling is sinful, and abortion is murder. These differences are basic to the development and implementation of public policy but have been excluded from my inquiry. (BECKER, 1968, v. 76, p. 209)

Em linhas gerais, a teoria trabalha com o consenso de dano e benefício, alinhando com o custo-benefício e a decisão do indivíduo, contribuindo para uma melhor visão na alocação de recursos com bases econômicas.

As especificações de danos, custo de apreensão e convicção, ofensas e punição, permitem uma seleção de variáveis, adaptável a cada periodicidade de estudo e dados disponíveis para o nível territorial escolhido. O objetivo é contemplar os quatro eixos que impactam na decisão de cometer um crime.

### 1.3 REVISAO DA LITERATURA

Esta monografia utilizou como revisão literária, estudos, em diversos níveis territoriais, nacionais e internacionais, como base para escolha de variáveis na construção do modelo econométrico para análise espacial.

Os trabalhos buscam, de modo geral, responder à questão principal, *“Quais as variáveis socioeconômicas que impactam as atividades criminais?”*.

As escolhas das variáveis para análise no modelo de regressão levam em conta as preposições da expostas por Becker (1968). Um exemplo seria a relação da educação, que poderia influenciar positivamente na redução de atividade criminosa, ou um maior aumento na renda das atividades legais, reduzindo a recompensa na atividade criminosa, dentre outros fatores.

Com este conceito, é analisado em um modelo econométrico um conjunto de variáveis socioeconômicas, que segundo a teoria, impactariam sobre

determinado tipo de crime. Neste sentido, também é incluindo o conceito do espaço e vizinhança, que teria uma relevância no estudo.

A revisão terá como objetivo explorar as decisões nas escolhas de variáveis para estimação do modelo econométrico, explicitando as diferenças e objetivos nos estudos e por fim concluindo seus principais resultados.

Desta forma, será possível ter uma base que suporte a construção do modelo econométrico deste trabalho, assim como uma comparação final para os resultados encontrados.

### **1.3.1 DETERMINANTES DO CRIME**

A ideia presente nos determinantes do crime está baseada no conceito teórico de Becker (1968), onde o indivíduo racional considera os riscos e benefícios no momento de decidir alocar seu tempo em uma atividade legal ou ilegal.

De início, o primeiro grupo de variáveis explanatórias que entram no escopo da análise giram em torno da renda e desigualdade. A renda por si só acaba não sendo significativa segundo FAJNZYLBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998), indicando que maior desigualdade está associada com maior homicídio intencional, contudo, o nível de renda percapita não é significativa.

O problema em relação a análise única da renda ou renda percapita é que ela possui dois vieses de interpretação, no modelo de Becker (1986) a decisão do indivíduo é pautada no custo-benefício em participar ou não de atividade ilegal, considerando riscos e recompensas.

O maior nível de renda, tende a ser interpretado como uma maior recompensa por realizar atividades legais, portanto, reduzindo a atratividade de cometer algum crime. Isto pode levar a uma interpretação perigosa, que considera regiões pobres como mais propensas ao crime.

Contudo, outro ponto de vista, é que, com maior renda percapita, a recompensa pela atividade criminosa também aumenta. Logo, em regiões com maior nível de renda, teria uma maior oportunidade para grandes ganhos, considerando a atividade criminal.

Por este motivo, a literatura considera a renda, contudo, engloba o componente de desigualdade como o mais relevante, pois este sim, estaria positivamente relacionado com as atividades criminosas.

Segundo FRANCISCO; FAJNZYLBER (2001), ao analisarem as taxas de homicídio, abrangendo os estados da federação brasileira de 1981 até 1996, foi encontrado que um aumento de 1% na desigualdade, medida pela fração da renda total dos 20% mais pobres, levaria a uma queda de 3,1% na taxa de homicídio.

Scorzafave e Soares (2009) em um estudo para os municípios do estado de São Paulo, considerando o impacto da renda e outras variáveis sobre crimes com retornos financeiros, detectando uma elasticidade de 1,46, segundo os dados do censo demográfico do ano 2000.

A literatura traz diversas maneiras de tratar a desigualdade, Scorzafave e Soares (2009) utilizam a renda mediana, combinação de porcentagem da população mais pobre e indicadores, como Gini e Theill.

Outro ponto relevante apontado por FAJNZYLBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998), é que a desigualdade é uma variável “sensível à política”, portanto, ações públicas que se voltem para a redução da criminalidade devem estar atentas a desigualdade.

De modo geral, o consenso é que a desigualdade apresenta um peso relevante para a análise das ações criminosas, contudo é importante ter cuidado com a análise única da renda, sendo preferível realizar transformações para tratar mais do ângulo desigual.

Continuando na linha de variáveis de teor mais econômico, como renda e desigualdade, temos o desemprego. Ehrich (1968), em seu estudo participation in illegitimate activities, conclui que os resultados relacionados a taxa de desemprego relacionado a taxa de crimes, são, em suas palavras, “desapontadores”.

A utilização da variável pode servir como um indicador complementar de oportunidade de renda, que estaria disponível no mercado. Por outro lado, MADDAH, M (2013), traz uma análise empírica da relação da taxa de desemprego e taxa crimes relacionados a roubos para o irã. Os resultados encontrados são significativos e positivos.

Os resultados também são positivos para o caso brasileiro, FRANCISCO; FAJNZYLBER, (2001) estimam que para um acréscimo de 1% no desemprego teria resultado de um aumento em 3,4% nas taxas de homicídio. O estudo de Scorzafave e Soares (2009) também encontra significância para a taxa de desemprego no estado de São Paulo, com dados do censo de 2000.



Em linhas gerais, a taxa de desemprego apresenta divergência entre estudos, contudo, no caso brasileiro se mostrou significativa na análise. Em suma, as recomendações de políticas públicas acrescentam a redução na taxa de desemprego como positiva, uma vez que melhoram a estabilidade econômica e contribui para o aumento na recompensa em atividades legais.

Quanto se trata de dados com peso espacial a densidade demográfica acaba sendo uma das variáveis que apresentam grande relação com as atividades criminais, principalmente pois está relacionada com as recompensas e os riscos.

Em seu estudo “Why is There More Crime in Cities?” GLAESER; SACERDOTE, (1999), traz o conceito da urbanização e densidade demográfica como um fator importante na análise de variáveis que influenciam as ações criminosas.

É discutido principalmente o prêmio relacionado ao crime urbano, isto porque, grandes cidades podem tornar os seus moradores mais propensos ao crime, quando comparado com cidades pequenas.

Os fatores podem ser relacionados a menor chance de ser detectado, apreendido e punido, isto porque, as ações policiais são mais efetivas em cidades menores. (GLAESER; SACERDOTE, 1999)

Também é enfatizado um dos grandes problemas dos dados criminais, sendo este a subnotificação, segundo GLAESER; SACERDOTE, (1999), indivíduos em grandes cidades estão menos inclinados a denunciar atividades criminosas, quando comparado com cidades menores.

Nesse caso, o número de prisões por crime relatado pode ser o mesmo em cidades grandes e pequenas, contudo o número de prisões por crime real pode ser muito menor nas grandes cidades. (GLAESER; SACERDOTE, 1999)

A literatura analisada também concorda com a importância da densidade demográfica, MADDAH, M (2013) e FAJNZYLBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998), às utilizam em seus estudos, Scorzafave e Soares (2009) utilizam a porcentagem de população urbana em 2000, adicionando também uma variável binária para regiões metropolitanas.

Neste sentido, as referências tendem a ir de encontro, localidades mais densas demograficamente, tendem a estar relacionadas de maneira positiva com maiores taxas de crimes, incluindo financeiros e homicídios.

Até o momento foi revisado variáveis de teor mais específico e objetivo, renda, desigualdade, desemprego e densidade demográfica. Contudo, outros fatores podem afetar a decisão do indivíduo no momento da escolha em realizar uma atividade ilícita.

Com isso, é introduzido a variável de instabilidade da família, no sentido que, indivíduos em famílias mais estáveis, tenderiam a ter uma menor inclinação a realizar atividades criminosas.

Uma das maneiras de medir a instabilidade familiar, segundo GLAESER; SACERDOTE, (1999), é com a compreensão de famílias chefiadas por mulheres. Neste tópico é evidenciado outra relação, que em grandes cidades existe a tendência de maior concentração de famílias monoparentais.

O estudo “The impacto of income and Family Structure on Delinquency”, por COMANOR; PHILLIPS, (2002), considera a influência dos pais extremamente importante na economia familiar, evidenciando que o indicador da renda, por si próprio, é muito menos importante, criticando a análise da violência durante a adolescência, que observa primeiro a renda familiar.

De acordo com a análise empírica, os incentivos financeiros governamentais a famílias sem presença paterna, teria pouco efeito na delinquência adolescente. COMANOR; PHILLIPS, (2002) reforça que pais substitutos também teriam pouco efeito.

O estudo “Factors Affecting Juvenile Delinquency”, de LOBOS, J. (2018), que entrevista mais de 105 pessoas, de idades de 15 a 31 anos, concluiu que quase metade (44,8%) viviam em familiar nucleares, mais de um quarto (26,7%) pertenciam a famílias desestruturadas.

Os resultados de LOBOS, J. (2018) relacionam também que para um terço dos entrevistados (35,2%) o lar não teve influência para que se tornassem indivíduos delinquentes, por outro lado, quase um quarto (22,9%) relataram que este fator teve influência.

FRANCISCO; FAJNZYLBER, (2001) utilizam a instabilidade familiar em seu estudo, como famílias chefiadas por mulheres, e concluem que para um aumento de 1% na porcentagem de famílias instáveis teria como impacto um aumento de 4,5% na taxa de homicídio.

Por outro lado, Scorzafave e Soares (2009) utilizam para instabilidade familiar a porcentagem de mães adolescentes entre 15 e 17 anos no período de 1991 para os municípios do estado de São Paulo, obtendo resultado significativo.

O conceito de instabilidade familiar é amplo, podendo ser tratado de diversas formas, principalmente dependendo da disponibilidade dos dados para o nível territorial desejado, contudo, se considera como uma variável relevante, que para o caso brasileiro, nos estudos revisados, estão presentes e apresentam significância.

O conceito de instabilidade familiar, como visto, enfatiza um efeito mais forte em uma faixa etária mais jovem, desta forma, a variável de predisposição do jovem a atividades criminais também pode ser incluída no estudo.

Os jovens, de modo geral, estão mais predispostos a escolherem por atividades criminosas, LOBOS, J (2018) conclui que 78,1% dos respondentes em suas entrevistas para avaliar a delinquência juvenil eram entre 17 e 21 anos, enquanto 17,1% estavam entre 12 e 16 anos.

O estudo avalia que uma das principais razões para a maior predisposição dos jovens é a pressão dos pares, tendo uma maior influência para tornar o indivíduo delinquente. LOBOS, J (2018) também aponta que os correspondentes perceberam a escola como um fator que menos influencia.

A importância da faixa etária também é vista em FRANCISCO; FAJNZYLBBER, (2001), onde ele indica que para os mais jovens as taxas de homicídios ficam bem maiores do que as de faixa etária mais velhas. Também encontra que para a desorganização social o indicador teve representação significativa até 32 anos de idade.

Com isso, uma variável de predisposição para os jovens é consenso na maioria dos estudos, FRANCISCO; FAJNZYLBBER (2001) concluem, que o problema da criminalidade é mais acentuado nos jovens, principalmente os homens, contando com efeitos maiores de variáveis como renda, desemprego e chefia de família.

A linha de pensamento para a população mais jovem continua com a variável de nível educacional, como visto, este recorte de população apresenta maiores efeitos de variáveis socioeconômicas e impactos na criminalidade.

Contudo, a educação, similar a renda, apresenta uma dupla interpretação. A primeira, é mais intuitiva, um maior nível educacional em

determinada região resultaria em melhores oportunidades no futuro, aumentando a recompensa pelo trabalho legal, assim como outros fatores de conscientização e socialização.

Por outro lado, temos um segundo viés, regiões com maior nível educacional, poderiam representar locais com maior nível de recompensa para o crime, uma vez que, sua população mais especializada, tendem a aumentar o prêmio e recompensa por atividades ilegais.

Neste sentido, FAJNZYLBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998) apresentam a relação de educação e crime como um quebra cabeça, um dos fatores para justificar a inconsistência pode vir pelo atraso no esforço educativo na redução na criminalidade, ou seja, o efeito da educação não se materializa quando os jovens estão sendo educados, mas quando se tornam adultos.

Por sua vez, LOBOS J, (2018) indica que 30,5% dos entrevistados em seu estudo relataram que a escola teve menos influencia em sua delinquência, seguindo por mais de um quarto 27,6% que afirmaram não ter influência alguma.

O efeito da escolaridade é utilizado nos estudos revisados, e a justificativa se encontra principalmente na análise da população mais jovem, onde o consenso é que são uma faixa etária mais afetada pelas variáveis socioeconômicas, portando maiores níveis educacionais tendem a mitigar efeitos de menor renda, desemprego e outros.

Por fim, temos a variável relacionada ao risco para cometer a atividade ilegal, neste caso existe algumas opções, dependendo da disponibilidade de dados em determinado recorte.

O nível de investimento em segurança pública pode ser uma proxy para o risco em cometer atividade ilegais, pois em tese aumentaria as chances de ser descoberto. Pode-se considerar também a taxa de encarceramento, indicando o nível de eficiência do âmbito judiciário em identificação, apreensão e condenação.

Outros fatores relacionados ao policiamento podem ser utilizados, como índice de investimento específico nos mecanismos policiais de proposito em reduzir o crime, como investimentos em treinamento policial, equipamentos como armamentos, tecnologias, veículos.

A variável de regiões metropolitanas e densidade demográfica podem funcionar como proxy, relacionando o menor risco em ser apreendido nestes

municípios, servindo como suporte, no caso de insuficiência de dados de segurança e/ou investimento policial ao nível territorial e periodicidade do estudo.

Em linhas gerais, os estudos explicitados trazem uma variedade de variáveis assim como suas justificativas em termos de custo e benefício. As justificativas são baseadas na racionalidade do indivíduo e interpretação de impactos socioeconômicos.

Portanto, é possível identificar cinco categorias principais de variáveis, sendo estas, desigualdade, predisposição do homem jovem, escolaridade, instabilidade da família, urbanização e risco. Esta divisão servirá como base para o processo metodológico de estimação do modelo.

## **2. METODOLOGIA**

O presente trabalho teve como objetivo aplicar, sobre a econometria espacial e Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), os pressupostos apresentados na teoria de Becker (1968). Foi levado em consideração as contribuições de estudos similares, visitados na revisão da literatura, servindo como base para a construção do modelo.

A metodologia tem como objetivo discutir as análises fundamentais dos conceitos que orbitam Econometria Espacial e Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE).

Sendo assim, as referências bases foram: *Advanced Statistics in Criminology and Criminal Justice* de Weisburd et al. (2022) e *Exploring spatial data with GeoDaTM* Anselin, L. (2005).

Neste tópico, inclui definições sobre Autocorrelação Espacial, Matrizes de Vizinhança, Indicador de Moran I e os Modelos de Regressão, sendo eles, Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), Modelo Spatial Lag e Modelo Spatial Error.

### **2.1 REGRESSÃO ESPACIAL**

Os modelos de regressões tradicionais, analisam dados de séries, corte, temporais e em painéis, considerando que as observações e regiões são independentes entre elas. (LESAGE, J. P., 2008)

Diversos tipos de modelos podem ser analisados sem o componente regional, contudo, por racionalidade, podemos considerar que mesmo não sendo explicitado no modelo tradicional o conceito de espaço e região sejam importantes.

Um exemplo de LESAGE, J. P (2008) seria, com um modelo de regressão que relaciona o tempo de transporte para o trabalho de uma região  $i$  para um número de pessoas na região  $i$ , assumindo que a escolha de método e densidade do bairro na região  $j$  não teria uma influência no tempo de transporte da região  $i$ .

Logo, assumir que as linhas de transporte público, incluindo estrutura e densidade demográfica dos bairros não possuem relação entre si, e, portanto, seriam independentes é irrealista.

Neste sentido, o campo da Econometria Espacial utiliza de técnicas para incorporar o componente de dependência entre observações, incluindo as regiões do espaço que estão próximas geograficamente. (LESAGE, J. P., 2008).

Os tópicos a seguir contém os principais conceitos e interpretações, que são utilizadas no processo de construção de um modelo e análise da Regressão Espacial.

### **2.1.1 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL**

O exemplo do transporte público já mencionado, e a relação espacial que eles compartilham entre bairros, estruturas e outros é uma de muitas interações em que o componente do espaço apresenta grande peso.

Os dados de criminalidade, tendem a ter uma forte correlação espacial, regiões com maiores níveis de violência tendem a estar cercadas por outras regiões violentas, apesar de haver exceções. (WEISBURD et al., 2022)

Também temos o relacionamento com outras variáveis, como visto no estudo de Becker (1968), que a influência de desigualdade, educação, esforço policial, dentre outras, tendem a pesar na balança de risco e benefício, impactando a escolha do indivíduo em escolher ou não praticar uma atividade ilícita.

A correlação espacial se refere à força da associação entre casos e entre o espaço, explicitando o quão similar as observações são entre os vizinhos.

As dependências espaciais estão relacionadas as interações no espaço, causando agrupamentos de eventos ao longo do espaço, surgindo devido a

interação das observações que estão próximas geograficamente. (WEISBURD et al., 2022).

Neste caso, poderíamos ter como exemplo, regiões extremamente violentas, que espalham para as próximas maiores níveis de violência. A intensidade da violência em uma região afeta a intensidade da violência nas localidades próximas. Neste sentido, a correlação espacial traz à força entre variáveis no espaço.

Por outro lado, heterogeneidade espacial está relacionada a estrutura do espaço, causando uma distribuição irregular de evento. (WEISBURD et al., 2022).

Um exemplo seria o nível de violência aumentar durante grandes eventos, como nas Olimpíadas do Rio de Janeiro.

Estes pontos são importantes de ter em mente, uma vez que afetam a escolha de modelagem para a regressão, dependendo da estrutura dos dados e o objetivo da pesquisa.

Em suma, a Autocorrelação Espacial é uma das primeiras análises feitas no modelo, uma vez que a intenção do estudo, com o componente espacial, é detectar o grau de correlação entre as variáveis considerando o componente de vizinhança, permitindo a continuação nas especificações dos modelos.

### **2.1.2 MATRIZ DE VIZINHANÇA**

A Matriz de Vizinhança, é necessária para detectar e corrigir Correlação Espacial. Ela é um modo numérico de representar relações de vizinhança entre pontos, sendo estes, pares de coordenadas  $x$  e  $y$ , representando latitude e longitude ou polígonos, representando a combinação de três ou mais pontos de latitude e longitude. (WEISBURD et al., 2022).

Os principais métodos de identificação de vizinhança estão pautados em contiguidade, distância ou número de vizinhos. Cada método se ajusta de maneira diferente aos dados observados. Analisaremos com mais detalhe cada um dos princípios.

A matriz de contiguidade espacial com pesos se preocupa com o conceito dos adjacentes. Utilizado comumente para polígonos, a contiguidade verifica se um polígono está tocando no outro, assim como o modo em que ele está tocando. (WEISBURD et al., 2022).

Os dois principais métodos de contiguidade são os da rainha e torre. Exemplificado pelo xadrez, temos que no método de contiguidade da rainha todos os polígonos adjacentes, incluindo os que se encontram nos vértices são considerados vizinhos.

Pelo método de contiguidade da torre, temos os polígonos dos vértices excluídos como vizinhos, mantendo apenas os que se encontram nas bordas, similares aos movimentos das peças em um jogo de xadrez.

O quadro abaixo traz a exemplificação de ambas as contiguidades.

Quadro 1 – Matrizes de Vizinhança

Queen Contiguity			Rook Contiguity		
	Selected Case				
	Neighbor Cell				
	Excluded Cell				

Fonte: Fabricação própria com base em Weisburd et al. (2022), *Advanced Statistics in Criminology and Criminal Justice*. 5. ed. Switzerland: Springer, 2022. p. 504, fig. (12.2)

Ambos os métodos permitem adaptação no nível de células ou polígonos, que estão sendo considerados como vizinhos, neste caso do Quadro 1, temos ordem um de contiguidade, poderíamos aumentar para ordem dois, adicionando à matriz, vizinhos apenas de segunda ordem.

É importante mencionar que os vizinhos de primeira ordem não serão considerados na matriz de segunda ordem automaticamente, a não ser que seja especificado. O quadro 2 traz o exemplo do funcionamento de ordens na matriz de vizinhança.





O método mais simples de quantificar a relação entre vizinhança é utilizando pesos binários, quando um par  $(i, j)$  de unidades espaciais, podendo ser polígonos, são consideradas como vizinhos, temos  $w_{ij} = 1$ , se não  $w_{ij} = 0$ . Isto se aproxima da matriz de correlação, onde a diagonal reflete uma unidade espacial com si mesmo.

De modo geral, temos duas opções, a matriz com pesos binários e a com pesos padronizados em linha.

Na primeira, é considerado como sendo vizinho  $w_{ij} = 1$  ou não sendo vizinho  $w_{ij} = 0$ , a soma da linha da matriz pode ter valores diversos, dependendo do número de vizinhos. O Quadro 3 traz a exemplificação da matriz com pesos binários.

Quadro 3 - Matriz de Vizinhança com Pesos Binários

		Região				Sum
		1	2	3	4	
Região	1	0	1	1	0	2
	2	1	0	1	0	2
	3	1	1	0	1	3
	4	0	0	1	0	1

Fonte: Fabricação própria com base em Weisburd et al. (2022), *Advanced Statistics in Criminology and Criminal Justice*. 5. ed. Switzerland: Springer, 2022. p. 506, fig. (12.4)

Neste caso, é assinando para vizinhos o valor 1 e para não vizinhos o valor 0. Neste exemplo a região 4 é vizinha apenas da região 3, enquanto a região 3 é vizinha da 4, 2 e 1. Pode-se observar que a soma das linhas na matriz de contiguidade com pesos binários varia, dependendo da quantidade de regiões e respectivas vizinhanças.

Neste caso, a matriz com a padronização das linhas atribui proporcionalmente pesos para determinadas vizinhanças, reduzindo a soma de todas as linhas a 1.

Quadro 4 - Matriz de Vizinhaça com Pesos Padronizados

		Região				
Região		1	2	3	4	Sum
	1	0	.50	.50	0	1
	2	.50	0	.50	0	1
	3	.33	.33	0	.33	1
	4	0	0	1	0	1

Fonte: Fabricação própria com base em Weisburd et al. (2022), *Advanced Statistics in Criminology and Criminal Justice*. 5. ed. Switzerland: Springer, 2022. p. 506, fig. (12.4)

Apesar da padronização, os pesos assinados a cada vizinhaça são os mesmos, sendo a divisão do total pelo número de vizinhos, portanto, proporcional.

Para atribuir peso maior nas vizinhanças mais próximas e decair com o nível de distância a utilização da matriz de vizinhaça com pesos inversa é necessária.

De modo geral, a escolha de matriz de vizinhaça é parte fundamental do processo de construção da análise, pois consiste no modo que o espaço e os vizinhos são tratados e como eles vão se relacionar com as variáveis escolhidas, impactando o resultado obtido e as interpretações.

#### 2.1.4 ÍNDICE DE MORAN

A matriz de vizinhaça com pesos é utilizada para calcular o indicador de Autocorrelação Espacial, Moran I. Sendo o coeficiente que quantifica a força da Correlação Espacial, estando entre -1 e 1. Desta forma, 1 explicitaria existência de forte Autocorrelação Espacial positiva, e -1 negativa. (WEISBURD et al., 2022).

A definição do indicador de Moran I, segundo Weisburd et al. (2022) é dado pela equação abaixo.

$$I = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{w \sum (x - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Onde:

$x$ : Número de unidades espaciais;

$x_i$ : Valor de um intervalo de uma variável em uma localidade  $i$ ;

$x_j$ : Valor de outra variável em uma outra localidade  $j$ ;

$\hat{x}$ : A média da variável;

$w$ : É a soma de todos os pesos espaciais  $w_{ij}$

Desta forma, caso não exista nenhuma Autocorrelação Espacial, o Moran I pode ser descrito de acordo com a fórmula abaixo.

$$E(I) = \frac{1}{n - 1} \quad (10)$$

O indicador de Moran I é interpretado de maneira similar ao coeficiente de correlação. Caso computemos o indicador para taxa de homicídio, o indicador irá retornar um valor que indica o quão similar ou não similar em média a taxa de homicídio é comparado com os vizinhos próximos, pautado pela matriz de vizinhança escolhida.

Um exemplo de Weisburd et al. (2022) está relacionado com o teste global de Moran I para chamadas reportando crimes contra propriedade recebidas pela polícia, sendo um único valor que sumaria a Autocorrelação Espacial.

Considerando os registros pelo CEP, o resultado mostra uma Autocorrelação Espacial positiva, uma vez que taxas de crime contra propriedade são similares aos CEPs vizinhos.

Usualmente, juntamente ao teste de Moran I, é a utilização do Indicador de Associação Espacial Local (LISA) para visualização espacial. Ele ilustra em um nível mais detalhado e micro como a Correlação Espacial varia entre regiões.

A relação é padronizada para quatro tipos, com o objetivo de identificar agrupamentos baseado nas Autocorrelação Espacial. O Quadro 5 resumi as categorias.

Quadro 5 - Categorias do Indicador de Associação Espacial Local

Alta-Alta	Indicador de similaridade, mostrando que áreas vizinhas tem altos valores. (i.e regiões que possuem altos níveis de violência, e por consequência seus vizinhos também possuem altos níveis de violência.)
Baixa-Baixa	Indicador de similaridade, mostrando que áreas vizinhas tem baixos valores. (i.e regiões que possuem baixos níveis de violência, e por consequência seus vizinhos também possuem baixos níveis de violência.)

Alta-Baixa	Indicador de não similaridade, mostrando que áreas vizinhas tem baixos valores comparados com a área central. (i.e regiões extremamente ricas cercadas de áreas extremamente pobres.)
Baixa-Alta	Indicador de não similaridade, mostrando que áreas vizinhas tem altos valores comparados com a área central.

Fonte: Elaboração própria, 2023

### 2.1.5 MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS ORDINÁRIOS (MQO)

O entendimento dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é importante para os outros modelos que serão vistos a frente, apesar de não representar um bom ajuste para dados com relação espacial ele é o início da análise e estruturação da relação que é objetivo de estudo.

O MQO representa uma relação linear entre uma ou diversas variáveis independentes com uma variável dependente. Weisburd et al. (2022) traz a simplificação do modelo na formulação abaixo.

$$y = x\beta + u \quad (11)$$

Sendo  $y$  a variável dependente e  $x$  a independente,  $\beta$  é coeficiente de regressão, sendo a magnitude da relação estudada, por fim temos  $u$ , que representa o erro aleatório do modelo.

O MQO traça a melhor regressão ajustada, minimizando a Soma dos Erros Quadrados. Considerando que a diferença entre os valores da predição do modelo e as observações reais variam de forma positiva e negativa, gerando assim os erros  $u$ , temos primeiro a necessidade da transformação dos Erros Quadrados e depois a busca pelo menor erro possível no somatório.

Desta forma, o MQO utiliza como base de estimativa para os coeficientes os erros quadrados, contudo, a regressão assume que estes resíduos possuem variância constante (Homoscedasticidade). No caso de dados com Autocorrelação Espacial, os erros, podem não ser estocásticos (aleatórios), existindo assim, padrões de associação entre regiões próximas.

Um exemplo seria tentar quantificar países que realizam esforços para combater corrupção dentro de suas legislações, realizando ativamente práticas de investigação, punição e outros, para reduzir práticas corruptas dentro do governo.

Ao realizar um modelo de regressão com MQO para prever este resultado em um mapa, com os erros de cada país, teríamos que a predição seria melhor em países com democracias mais fortes e legislações estáveis, pois estes seguem uma regulação mais estrita neste específico caso.

O fator de proximidade geográfica também seria um significativo, uma vez que países da união europeia teriam legislações similares, dado a características históricas de desenvolvimento.

O fator principal, é que a heterocedasticidade viola o princípio da regressão pelo MQO, estando presente nos erros das relações espaciais e levantando a hipótese de que o componente espacial deve ser tratado de maneira especial.

Com isso, temos que a regressão pelo MQO, com dados que possuam relação espacial não é recomendado, uma vez que as estimativas podem conter viés devido a violação do princípio da homoscedasticidade dos erros.

Sendo assim, apesar de ser um bom início de exploração das relações entre variáveis, outras opções são aconselhadas, sendo as principais, Spatial Lag (SAR) e Spatial Error (SEM).

#### 2.1.6 MODELO SPATIAL LAG (SAR)

Segundo Weisburd et al. (2022) o modelo de Spatial Lag (SAR) é utilizado para regressão quando a variável dependente é influenciada pelos seus vizinhos, sendo um dos modos mais comum para investigar dependência espacial. O modelo lida com a dependência espacial incorporando a defasagem da variável dependente.

$$y = \rho W y + x\beta + u \quad (12)$$

O modelo é similar ao MQO, contudo adiciona a defasagem da variável espacial dependente. Temos para  $y$  um valor  $n$  por um vetor de observações na variável dependente ao longo do espaço.

Adicionado ao modelo de MQO, os valores dos vizinhos  $y$  que possuem o peso da matriz espacial  $W$ , multiplicado por  $\rho$  ( $\rho$  *rho*), sendo o coeficiente autorregressivo para a variável dependente. (WEISBURD et al., 2022).

Rho indica a força da autocorrelação espacial presente na variável dependente.

Temos como teste de Hipótese:

*H0: Não autocorrelação espacial*

*HA: Autocorrelação espacial*

Sendo que,  $x$  é uma  $n$  por  $k$  da matriz de variáveis independentes,  $\beta$  é um  $k$  por um vetor de respectiva regressão de coeficiente, e  $u$  é uma  $n$  por um vetor de variáveis independentes e resíduos normalmente distribuídos. (WEISBURD et al., 2022).

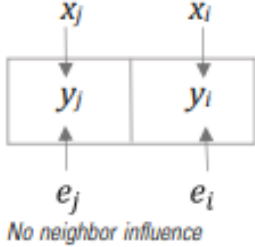
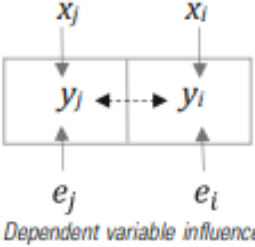
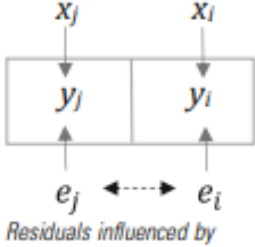
Neste caso, a estimativa de  $y$  depende de  $x\beta$  e  $\rho W$ , sendo assim, a interpretação de  $x\beta$  não é a mesma que no MQO, pois consideramos o efeito espacial para a variável  $y$  na matriz de vizinhança.

De acordo com Weisburd et al. (2022), no modelo MQO o efeito da variável independente na variável dependente é constante ao longo das observações. Isso não acontece quando temos incorporado o efeito espacial no modelo, pois ele varia os resultados para diferentes vizinhanças em cada observação do banco de dados.

Portanto, quando queremos descobrir um processo de interação espacial e os efeitos nos vizinhos na variável dependente podemos utilizar o modelo de Spatial Lag (SAR).

A Figura 1 traz uma sintetização da relação entre as variáveis e o que o modelo de Spatial Lag (SAR) consegue analisar, comparando com o já discutido MQO e o Spatial Error (SEM), que será analisado em seguida.

Figura 1 - Comparação de Modelos de Regressão Espacial

	OLS	SPATIAL LAG	SPATIAL ERROR
Estimation process	Least squares of errors	Maximum likelihood	Maximum likelihood
Location of spatial lag	N/A	Dependent variable as separate coefficient	Within error term
Equation	$y = x\beta + e$	$y = \rho WY + x\beta + e$	$y = x\beta + e$ , where $e = \lambda W\epsilon + \xi$
Adjusts for	None	Spatial dependence	Spatial heterogeneity
Neighbor influence	 <p>No neighbor influence</p>	 <p>Dependent variable influenced by neighbors</p>	 <p>Residuals influenced by neighbors</p>

Fonte: (WEISBURD et al.). Advanced Statistics in Criminology and Criminal Justice. 5. ed. Switzerland: Springer, 2022. p. 552, tab. (12.3)

Podemos observar que diferente do modelo MQO, utiliza-se no Spatial Lag (SAR) a seleção de parâmetros com maior verossimilhança, deixando de lado os Mínimos Quadrados Ordinários, isto traz um  $\beta$ ,  $\rho$  e  $\lambda$  mais ajustado para dados com relação espacial.

Para a influência dos vizinhos, como dito anteriormente, no modelo Spatial Lag (SAR), os valores de  $y$  em uma unidade  $i$  está diretamente relacionado aos valores de  $y$  encontrados em vizinhos  $j$ . (WEISBURD et al. 2022).

### 2.1.7 MODELO SPATIAL ERROR (SEM)

O modelo Spatial Error (SEM) é utilizado na regressão quando acreditamos que a autocorrelação espacial observada tem relação com o processo espacial cuja intensidade varia ao longo do espaço (Heterogeneidade espacial).

Este modelo lida com heterogeneidade espacial estimando o coeficiente espacial dentro do erro da regressão. O modelo inclui um termo de erro para os vizinhos, definido pela matriz de vizinhança com pesos  $W$ , juntamente com o termo de erro usual. (WEISBURD et al., 2022).

$$y = x\beta + u \quad (13)$$

Onde:



$$u = \lambda Wu + \xi \quad (14)$$

Temos que  $u$  é um compilado de  $\lambda$ , um coeficiente espacial autorregressivo para os resíduos,  $Wu$ , sendo os resíduos das localizações dos vizinhos que estão na matriz espacial de vizinhança com pesos, e,  $\xi$ , um vetor independente e com erros distribuídos de forma idêntica, chamados de ruídos brancos. (WEISBURD et al., 2022).

A diferença do modelo de Spatial Error (SEM), reside no fato que o coeficiente que indica o efeito dos vizinhos da variável dependente não é estimado separadamente igual no modelo Spatial Lag (SAR), isto porque, ele incorpora dentro do termo de erro. (WEISBURD et al., 2022)

Com dois modelos de regressão espacial explicitados, evidenciando suas diferenças, a dúvida posta é qual seria a melhor escolha para os dados analisados.

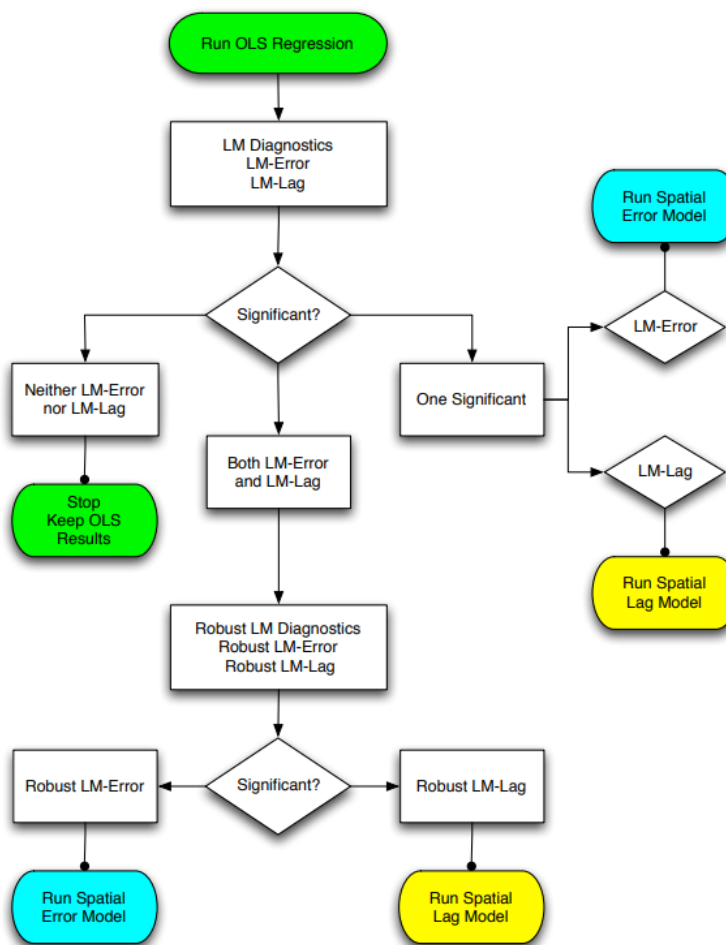
Neste sentido, o próximo tópico mostra a metodologia de seleção de modelo de regressão espacial baseado em Anselin. L (2005).

#### **2.1.8 ESCOLHA DO MODELO DE REGRESSÃO ESPACIAL**

O processo de seleção de modelo mais apropriado para os dados e a relação estudada é importante, pois não existe certeza se os erros observados na autocorrelação espacial provem da dependência espacial ou da heterogeneidade espacial.

Neste sentido Anselin. L (2005) especifica um processo de decisão que seleciona o modelo de regressão mais apropriado para a relação estudada. A Figura 2 traz os passos realizados para a escolha final do modelo.

Figura 2 - Processo de Escolha Modelo de Regressão Espacial



Fonte: (ANSELIN, 2005). Exploring Spatial Data with GeoDa™: A Workbook. Illinois: Center For Spatially Integrated Social Science, 2005. p. 199, fig. (23.25)

O processo inicia com a construção de um modelo MQO (OSL), com objetivo de estudar a relação entre as variáveis e evidenciar a existência ou não de autocorrelação espacial nos resíduos.

Além disso, o modelo MQO traz o primeiro diagnóstico de relação entre as variáveis, podendo explicitar outliers e multicolineariedade extrema.

Anselin. L (2005) utiliza dois testes de multiplicador de Lagrange para acessar a dependência espacial, contudo é comum acessar os resíduos do modelo MQO e realizar o teste de Moran I.

Para realizar a identificação de autocorrelação espacial é necessário a criação de uma matriz de vizinhança. A escolha de qual tipo de matriz parte da natureza da relação estudada.

Com ambos os testes de multiplicador de Lagrange, podemos identificar a autocorrelação espacial do modelo e de maneira mais específica, tendo qual deles será um melhor ajuste, Spatial Lag (SAR) ou Spatial Error (SEM).

Onde Spatial Lag (SAR) testa por uma variável dependente espacialmente defasada, que estaria ausente e Spatial Error (SEM) testa a autocorrelação dos resíduos espaciais. (WEISBURD et al., 2022)

Adicionalmente, para ambos os testes, existe a versão robusta, que no caso de suficiência estatística para ambos os testes não robustos, serve como o último divisor na decisão de escolha do modelo.

Em síntese, o processo inicia com a criação do modelo MQO e análise da relação estudada, seguida pela identificação de autocorrelação espacial, provinda dos testes de Moran I e Lagrange, com versão robusta. Nesta etapa, dado a significância dos testes, a escolha é definida entre Spatial Lag (SAR) e Spatial Error (SEM), como mostra a Figura 2.

### **3. RESULTADOS**

Este capítulo consiste nos resultados do processo de construção e estimação modelo MQO, pautado em Becker (1968) e com escolhas de variáveis que seguem a revisão da literatura.

Além disso, é ordenado o processo de análise de autocorrelação espacial e escolha do modelo de regressão espacial, sistematizado por Anselin. L (2005).

Desta forma, os resultados obtidos no modelo de regressão espacial são interpretados e relacionados com o MQO, levando em consideração as razões socioeconômicas e a relevância do componente espacial para as variáveis analisadas.

Por fim, é feita uma comparação dos resultados obtidos com a literatura, explicitando as principais semelhanças e diferenças dos resultados obtidos e as possíveis justificativas para tal.

#### **3.1 MODELO MQO**

Todo o processo realizado na construção metodológica e manipulação de dados foi feito no Software de Estatística e Programação R.

A variável dependente utilizada no modelo neste estudo foi a taxa de homicídio por cem mil habitantes para todos os municípios do sudeste brasileiro, extraída do Atlas da Violência do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Esta taxa passou pelo processo bayesiano de suavização empírica, isto está ancorado na ideia de que taxas observadas podem ter problemas, principalmente quando existe diferentes tamanhos de amostra que variam por área.

Neste caso, o estudo das taxas de homicídio por municípios pode trazer um desajuste quando o município em questão tem uma população menor, quando comparado com outros municípios.

*“plotting observed rates can have serious drawbacks when sample sizes vary by area, since very high (and low) observed rates are found disproportionately in poorly-sampled areas” (GELMA; PRICE 1999, 3221-34).*

A criação da taxa foi feita no software de programação e estatística R, por meio do pacote criado por epidemiologistas, *DCluster*. A função utilizada foi *empbaysmooth()*, que cria um risco relativo suavizado de certos valores esperados e números observados de casos.

Com os resultados, é possível utilizar os parâmetros obtidos para criar o risco relativo bruto que por sua vez é utilizado para criar o risco relativo suavizado.

Por fim, é elaborada uma taxa local para o estimador suavizado, o objetivo é não apenas reduzir o risco global criado para cada município, algo que poderia mascarar heterogeneidades não observadas.

Para computar este estimador de suavização local é utilizado a matriz de vizinhança, neste caso a de contiguidade com pesos de ordem um. Desta forma, o risco bruto é reduzido, levando em consideração a taxa da vizinhança.

As figuras 1 e 2 trazem a comparação da taxa de homicídio por 100 mil habitantes e a taxa suavizada.

Figura 3 - Taxa de Homicídio por Cem Mil Habitantes no Sudeste Brasileiro em 2010

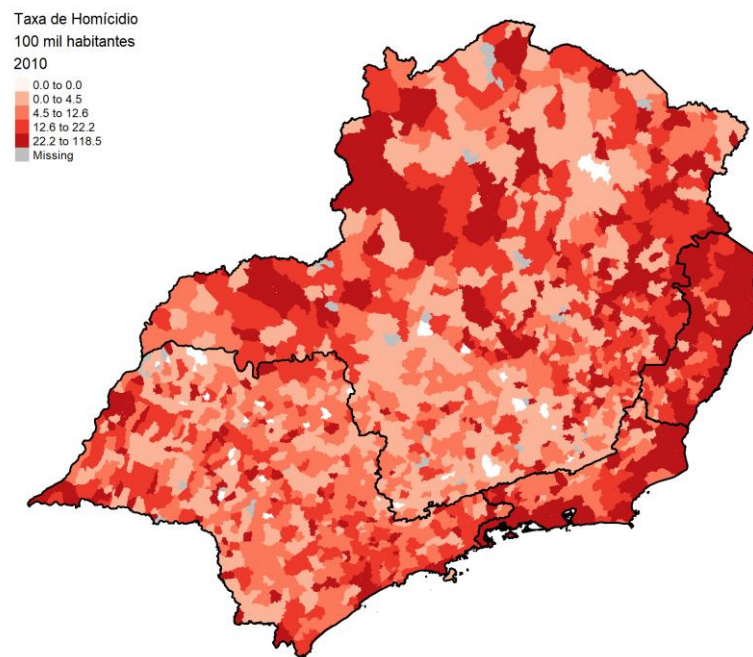
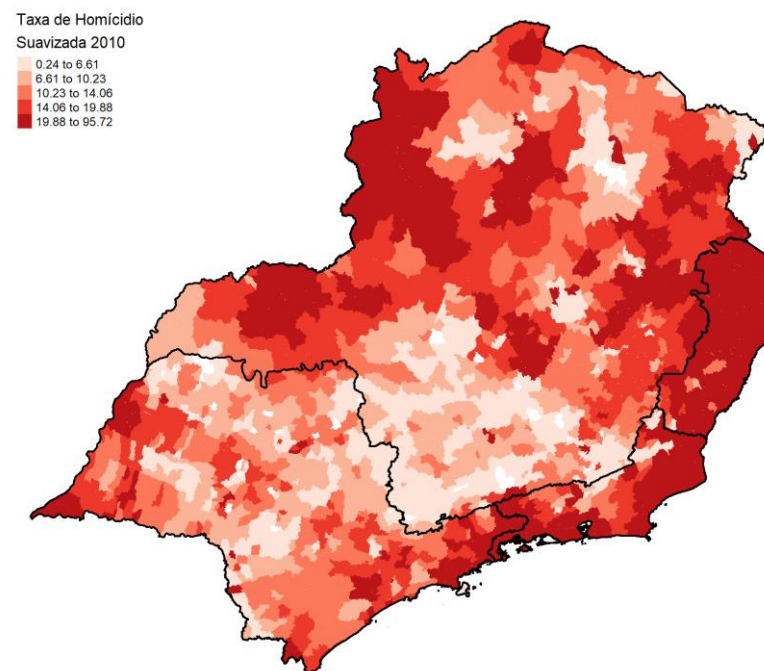


Figura 4 - Taxa de Homicídio por Cem Mil Habitantes Suavizada no Sudeste Brasileiro em 2010



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas da Violência e IBGE, 2023

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas da Violência e IBGE, 2023

Em relação as variáveis dependentes, uma divisão de categorias foi feita previamente, considerando o referencial teórico de Becker (1968) e a revisão da literatura, podendo ser visualizado na tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis Independentes Regressão Stepwise

Categoria	Variáveis
Desigualdade	Indicador de Gini
	Indicador de Theill
	% de População Extremamente Pobre
	% de População Pobre
	% da Desocupação de 18 Anos ou mais
	Índice de Desenvolvimento Humano (IDHM)
	Índice de Desenvolvimento Humano da Renda (IDHM Renda)
Predisposição do Homem Jovem	% População Homem de 15 a 29 Anos
Escolaridade	% de Crianças de 6 a 14 Anos Fora da Escola
Instabilidade da Família	% de Mulheres de 15 a 17 Anos com ao menos um filho
Urbanização	% População Urbana
	População Total dividido por Mil
Risco	Binária para Região Metropolitana

Fonte: Elaboração própria, 2023

Todas as variáveis são de 2010 a nível municipal, assim como a taxa de homicídio suavizada. Tal preferência segue a perspectiva de Ingram e Costa (2016), que justificam a escolha pela proximidade com a variável dependente de homicídio, além da disponibilidade em nível municipal.

Os dados socioeconômicos utilizados nas variáveis independentes foram retirados do Atlas Brasil e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Portanto, a construção dos modelos deste estudo foi pautada em dados de corte.

Para escolha do melhor ajuste, um modelo de regressão *stepwise* foi feito, similar a Silva et al. (2020). Em linhas gerais, a regressão *stepwise* é uma técnica que inicia com um modelo completo e em cada passo, elimina gradualmente variáveis independentes do modelo de regressão.

Desta forma, considerando um agrupamento de variáveis independentes gerais, pautadas na revisão de literatura e teoria de Becker (1968), o processo de seleção *stepwise* recomenda um ajuste com melhor ajuste considerando os dados em questão.

O modelo final pode ser visto no Quadro 5. O resultado provindo da regressão *stepwise* considerava IDHM e IDHM Renda, contudo, estas foram removidas devido ao problema de multicolineariedade.

Quadro 6 - Variáveis Independentes Finais e Expectativa de Impacto

Variáveis	Expectativa de Impacto	Fonte
In(% População Homem de 15 a 29 Anos)	+	ATLAS BRASIL
In(% de Mulheres de 15 a 17 Anos com ao menos um filho)		
log(% de População Extremamente Pobre)		
In(Indicador de Gini Normalizado)		
In(% Desocupação de 18 Anos ou mais)		
In(% População Urbana)		
In(% de Crianças de 6 a 14 Anos Fora da Escola)		
Binária para Região Metropolitana		

Fonte: Elaboração própria, 2023

A utilização do log para porcentagem da população extremamente pobre foi pautada em Ye, X., & Wu, L. (2011, April 1). Já a seleção da log da taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada foi feita na realização de testes na regressão *stepwise*. A versão em log promoveu um resultado mais robusto do que a taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada.

A normalização do indicador de Gini foi feita com intuito de trazer para uma escala de maior comparabilidade, além de ser um ponto considerável para a escolha de modelo pelo processo *stepwise*, que permite maior número de variáveis para escolha de um melhor ajuste.

Por fim, temos a expectativa dos resultados, levando em consideração qual seria o impacto das variáveis independentes na taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada. Neste caso, o impacto esperado é positivo para todas. O resultado do modelo MQO pode ser visto na tabela 6.

Tabela 2 - Resultado Modelo MQO

	Dependent Variable:	
	log(Taxa Homicídio Suavizada)	
	(MQO)	(VIF)
Intercept	1.868*** (0.165)	
% Pop. Homem 15 a 29	1.882* (1.092)	1.06
% Pop. Mulher 15 a 17 Ao Menos um Filho	1.447*** (0.476)	1.04
log(% Pop Extremamente Pobre)	0.101*** (0.023)	2.59
Índice de Gini Normalizado	0.060*** (0.019 )	1.18
% Desocupação 18 Anos ou Mais	3.537*** (0.802)	1.58
% Pop. Urbana	0.288*** (0.134)	2.21
% Crianças de 6 a 14 Anos Fora da Escola	4.835*** (1.168)	1.08
Binaria Região Metropolitana	0.323*** (0.045)	1.15
Observations		1,631
R2		0.134
Adjusted R2		0.130
Residual Std. Error		0.695 (df = 1622)
F Statistic		31.349*** (df = 8;1622)
Akaike Inf. Crit.		3454.9
Log Likelihood		-1717.44 (df=10)
Note:		*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01
Erro Padrão em parênteses		

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

De modo geral, é contemplado todas as categorias evidenciadas, com a inclusão de ao menos uma variável para cada, além de que os impactos seguem o esperado.

O modelo apresenta significância estatística para todas as variáveis, assim como um  $R^2$  ajustado de 0.130, portanto, as variáveis independentes



explicam em média, 13% da variação da taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada.

Em relação a multicolineariedade a exclusão das variáveis de IHDM e IDHM Renda foram positivas, pois resultaram em um modelo com todas as variáveis restantes com  $VIF < 2.60$ .

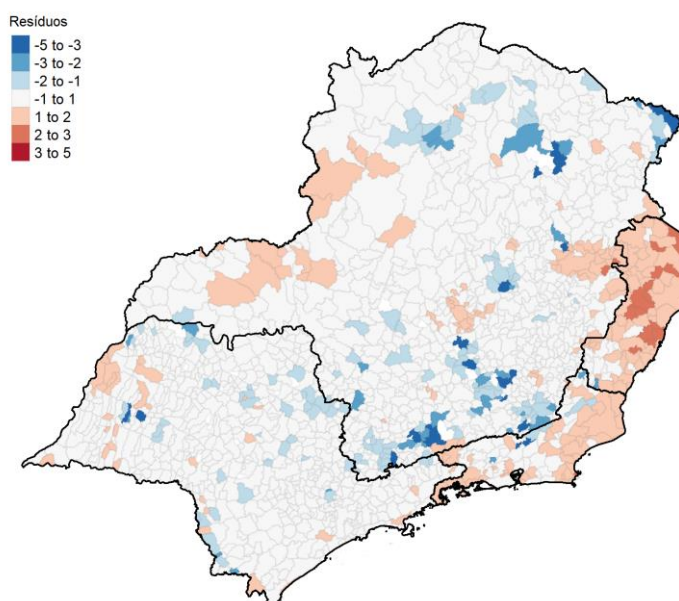
Após a análise inicial da relação estudada, assim como a confirmação de relação e significância das variáveis, é dado início a investigação sobre autocorrelação espacial do modelo, com o teste de Moran I e a visualização dos cluster com o mapa de LISA.

### 3.2 AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL – MORAN I E LISA

Primeiramente, como início na análise da autocorrelação espacial um mapa dos resíduos do modelo linear foi feito. A ideia é olhar de modo geral o padrão da distribuição espacial dos resíduos.

Como método de visualização é utilizado o desvio padrão dos resíduos, ele indica quanto que os dados diferem da média, neste caso, cada desvio padrão se torna uma categoria no mapa *coropléticos* que pode ser visualizado Figura 5. (SOLYMOSI et al., 2022)

Figura 5 - Mapa dos Resíduos



Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

O resultado mostra que certas áreas em vermelho estão superestimando e outras áreas em azul estão subestimando. Além disso, é possível visualizar clusters, principalmente no estado do Rio de Janeiro e Espírito Santo, indicando que possivelmente existe autocorrelação espacial.

Um dos possíveis passos para atestar a autocorrelação espacial é o teste de Moran I, nele, são fornecidos o modelo linear e a matriz de vizinhança, neste caso a de contiguidade da rainha com ordem um. O resultado pode ser visualizado na Tabela 7.

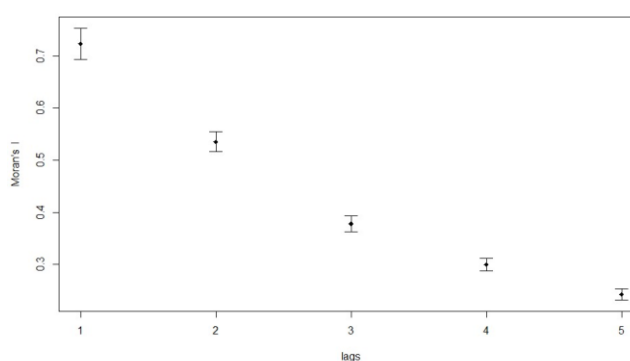
Tabela 3 - Resultado Global Moran I

Global Moran I for regression residuals	
Observed Moran I	0.538***
Expectation	-0.002
Variance	0.0002
Moran I Statistic SD	35.597
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023	

O teste apresenta significância estatística e o Observed Moran I indica uma autocorrelação moderada e positiva. Portanto, podemos concluir que para este modelo, os resíduos estão relacionados sistematicamente.

O correlograma do índice de Moran I evidência a autocorrelação espacial, impactada pelo aumento na ordem dos vizinhos. Portanto, quanto maior o *lag*, ou o número da ordem de vizinhança, menor é a semelhança. A figura 6 mostra esta relação.

Figura 6 - Correlograma de Moran I



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

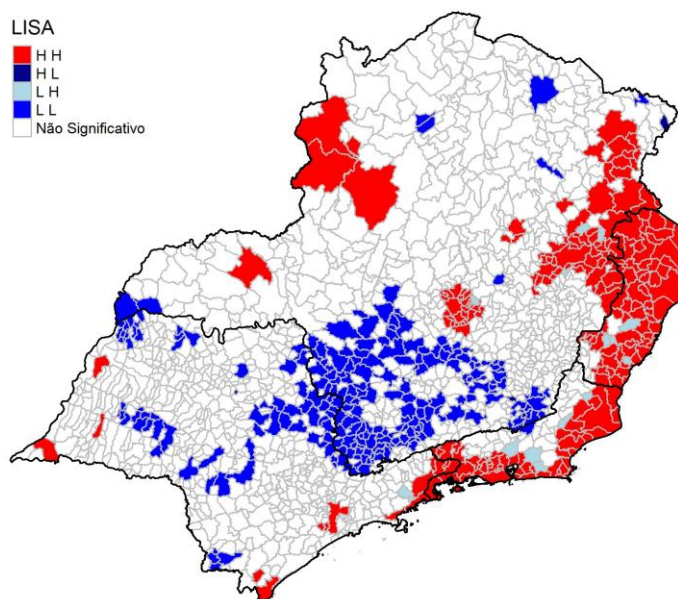
Em outras palavras, ao considerar um município, o seu vizinho de ordem cinco, teria uma semelhança menor do que seu vizinho de ordem um.

Como fim de análise de autocorrelação espacial, cabe a construção do Indicador Local de Associação Espacial. Ele especifica de modo micro, permitindo encontrar clusters de autocorrelação. Como já explicitado, as categorias são Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto.

De modo geral, é possível identificar áreas onde a taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada apresenta altos níveis e são acompanhadas pelos seus municípios vizinhos. A mesma lógica interpretativa segue para as outras categorias.

A representação Figura 7 traz as categorias e especifica os clusters em regiões onde o teste de local de Moran obteve significância estatística com p-value < 0.1.

Figura 7 - Indicador Local de Associação Espacial (LISA)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

De modo geral, é possível identificar que as regiões do Rio de Janeiro e Espírito Santo apresentam clusters Alto-Alto, enquanto partes de São Paulo e Minas Gerais apresentam clusters Baixo-Baixo, com exceção da capital São Paulo.

Com a análise de autocorrelação espacial, foi possível atestar que apenas um modelo linear não suporta a relação das variáveis, pois o componente

espacial é relevante, logo, os modelos de regressão espacial poderiam gerar um melhor ajuste. (SOLYMOSI et al., 2022)

### 3.3 SELEÇÃO DO MODELO DE REGRESSÃO ESPACIAL

Após atestar a autocorrelação espacial do modelo linear e a construção do teste de Moran I, com a matriz de vizinhança de contiguidade da rainha de ordem um, e a visualização dos clusters, é necessário concluir qual o melhor modelo de regressão espacial que se ajuste aos dados em questão.

O método de escolha é pautado em Anselin. L (2005), onde se utiliza do teste de multiplicador de Lagrange para atestar a significância do modelo para os testes de Spatial Lag (SAR) e Spatial Error (SEM) e devido os critérios de exclusão, escolher o melhor ajuste. O resultado do teste pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado Multiplicador de Lagrange

Lagrange Multiplier Diagnostics for Spatial Dependence	
LMerr	< 0.01
LMIag	< 0.01
RLMerr	< 0.99
RLMIag	< 0.01

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

O resultado mostra que para os testes não robustos Lmlag e Lmerr há significância em <1%. Sendo assim, seguindo o processo de seleção os testes robustos para Lmlag e Lmerr são necessários.

O fim do processo de decisão de modelo de regressão espacial reside na escolha do Spatial Lag (SAR), o teste robusto RLMIag é estatisticamente significativo em <1% enquanto o RLMerr não mostra significância.

Anselin. L (2005) resume o processo e as devidas escolhas pautadas no multiplicador de Lagrange.

*“When both LM test statistics reject the null hypothesis, proceed to the bottom part of the graph, and consider the Robust forms of the test statistics. Typically, only one of them will be significant, or one will be orders of magnitude more significant than the other (e.g.,  $p < 0.00000$  compared to  $p < 0.03$ ). In that case the decision is simple: estimate the spatial regression model matching the (most) significant” robust “statistic. In the rare instance that both would be highly significant, go with the model*

*with the largest value for the test statistic. However, in this situation, some caution is needed since there may be other sources of misspecification. One obvious action to take is to consider the results for different spatial weight and/or change the basic (i.e., not the spatial part) specification of the model. there are also rare instances where neither of the Robust LM test statistics are significant. In those cases, more serious specification problems are likely present and those should be addressed first.” (ANSELIN, 2005, p. 198-200)*

Por fim, podemos seguir estimando e interpretando o modelo Spatial Lag (SAR) para os dados em questão, verificando se a matriz de vizinhança escolhida provê um bom ajuste.

### **3.4 MODELO SPATIAL LAG (SAR)**

A escolha do modelo Spatial Lag (SAR) vem após a realização de todas as etapas previstas na metodologia, incluindo a primeira análise com o modelo MQO, atestar a autocorrelação espacial com Moran I e posteriormente escolher, com base nos testes do multiplicador de Lagrange, incluindo os robustos, o modelo Spatial LAG (SAR) ou Spatial Error (SEM).

O resultado pode ser visto na Tabela 5, ela acompanha os resultados do MQO como parâmetro de comparação.

Tabela 5 - Comparação dos Resultados do MQO e SAR

	Dependent Variable:	
	log(Taxa Homicídio Suavizada)	
	(MQO)	(SAR)
Constant	1.868*** (0.165)	0.128 (0.113)
% Pop. Homem 15 a 29	1.882* (1.092)	0.846 (0.712)
% Pop. Mulher 15 a 17 Ao Menos um Filho	1.447*** (0.476)	0.601* (0.310)
log(% Pop Extremamente Pobre)	0.101*** (0.023)	0.017 (0.015)
Índice de Gini Normalizado	0.060*** (0.019)	0.004 (0.012)
% Desocupação 18 Anos ou Mais	3.537*** (0.802)	0.931* (0.523)
% População Urbana	0.288*** (0.134)	0.130 (0.088)
% Crianças de 6 a 14 Anos Fora da Escola	4.835*** (1.168)	3.281*** (0.761)
Binaria Região Metropolitana	0.323*** (0.045)	0.079*** (0.030)
Observations	1,631	1,631
R2	0.134	
Adjusted R2	0.130	
Residual Std. Error	0.695 (df = 1622)	
F Statistic	31.349*** (df = 8;1622)	
Akaike Inf. Crit.	3454.9	2,336.787
Nagelkerke Pseudo-R-Squared		0.564
Rho		0.801***
Log Likelihood	-1,717.44 (df=10)	-1,157.394
Sigma2		0.205
Wald Test		2,311.347*** (df = 1)
LR Test		1,120.093*** (df = 1)
Note:	* $p < 0.1$ ; ** $p < 0.05$ ; *** $p < 0.01$	
Erro Padrão em parênteses		

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

O modelo proposto (SAR), lida com a dependência espacial ao introduzir a defasagem da variável dependente.

$$y = \rho W y + x\beta + u \quad (15)$$

Essencialmente, é semelhante ao Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), mas incorpora a defasagem espacial. Aqui,  $y$  representa observações da variável dependente em todo o espaço, e  $\rho$  indica a intensidade da autocorrelação espacial.

Ao contrário do MQO convencional, o efeito da variável independente na dependente varia entre observações devido ao efeito espacial, influenciando diferentes vizinhanças em cada ponto de dados. (WEISBURD et al., 2022).

#### 3.4.1 INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA

Para interpretação estatística dos resultados, pela recomendação de Anselin. L (2005), é, primeiramente, ser cuidadoso ao analisar  $R^2$ , pois, este não é comparável com o  $R^2$  do MQO, sendo apenas um Pseudo- $R^2$ , não sendo apropriado em modelos de regressão espacial.

Por outro lado, as medidas de Log-Likelihood e AIC evidenciam a melhora, quando comparado com o modelo MQO. A Log-Likelihood aumenta de -1,717.44 para -1,157.394, enquanto AIC reduz de 3454.9 para 2,336.787.

Estes resultados indicam um melhor ajuste da relação estudada no modelo Spatial Lag (SAR).

O valor de  $\rho = 0.801$  é significativo a  $p < 0.01$  e tem um valor consideravelmente alto. Isto indica que existe dependência espacial forte entre os preditores significantes. Sendo assim, a mudança em um preditor de um município apresenta forte efeito em seus vizinhos.

Por outro lado, algumas variáveis perderam significância, sendo elas % Pop. Homem 15 a 29, log(Pop. Extremamente Pobre), Índice de Gini Normalizado, % Pop. Urbana.

O impacto das variáveis não pode ser analisado apenas nos indicadores dos preditores, isto porque não se pode interpretar os coeficientes como efeitos marginais devido a dependência espacial.

*“Since the value of  $y_i$  will influence the level of homicide “in other” counties  $y_j$  and these  $y_j$ , in turn, feedback on to  $y_i$ , we need to take into account the additional effects that the short impact of  $x_i$  exerts on  $y_i$  through its impact on the level of homicide in other counties” (WARD; GLEDITSCH, 2008)*

Em resumo, temos que a mudança de  $i_{th}$  municípios preditores podem afetar o resultado da região  $j_{th}$ . As duas situações são, o impacto direto de uma observação preditora em seu próprio resultado, e o impacto indireto de uma observação do preditor vizinho em seu resultado.

A tabela 6 traz o resultado dos efeitos indiretos, diretos e totais dos preditores na taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada.

Tabela 6 - Impactos das Variáveis do Modelo (SAR)

Variável	Direct	Indirect	Total
% Pop. Homem 15 a 29	1.050	3.354	4.404
% Pop. Mulher 15 a 17 Ao Menos um Filho	0.745**	2.380**	3.126**
log(% Pop Extremamente Pobre)	0.021	0.068	0.089
Índice de Gini Normalizado	0.005	0.017	0.023
% Desocupação 18 Anos ou Mais	1.155*	3.688*	4.843*
% População Urbana	0.160*	0.513*	0.674*
% Crianças de 6 a 14 Anos Fora da Escola	4.071***	13.003***	17.074***
Binaria Região Metropolitana	0.098***	0.314***	0.412***

Note: \* $p < 0.1$ ; \*\* $p < 0.05$ ; \*\*\* $p < 0.01$

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Atlas Brasil, IBGE e Atlas da Violência, 2023

Considerando o modelo Spatial Lag (SAR) como um melhor ajuste para a relação estudada, temos no Quadro 6 a interpretação dos resultados, considerando o impacto total das variáveis independentes significantes no log da taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada.



Quadro 7 - Interpretações de Impacto Modelo Spatial Lag (SAR)

Variável	Interpretação
% Pop. Mulher 15 a 17 Ao Menos um Filho	Aumento de uma unidade na variável dependente em questão resulta em média no aumento de 3.125 na taxa de homicídio suavizada.
% Desocupação 18 Anos ou Mais	Aumento de uma unidade na variável dependente em questão resulta no aumento de 4.843 na taxa de homicídio suavizada.
% População Urbana	Aumento de uma unidade na variável dependente em questão resulta em média no aumento de 0.674 na taxa de homicídio suavizada.
% Crianças de 6 a 14 Anos Fora da Escola	Aumento de uma unidade na variável dependente em questão resulta em média no aumento de 17.074 na taxa de homicídio suavizada.
Binaria Região Metropolitana	Aumento em média na taxa de homicídio suavizada de 0.412 resultado da mudança de não região metropolitana para região metropolitana.

Fonte: Elaboração própria, 2023

### 3.5 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS COM ESTUDOS SIMILARES

Apesar das variáveis com não significância estatística, o resultado é o esperado considerando a revisão de literatura. O aumento da desigualdade, medida pelo Indicador de Gini e Percentual dos Extremamente Pobres impactariam positivamente na taxa de homicídio suavizada.

Para o Indicador de Gini FAJNZYLBBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998) em modelo GMM de regressão de painel obtém significância e apresenta impacto positivo de 0.012 na log da taxa intencional de homicídio.

Para o mesmo indicador, Scorzafave e Soares (2009) obtém significância e elasticidade positiva no modelo Spatial Lag (SAR), relativa a 2.04, impactando crimes envolvendo ganhos pecuniários.

Por sua vez, Ingram e Costa (2016), utiliza como variável dependente a log da taxa de homicídio suavizada em 2011, assim como variáveis independentes de 2010, similar a este estudo. O resultado para variável desigualdade contudo, é ambíguo, com impacto negativo no modelo SLM.

Para Silva et al. (2020), no estudo sobre taxas de homicídio em Pernambuco com dados em painel, o resultado para no modelo MQO sugere impacto positivo de 0.338 e significativo.

Em relação ao percentual dos extremamente pobres, Prates et al. (2023) no modelo MQO obtém impacto negativo enquanto Silva et al. (2020) positivo na taxa de homicídio, ambos com significância.

No quesito da propensão ao homem jovem cometer crimes, Prates et al. (2023) apresenta impacto negativo e significativo para proporção de homens de 15 a 29 anos no MQO e Ingram e Costa (2016) também impacto negativo e significativo no modelo SLM. Ambos resultados são contrários ao observado neste estudo.

Para instabilidade da família, Scorzafave e Soares (2009) apresentam impacto positivo e significativo de mães adolescentes em 1991 no modelo Spatial Lag (SAR).

Para o desemprego, Prates et al. (2023) segue com resultado significativo e positivo para o MQO na taxa de homicídio. Scorzafave e Soares (2009) no SAR e MAJID MADDAH, (2013) no GMM também obtém resultado positivo para desemprego em crimes de roubos e com ganhos financeiros.

No quesito de densidade urbana, o resultado concorda com FAJNZYLBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998), Prates et al. (2023), Ingram e Costa (2016), Scorzafave e Soares (2009) e Silva et al. (2020), onde está associado positivamente.

Importante evidenciar que existe significância a 10% da variável % População Urbana nos impactos.

Vale ressaltar que MAJID MADDAH (2013) encontra relação negativa no GMM para densidade populacional em alguns tipos de roubos.

Como complemento da variável binária, Scorzafave e Soares (2009), no modelo Spatial Lag (SAR), apresentam impacto negativo e significativo. Analisando pela ótica do risco, segundo GLAESER; SACERDOTE, (1999), o resultado positivo é mais condizente, indicando que regiões metropolitanas apresentam menor risco de apreensão.

Por fim, a variável relacionada a educação, no estudo de Scorzafave e Soares (2009), apresenta impacto negativo e significativo para taxa de frequência na escola. Prates et al. (2023) com taxa de pessoas sem completar quinta série e com mais de 15 anos encontra impacto positivo e não significativo.

Adicionalmente, FAJNZYLBER; LEDERMAN; LOAYZA, (1998), concluem que a educação, esta negativamente relacionada com taxa de homicídio, similar a Scorzafave e Soares (2009), observando a taxa frequência.

A ótica de interpretação para certos indicadores se altera dependendo da variável. Por exemplo, uma maior taxa de crianças fora da escola impacta positivamente a taxa de homicídio, como explicitado neste estudo. Contudo, uma maior taxa de frequência impacta negativamente.

Em resumo, os resultados observados nos modelos apresentados seguem o pressuposto da literatura, onde, maior desigualdade, maior desemprego, falta de escolaridade, maior instabilidade da família, maior grau de urbanização e regiões de menor risco teriam impacto positivo na taxa de homicídio.

### **3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho teve como objetivo analisar os determinantes do crime para o sudeste brasileiro, utilizando-se do referencial teórico de Becker (1968) para o processo de escolhas de variáveis impactantes na decisão do indivíduo.

Foi utilizado de modelagem econométrica e aplicação de ferramentas e metodologias de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para a criação e estimação dos modelos, observando o impacto das variáveis, considerando o componente espacial.

Foi possível observar que os resultados convergem para a literatura, onde as variáveis chaves dos grupos de desigualdade, instabilidade familiar, escolaridade, urbanização e risco confluem para o pressuposto estabelecido.

Ficou evidente, que para esta estrutura de análise, considerando dados de corte do ano de 2010 em nível municipal para o sudeste brasileiro em ambas as variáveis dependente e independentes, a adição do componente espacial não suporta totalmente a hipótese explicitada no modelo MQO.

Em outras palavras, o modelo MQO traz o pressuposto do impacto das variáveis independentes com a taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada em log, sem considerar o componente espacial, obtendo resultado significantes e positivas para todas, seguindo a lógica socioeconômica revisada na literatura.

Contudo, ao adicionar o componente espacial no modelo de regressão Spatial Lag (SAR) as variáveis, % Pop. Homem 15 a 29 % Pop Extremamente Pobre em log e Índice de Gini Normalizado perdem significância.

Portanto, não é possível afirmar que estas estejam relacionadas com o aumento na taxa de homicídio por cem mil habitantes suavizada em log para os dados em analisados.

No que se refere ao modelo Spatial Lag (SAR), as variáveis significantes indicam que os grupos de instabilidade da família, desigualdade pela proxy desocupação, densidade demográfica, menor qualidade da educação e menor risco pela proxy binaria para regiões metropolitanas, possuem impactos positivos sobre a taxa de homicídio suavizada.

A matriz de vizinhança, falta de variável independente determinante no modelo, podem ser fatores que colaborem com a perda de significância das variáveis explicitadas.

A matriz de contiguidade de ordem um pode não servir como o melhor ajuste para as variáveis de desigualdade e população de homens jovens. Um caminho possível é a utilização da matriz de pesos inversa, uma vez que atribui maior peso aos vizinhos próximos enquanto decai com o aumento da distância.

Para a falta de variável determinante é possível relacionar regiões onde a atividade criminal está relacionada com fatores de difícil mensuração, o exemplo seria atividades de facções, crime organizado, dentre outros.

Ademais, é importante que programas de políticas públicas que tenham como foco a redução da taxa de homicídio para o sudeste brasileiro foquem suas ações nas categorias de maior impacto para a criminalidade

A redução da desigualdade acaba sendo parte central, uma vez que diversas variáveis estão relacionadas direta e indiretamente. O foco no aumento da educação, redução do desemprego e maior estabilidade familiar impactam no curto e longo prazo para redução da desigualdade.

Além disso, o menor risco associado a áreas com maior concentração demográfica reforçam a importância do compromisso com investimento em segurança pública.

Em linhas gerais, segundo Becker (1968) a combinação destes fatores tende a pesar no processo de decisão do indivíduo no momento de cometer uma ação ilícita, colaborando para a redução da criminalidade.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELIN, Luc. Exploring Spatial Data with GeoDaTM: A Workbook. Illinois: Center For Spatially Integrated Social Science, 2005. 224 p. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4130006/mod\\_folder/content/0/geodaworkbook.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4130006/mod_folder/content/0/geodaworkbook.pdf). Acesso em: 03 jun. 2023.

ARAÚJO, Ari Francisco; FAJNZYLBER, Pablo. CRIME E ECONOMIA: UM ESTUDO DAS MICRORREGIÕES MINEIRAS. IX Seminário sobre a Economia Mineira, [s. l.], p. 809-840, 2000.

BECKER, Gary S. Crime and Punishment: An Economic Approach. *Journal of Political Economy*, Columbia, v. 76, ed. 01, p. 169-217, 1968.

CERQUEIRA, DANIEL RICARDO DE CASTRO. Causas e consequências do crime no Brasil. Orientador: João Manoel Pinho de Mello Rodrigo Reis Soares. 2014. 188 p. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

EHRlich, Isaac. Participation in Illegitimate Activities: A Theoretical and Empirical Investigation. *Journal of Political Economy*, [s. l.], v. 83, ed. 3, p. 521-565, 1973.

FAJNZYLBER, P.; LEDERMAN, D.; LOAYZA, N. Determinants of crime rates in Latin America and the world. [s.l.] The World Bank, 1998.

FILHO, Claudio Chaves Beato; REIS, Ilka Afonso. Desigualdade, Desenvolvimento Socioeconômico e Crime. Atlas da Violência - IPEA, [s. l.], p. 1-14, 1999.

FRANCISCO; FAJNZYLBER, P. O que causa a criminalidade violenta no Brasil? Uma análise a partir do modelo econômico do crime: 1981 a 1996. 1 jan. 2001.

GLAESER, EDWARD L.; SACERDOTE, B. Why is There More Crime in Cities? *Journal of Political Economy*, v. 107, n. S6, p. S225–S258, dez. 1999.

HEINEKE, John; BLOCK, Michael Kent. The supply of legal and illegal activity: A choice theoretic analysis. *Santa Clara Business Review*, [s. l.], p. 1-16, 1973.

In-Text Citation: (Ye & Wu, 2011)

JEFFERY, Clarence Ray. The Historical Development of Criminology. *Journal of Criminal Law and Criminology*, [s. l.], v. 50, p. 3-19, [1960].

LOBOS, J. Factors Affecting Juvenile Delinquency. *Faculty Research Journal Bulacan State University - Meneses Campus*, v. 7, p. 1–6, 2018.

MAJID MADDAH. AN EMPIRICAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN UNEMPLOYMENT AND THEFT CRIMES. 1 jan. 2013.

NAKABASHI, Luciano et al. Boletim de Segurança Pública - Ribeirão Preto. Centro de Pesquisa em Economia Regional da FUNDACE (CEPER), [s. l.], v. 24, p. 1-10, 2020.

NAKABASHI, Luciano et al. Boletim de Segurança Pública - Ribeirão Preto. Centro de Pesquisa em Economia Regional da FUNDACE (CEPER), [s. l.], v. 24, p. 1-10, 2020.

PRATES, Thierry Molnar et al. HOMICIDES IN ALAGOAS – BRAZIL: A SPATIAL ANALYSIS. Estudios Económicos, Bahía Blanca, v., n. 80, p. 11-41, jan. 2023. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5723/572373856001/html/>. Acesso em: 14 set. 2023.

RESENDE, João Paulo; ANDRADE, Mônica Viegas. Crime Social, Castigo Social: Desigualdade de Renda e Taxas de Criminalidade nos Grandes Municípios Brasileiros. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 41, ed. 1, p. 174-195, 2011.

RESENDE, João Paulo; ANDRADE, Mônica Viegas. Crime Social, Castigo Social: Desigualdade de Renda e Taxas de Criminalidade nos Grandes Municípios Brasileiros. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 41, ed. 1, p. 174-195, 2011.

SALVIATO, Rafael Buttini; MOURÃO, Gustavo Nunes. ECONOMIA DO CRIME: UM ESTUDO SOBRE A TEORIA ECONÔMICA DO CRIME E AS SUAS VERIFICAÇÕES NO ESTADO DO PARANÁ. Memorial TCC – Caderno da Graduação, [s. l.], p. 353-368, [2014-2015].

SCORZAFAVE, Luiz Guilherme; SOARES, Milena Karla. Income inequality and pecuniary crimes. Economics Letters, [s. l.], v. 104, p. 40-42, 2009.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis. ECONOMIA DO CRIME: TEORIA E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS A PARTIR DE UM ESTUDO DE CASO NA PENITENCIÁRIA ESTADUAL DE PIRAQUARA (PR). Revista de Economia e Administração, [s. l.], p. 1-20, 2005.

SILVA, Carlos et al. Spatial Modeling for Homicide Rates Estimation in Pernambuco State-Brazil. International Journal Of Geo-Information. Switzerland, p. 1-19. dez. 2020.

SOLYMOSSI, Reka et al. Crime Mapping in R. Manchester: Bookdown, 2022. Disponível em: [https://maczokni.github.io/crime\\_mapping\\_textbook/#](https://maczokni.github.io/crime_mapping_textbook/#). Acesso em: 03 ago. 2023.

VIAPIANA, Luiz Tadeu. Economia do crime: uma explicação para a formação do criminoso. Editora AGE Ltda. 2006

Ward, M. D., & Gleditsch, K. S. (2008). Spatial Regression Models. SAGE Publications.

WEISBURD, David et al. Advanced Statistics in Criminology and Criminal Justice. 5. ed. Switzerland: Springer, 2022. 550 p.

Ye, X., & Wu, L. (2011, April 1). Analyzing the dynamics of homicide patterns in Chicago: ESDA and spatial panel approaches. Applied Geography, Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.08.006>