

HOMICÍDIOS DOLOSOS E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS: UMA ANÁLISE DE MODELAGEM SARIMA DOS HOMICÍDIOS EM CUIABÁ (MATO GROSSO) COM COVARIÁVEIS MACROCLIMÁTICAS

INTENTIONAL HOMICIDES AND CLIMATIC VARIABLES: A SARIMA MODELING ANALYSIS OF HOMICIDES IN CUIABÁ (MATO GROSSO) WITH MACROCLIMATIC COVARIATES

Fabiane de Sousa Melo¹

Carlo Ralph de Musis²

Maria de Fátima Magalhães S. Andrade³

Adriana Amorim de Musis⁴

Resumo

Anualmente, um expressivo número de vidas é perdido em decorrência de homicídios dolosos no Estado de Mato Grosso, Brasil. A aplicação de ferramentas preditivas que forneçam informações relevantes para a elaboração de políticas públicas é imprescindível na sociedade atual. Este estudo apresenta um modelo de previsão baseado em técnicas de modelagem de séries temporais, aplicadas a dados climáticos e de segurança pública no período de 2012 a 2023. Foram utilizados registros de homicídios e variáveis macroclimáticas como elementos auxiliares na análise. Após avaliar os pressupostos estatísticos, sazonalidade e precisão, selecionou-se o modelo SARIMA (0,1,1), incluindo a temperatura do ar como covariável.

Palavras-chave: homicídios; séries temporais; SARIMA; variáveis climáticas; validação cruzada.

¹ Universidade de Cuiabá, Mestre em Ciências Ambientais, fabianemelo@pjc.mt.gov.br.

² Universidade de Cuiabá, Doutor em Educação, carlodemusis@politec.mt.gov.br.

³ Universidade Federal de Mato Grosso, Bacharelanda em Estatística, mariadefatimamagalhaesdesouzaa@gmail.com.

⁴ Adriana Amorim De Musis, Engenheira Civil, Universidade Federal de Mato Grosso, dricademusis@hotmail.com.

Abstract

Annually, a significant number of lives are lost due to intentional homicides in the state of Mato Grosso, Brazil. The application of predictive tools that provide relevant information for the development of public policies is essential in today's society. This study presents a forecasting model based on time series modeling techniques, applied to climatic and public security data from 2012 to 2023. Records of homicides and macroclimatic variables were used as auxiliary elements in the analysis. After evaluating statistical assumptions, seasonality, and accuracy, the SARIMA (0,1,1) model was selected, including air temperature as a covariate.

Keywords: homicides; time series; SARIMA; climate variables; cross validation.

1 INTRODUÇÃO

A análise detalhada de séries temporais é crucial para criar modelos que possam prever futuros eventos ou tendências. Este campo tem recebido uma crescente atenção tanto da academia quanto de profissionais na área de gestão. No entanto, muitos pesquisadores encontram desafios para realizar estudos aprofundados, frequentemente devido à falta de bases de dados organizados e à escassez de históricos confiáveis.

Em relação à segurança pública, há uma clara falta de estudos rigorosos que usem séries temporais. Essa lacuna afeta diversas áreas importantes, como a análise da situação atual de crimes, a coleta de dados confiáveis sobre taxas de criminalidade e o entendimento profundo das dinâmicas que envolvem atos criminosos. Essas informações são essenciais não só para ação policial eficaz, mas também para um planejamento eficiente dos recursos destinados à monitorização e prevenção do crime.

Nesse contexto, nosso estudo busca adaptar métodos e técnicas que são comuns em campos onde a análise de séries temporais é mais avançada, como estudos ambientais, para serem usados na área de segurança pública. O foco é aplicar essas técnicas para modelar séries temporais com base em dados sobre homicídios intencionais, complementados com variáveis do clima, visando criar modelos preditivos confiáveis.

O objetivo é identificar possíveis relações entre os dados coletados, considerando um período de tempo específico. Os dados usados neste estudo incluem registros de homicídios intencionais em Cuiabá e Várzea Grande entre 2012 e 2023, e variáveis climáticas como temperatura, umidade, quantidade de chuva e velocidade do vento. Isso nos ajudará a entender os fatores que afetam as taxas de homicídio, a identificar padrões sazonais ou cíclicos e, consequentemente, a criar modelos preditivos mais eficazes.

2 CLIMA E CRIME

A ação humana nas áreas urbanas provoca transformações na paisagem natural, ocasionando alterações no clima e no meio ambiente, resultando em degradação ambiental (Lombardo, 1985). Fatores que afetam o clima urbano incluem a produção de calor antropogênico, a diminuição da evaporação e a redução da velocidade do ar (Santos, 2013). Diversas pesquisas indicam que temperaturas mais elevadas estão correlacionadas com um aumento no comportamento agressivo e violento (Hsiang *et al.*, 2013).

A relação entre o clima e o comportamento humano tem sido objeto de investigação desde a década de 1960, especialmente após uma série de distúrbios ocorridos nos Estados Unidos (Cohn *et al.*, 2004). Vrij *et al.* (1994) examinaram a conexão entre temperatura e agressividade de policiais em um experimento utilizando um sistema de treinamento com armas de fogo. O estudo analisou se o ambiente térmico influenciava o comportamento agressivo dos policiais durante o treinamento, e os resultados apontaram que a agressão dos oficiais aumentava conforme a temperatura ascendia, demonstrando a influência das condições climáticas no comportamento agressivo. Algumas teorias, como o Modelo de Escape de Afeto Negativo (Baron, 1972), propõem uma relação não linear entre temperatura e violência. Por outro lado, teorias como a Teoria da Atividade de Rotina (Cohen e Felson, 1979) e o Modelo de Agressão Afetiva Geral (Anderson, 2001) preveem uma relação linear entre essas variáveis.

Estudos sugerem que a violência tende a se intensificar com o aumento das temperaturas, com impactos diferenciados entre distintos tipos de crimes e contextos (Butke e Sheridan, 2010). Diversas teorias tentam explicar essa relação, incluindo a Teoria do Escape/Esquiva Social (Cohn *et al.*, 2004), que postula que as pessoas buscam evitar situações desconfortáveis, resultando em uma diminuição nos crimes violentos em dias de temperaturas extremas.

A Teoria da Atividade de Rotina postula que o aumento da temperatura resultaria em mais interações sociais e, consequentemente, em um maior número de vítimas em potencial. Em contrapartida, a Teoria do Escape/Esquiva Social sugere que a busca por evitar condições extremas reduziria a interação social e os crimes violentos. Estudos adicionais em diferentes localidades corroboram a prevalência da relação entre clima e crime, ainda que nem todos apresentem um efeito linear entre temperatura e agressividade (Harries e Stadler, 1988; Jacob *et al.*, 2007).

Estudo da relação entre clima e crime na Nova Zelândia, examinando dados de crimes violentos e contra a propriedade no período entre 2000 e 2008, encontrou evidências de uma relação entre temperatura e precipitação e esses tipos de crime. A pesquisa indica que o aumento da temperatura pode intensificar a agressividade e o crime, enquanto um clima mais ameno seria propício às oportunidades para furtos (Horrocks e Menclova, 2011).

Em análise da relação entre variáveis meteorológicas e crimes na Inglaterra e País de Gales, identificou-se uma relação positiva entre temperaturas mais altas e crimes contra a propriedade (Fields, 1992). A influência do clima nos roubos em Strathclyde, Escócia, foi

objeto de análise em outro estudo concluindo que o aumento da temperatura estava relacionado ao crescimento dos assaltos (Tompson e Bowers, 2013).

Um estudo realizado nos Estados Unidos investigou a influência das mudanças climáticas na criminalidade. Os resultados indicaram que temperaturas mais elevadas e variações na precipitação estavam associadas a um aumento nas taxas de criminalidade (Ranson, 2014).

Esses resultados estão de acordo com outras pesquisas que mostram que mudanças no clima podem ter impactos negativos sobre o comportamento humano. Altas temperaturas, por exemplo, podem aumentar a irritabilidade, agressividade e impulsividade, o que pode explicar o aumento na criminalidade.

Além disso, a variação na precipitação pode afetar a disponibilidade de água e alimentos, o que pode levar a conflitos e disputas entre pessoas e comunidades.

Esses achados são preocupantes, uma vez que as mudanças climáticas estão se intensificando em todo o mundo e é provável que tenham impactos significativos na sociedade. Por isso, é importante que políticas públicas sejam desenvolvidas para lidar com esses desafios e minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas na criminalidade e na sociedade em geral. Pesquisa realizada em Baltimore examinou as correlações entre traumas registrados, criminalidade e dados meteorológicos, revelando que a temperatura máxima diária teve uma associação positiva com trauma total, lesão intencional e crimes violentos. Esse estudo reforça a ideia de que as condições climáticas, em particular a temperatura, podem desempenhar um papel significativo na incidência de comportamentos agressivos e criminosos (Michel *et al.*, 2016).

Em 2016 foi proposto o modelo CLASH (*Climate, Aggression, and Self-control in Humans*), que investiga as diferenças na criminalidade e variações climáticas dentro e entre países. Esse modelo propõe que os indivíduos que vivem em climas quentes apresentam menor autocontrole e maior propensão à agressividade, devido, em parte, à adaptação a condições de incerteza e escassez de recursos. O CLASH sugere que a temperatura e outras variáveis climáticas podem ser um fator determinante na compreensão das diferenças na agressão e criminalidade em diferentes contextos geográficos.

Conforme Coccia (2017), a desigualdade socioeconômica e o clima térmico estariam positivamente associados ao crime violento. A desigualdade socioeconômica pode agravar as tensões entre grupos sociais e exacerbar os sentimentos de injustiça e frustração, o que, por sua vez, pode levar a um aumento na criminalidade. Quando combinada com temperaturas elevadas, essa desigualdade pode criar um ambiente propício para o aumento da violência.

No Brasil, Mendonça (2001) analisou a relação entre variáveis macroclimáticas e a incidência criminal em dez cidades, constatando que os meses mais quentes geralmente apresentam maior incidência criminal. A análise da relação clima-crime em séries temporais pode ser útil para aplicação da lei e planejamento de ações, utilizando ferramentas como modelos autorregressivos integrados de médias móveis com sazonalidade (*seasonal autoregressive integrated moving average*, Sarima).

No contexto de Mato Grosso, destaca-se que as variações climáticas poderiam afetar diretamente a economia, causando instabilidade no emprego e na renda das famílias. Essa instabilidade, por sua vez, pode aumentar a propensão à criminalidade, à medida que as pessoas enfrentam maiores dificuldades econômicas favorecendo a busca de alternativas ilegais para garantir a subsistência (Agnew, 1992).

A relação entre clima e comportamento criminoso é um tema complexo e em constante evolução. Pesquisas desenvolvidas em diversas localidades e contextos, conforme discutido anteriormente, apresentam correlações entre variáveis climáticas e incidência de crimes, principalmente violentos. Essas pesquisas destacam a importância de considerar os efeitos do clima no planejamento e implementação de políticas públicas de segurança, bem como no desenvolvimento de estratégias de prevenção e combate ao crime.

Diante disso, é fundamental que os gestores públicos e as agências responsáveis pela segurança pública incorporem os conhecimentos acumulados nessa área em suas práticas e políticas. A compreensão das interações entre clima, agressividade e criminalidade pode contribuir para a formulação de políticas públicas e intervenções mais eficazes e adaptadas às especificidades de cada contexto. Assim, as autoridades locais, ao implementarem ações que considerem a relação entre clima e crime, poderão abordar as questões de segurança pública de maneira mais informada e eficiente, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população e para a redução dos índices de criminalidade na região metropolitana de Cuiabá e em todo o Estado de Mato Grosso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O aglomerado urbano formado pelos municípios de Cuiabá e Várzea Grande, situado no estado de Mato Grosso, Brasil, representa uma das áreas mais relevantes da região Centro-Oeste do país. A contiguidade geográfica e a integração econômica entre essas duas cidades

resultaram em uma área urbana contínua, que abriga uma população significativa e concentra uma diversidade de atividades econômicas (IBGE, 2023).

Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, é o principal centro político e administrativo da região. A cidade tem experimentado um crescimento populacional nas últimas décadas, impulsionado pelo desenvolvimento econômico e pela expansão das atividades comerciais, industriais e de serviços. Ademais, Cuiabá possui um patrimônio histórico e cultural notável, sendo um importante destino turístico no estado (IBGE, 2023).

Várzea Grande, localizada na margem direita do rio Cuiabá, é o segundo município mais populoso do Estado. A cidade mantém uma relação intrínseca com a capital em termos de infraestrutura e economia. A proximidade com Cuiabá possibilitou a Várzea Grande usufruir das oportunidades geradas pelo crescimento da capital, resultando em sua expansão urbana e desenvolvimento econômico. A cidade apresenta um setor industrial crescente, além de atividades comerciais e de serviços que complementam a economia local (IBGE, 2023).

O clima dessa região é classificado como tropical savântico (Aw, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger). A cidade experimenta duas estações distintas: uma estação seca, que ocorre geralmente de maio a setembro, e uma estação chuvosa, que vai de outubro a abril. Durante a estação seca, a umidade relativa do ar pode cair para níveis críticos, frequentemente abaixo de 30%, tornando o ambiente muito seco. As temperaturas médias anuais variam entre 24°C e 26°C, mas podem atingir picos de até 40°C nos meses mais quentes (INMET, 2023).

Na estação chuvosa, recebe uma quantidade significativa de precipitação, com médias mensais variando de 150 a 200 mm. As chuvas são geralmente concentradas em tempestades intensas e de curta duração, muitas vezes acompanhadas de trovoadas. A umidade relativa do ar durante essa época é consideravelmente mais alta, frequentemente acima de 70% (INMET, 2023).

A criminalidade no aglomerado urbano formado por Cuiabá e Várzea Grande, no estado de Mato Grosso, Brasil, representa um desafio para as autoridades e a sociedade local. Com o crescimento populacional e o consequente aumento da densidade urbana, a região enfrenta diversos desafios relacionados à violência e à segurança pública. Não obstante os esforços do setor público, a taxa de homicídios na região chega a 38,4 por 100 mil habitantes (IPEA, 2023). Diversos fatores contribuem para esta incidência de homicídios na região, como a presença de facções criminosas, a disputa pelo controle do tráfico de drogas e a desigualdade social.

3.2 Análise estatística

As séries de dados climáticos foram obtidos junto ao site na WEB do Instituto Nacional de Meteorologia para a estação presente em Cuiabá, sendo consideradas as médias mensais das médias diárias das temperaturas e umidades relativas horárias do ar, e as médias mensais da precipitação total diária. Por simplificação, essas variáveis serão tratadas por Temperatura, Umidade relativa e Precipitação.

Os registros mensais de homicídios para Cuiabá e Várzea Grande foram obtidos diretamente no sítio da internet da Secretaria de Estado de Segurança Pública de Mato Grosso.

O procedimento de análise consistiu em ajustar modelos do tipo modelo autoregressivo integrado de médias móveis com sazonalidade (SARIMA) aos conjuntos de dados climáticos e de criminalidade, buscando os arranjos de parâmetros e covariáveis com melhores estatísticas de qualidade de ajuste.

Os parâmetros do modelo proposto foram estimados utilizando um procedimento de busca sazonal, o qual avaliou diferentes combinações de parâmetros para um modelo do tipo SARIMA. Uma busca exaustiva foi realizada para identificar o modelo que apresentava o menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC). Também foram considerados o Critério de Informação de Akaike corrigido (AICc) e o Critério de Informação Bayesiano (BIC). Estas estatísticas avaliam a qualidade do ajuste do modelo em relação à sua complexidade, ajudando na seleção do modelo mais adequado para a previsão.

A validação dos resultados adotou um particionamento do tipo *holdout*. De acordo com Nguyen *et al.* (2023), uma divisão de 70% dos dados para treinamento e 30% para teste é considerada uma proporção adequada para o treinamento e validação de modelos preditivos. Esta proporção é consistente com outros estudos analisados pelos autores, que investigaram diferentes divisões de treinamento e teste para modelos de aprendizado de máquina e previsão espacial de deslizamentos de terra.

O uso da abordagem *holdout* para validação dos modelos SARIMA tem como objetivo garantir a confiabilidade e a robustez das previsões geradas. Ao dividir o conjunto de dados em treinamento e teste, é possível avaliar o desempenho do modelo em dados não utilizados durante a fase de ajuste, fornecendo uma estimativa mais realista da capacidade de previsão do modelo em condições futuras.

Empregamos a estatística *Mean Absolute Scaled Error* (MASE) como medida de acurácia para avaliar a precisão das previsões geradas pelos modelos de séries temporais investigados. O MASE foi proposto como uma métrica alternativa às medidas de acurácia

tradicionais de previsão e apresenta vantagens em relação a outras métricas. As principais vantagens do MASE são: 1) sua natureza adimensional e escalável, permitindo comparar previsões entre diferentes séries temporais, independentemente de suas unidades ou escalas; 2) sua capacidade de fornecer uma comparação direta do desempenho do modelo de previsão em relação a um modelo *naive*, que utiliza o valor imediatamente anterior como previsão - valores de MASE inferiores a 1 indicam que o modelo em análise supera o desempenho do modelo *naive*, enquanto valores superiores a 1 denotam um desempenho inferior; e 3) sua robustez em relação à presença de outliers, contribuindo para uma avaliação mais precisa da qualidade das previsões (Hyndman e Koehler, 2006).

Foram empregados scripts desenvolvidos na linguagem de programação R, utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) RStudio para a análise dos dados. Os códigos-fonte e as bases de dados utilizadas na pesquisa estão disponíveis em um repositório público (De Masis, 2023), facilitando a replicação dos resultados encontrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

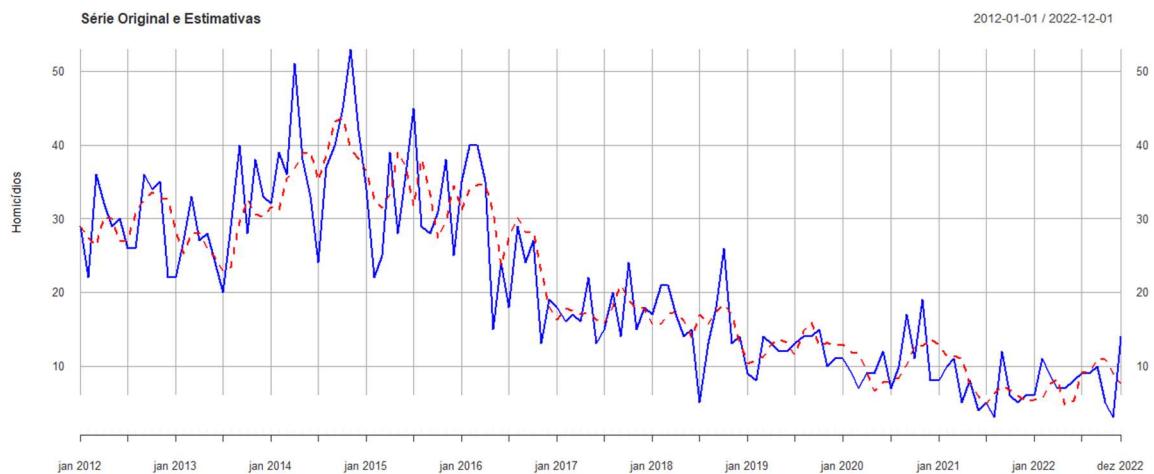
Neste estudo, os dados de criminalidade foram coletados para o período de janeiro de 2012 a fevereiro de 2023 diretamente da Secretaria de Segurança Pública do Estado de Mato Grosso (SESP/MT). Esses dados não apresentaram descontinuidades e, devido ao fato de passarem por análise de conformidade caso a caso, não foram necessários procedimentos específicos para tratamento de outliers.

As variáveis externas utilizadas no estudo foram informações climáticas referentes ao município de Cuiabá, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no mesmo período de tempo (2012-2023). Faltas nos dados correspondem a 1,5% do total e, para garantir a qualidade da modelagem, foram preenchidas utilizando o filtro de Kalman, conforme sugerido por TUSELL, 2023.

O procedimento de otimização adotado neste estudo envolveu a aplicação da transformação de Box-Cox com o objetivo de estabilizar a variância dos dados. Em seguida, foi realizada uma busca automatizada dos parâmetros do modelo SARIMA que minimizassem os valores do Critério de Informação de Akaike (AIC).

A análise indicou que a combinação de variáveis que proporcionou o melhor desempenho incluiu a variável externa Temperatura, resultando em um AIC de 270.55 (Tabela 1) com um ARIMA (0,1,1). A eficácia do modelo pode ser examinada de forma visual através da Figura 1.

Figura 1 – Dispersão das séries temporais de homicídios observada (azul) e estimada (vermelha)



Fonte: elaborado pelo autor (2023).

Este resultado destaca a relevância da temperatura como uma covariável importante na análise da relação entre clima e criminalidade, corroborando os achados de estudos anteriores, como o obtido por (Michel *et al.*, 2016).

Tabela 1 – Estatísticas de qualidade dos modelos ajustados para as combinações de covariáveis estudadas (em itálico os menores valores observados por estatística)

Covariáveis	AIC	AICc	BIC	MASE
-	461,9	462,6	479,2	0,713
Umidade relativa	458,5	459,4	478,6	0,766
Temperatura	446,0	446,9	466,1	0,637
Precipitação	463,9	464,8	484,0	0,732
Umidade relativa + Temperatura	447,4	447,9	461,8	0,744
Umidade relativa + Precipitação	456,8	458,0	479,8	0,689
Temperatura + Precipitação	452,8	453,3	467,2	0,810
Umidade relativa + Temperatura + Precipitação	449,4	450,0	466,6	0,749

Fonte: elaborado pelo autor (2023).

A inclusão da temperatura como uma variável externa no modelo SARIMA demonstra a importância de considerar fatores climáticos ao analisar o comportamento criminoso. Esta abordagem permite a criação de modelos mais precisos e robustos, que podem ser usados para entender melhor os padrões e tendências relacionados ao clima e ao crime. Além disso, os resultados obtidos podem contribuir para a elaboração de políticas públicas de segurança mais

eficazes e adaptadas às condições locais, considerando o impacto das variáveis climáticas na criminalidade.

Em detalhe, temos que a temperatura do ar, como fator ordenador nos sistemas biogeoquímicos, exerce um impacto significativo na sociedade humana, incluindo implicações para a segurança pública. Alterações na temperatura afetam processos biológicos, geológicos, químicos, hidrológicos e interações ecológicas, resultando em consequências diretas e indiretas para a saúde humana, a infraestrutura e a economia. Mudanças na disponibilidade de recursos hídricos, por exemplo, podem levar a conflitos por água e a migrações forçadas, aumentando a pressão sobre as áreas urbanas e as estruturas de segurança pública. Além disso, a crescente frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como tempestades, enchentes e secas, associadas às mudanças na temperatura, representam ameaças significativas à segurança pública, exigindo respostas eficazes de planejamento e gestão. Assim, compreender as interações entre a temperatura do ar e os sistemas biogeoquímicos é crucial para prever e mitigar os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas, recursos naturais e, em última instância, na sociedade humana e na segurança pública (IPCC, 2023).

Na série temporal, foi possível identificar a ocorrência de flutuações acentuadas nos homicídios, que podem estar associadas a desdobramentos de operações específicas ou, alternativamente, à concentração dos registros de boletins de ocorrência devido às dinâmicas administrativas internas das delegacias (Calatayud et al., 2023)). Os valores estimados pelo modelo acompanham de maneira mais gradual os valores observados, fornecendo assim uma referência para o comportamento da série.

Com base nessa análise visual, pode-se inferir que o modelo SARIMA (0,1,1) com a variável externa Temperatura foi capaz de apreender os padrões gerais de variação nos homicídios, mesmo diante das oscilações bruscas encontradas. Essa habilidade de representar a série de forma mais atenuada auxilia na compreensão do comportamento dos homicídios ao longo do tempo e, por consequência, na elaboração de estratégias e políticas públicas mais eficientes no enfrentamento desse tipo de crime (Wallace, 2023).

Com estatísticas próximas a do modelo selecionado tivemos modelos que incluíram às variáveis Umidade relativa e Precipitação como fatores influenciadores. Possivelmente, o desconforto causado pela combinação de altas temperaturas e alta umidade pode levar a um aumento nos níveis de estresse e irritabilidade, o que poderia contribuir para comportamentos violentos. No entanto, a relação direta entre umidade relativa e homicídios avaliada, possivelmente não é linear. Estudos futuros podem investigar a influência de outros aspectos, como as variações sazonais da umidade, no comportamento humano e na incidência de crimes.

Em relação à precipitação, ela poderia relacionar-se de forma inversa com a taxa de homicídios em áreas urbanas tropicais. Durante períodos de chuvas intensas, as pessoas tendem a ficar em ambientes fechados, o que reduz as oportunidades para interações sociais e, consequentemente, para a ocorrência de crimes violentos. No entanto, essa relação pode ser complexa e depender de fatores contextuais específicos, como a infraestrutura urbana e a disponibilidade de espaços públicos adequados para a realização de atividades sociais, mesmo em condições climáticas adversas.

Portanto, é importante considerar a complexidade e a interação entre diferentes fatores climáticos e suas implicações no comportamento humano e na criminalidade. A análise e a compreensão dessas interações podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de prevenção e combate ao crime mais eficazes e adaptadas às condições locais.

A análise de várias covariáveis em modelos como o SARIMA pode enriquecer a compreensão do fenômeno estudado, como a criminalidade, e das interações entre fatores socioeconômicos e ambientais. Ao examinar múltiplas variáveis, seria possível identificar padrões complexos e interdependentes que podem não ser aparentes ao analisar cada variável separadamente.

Essas interações entre diferentes fatores ajudam a revelar as forças subjacentes às variações observadas no comportamento criminoso, fornecendo insights para a tomada de decisões e a formulação de políticas públicas mais eficientes e eficazes.

Por exemplo, considerando fatores como desigualdade socioeconômica, clima, emprego, educação e acesso a serviços públicos, os tomadores de decisão podem identificar áreas e populações em maior risco de serem afetadas pela criminalidade. Esses insights poderiam orientar a alocação de recursos e o desenvolvimento de programas e políticas específicas para abordar os fatores que contribuem para a criminalidade nessas áreas.

Analizar múltiplas covariáveis e observar suas interações ofereceria uma compreensão mais profunda e abrangente do fenômeno em questão, permitindo que os tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas desenvolvam estratégias mais informadas e eficazes para enfrentar os desafios relacionados à criminalidade (Faradiba, 2023).

A obtenção de resultados bem-sucedidos utilizando variáveis climáticas realça a importância dos fatores climáticos na análise e ressalta a necessidade de considerar as interações entre os vários aspectos socioeconômicos e ambientais ao estudar fenômenos complexos, como a incidência de homicídios. Uma abordagem integrada oferece uma visão mais completa e esclarecedora das causas e efeitos dos homicídios, ajudando a identificar possíveis áreas de intervenção e melhorar as políticas públicas.

Ao levar em conta as interações entre fatores climáticos e socioeconômicos, os responsáveis pela tomada de decisões e elaboração de políticas públicas podem desenvolver estratégias mais eficazes e adaptadas às condições locais para prevenir e combater a criminalidade. Essa abordagem integrada também auxilia na compreensão das forças que impulsionam as variações na criminalidade, facilitando a implementação de políticas mais focadas e eficazes na redução da violência e na promoção da segurança pública.

5 CONCLUSÕES

A análise das séries temporais mostrou uma tendência inicial de crescimento nos homicídios, seguida por um declínio, e flutuações sazonais irregulares ao longo da série.

O melhor desempenho na modelagem da série temporal foi obtido utilizando a temperatura média do ar como covariável, aplicando o modelo ARIMA (0,1,1) na previsão dos casos de homicídio na região metropolitana.

O uso de modelagem matemática e otimização computacional neste estudo permitiu identificar um modelo preditivo eficiente, que ajuda a entender os padrões e tendências dos homicídios em relação às variáveis macroclimáticas. A aplicação de modelos SARIMA com variáveis externas demonstrou ser promissora para orientar políticas públicas e ações voltadas à redução e controle do crime de homicídio. Ao oferecer insights sobre a dinâmica dos homicídios, esta abordagem pode auxiliar na identificação de áreas prioritárias para intervenção, no desenvolvimento de estratégias eficazes e na implementação de medidas preventivas. Isso contribui para melhorar a segurança pública e a qualidade de vida nas áreas urbanas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNEW, R. *Foundation for a general strain theory of crime and delinquency*. *Criminology*, v. 30, n. 1, p. 47-88, 1992.
- ANDERSON, C. A. *Heat and violence. Current Directions in Psychological Science*, v. 10, n. 1, 2001, Iowa.
- BARON, R. A. *Aggression as a function of ambient temperature and prior anger arousal*. *J. Pers. Soc. Psychol.*, v. 21, p. 183-189, 1972.
- BUTKE, P.; SHERIDAN, S. C. *An analysis of the relationship between weather and aggressive crime in Cleveland, Ohio*. *Weather, Climate and Society*, v. 2, n. 3, p. 166-176, 2010.

CALATAYUD, J.; JORNET, M.; MATEU, J. *Spatio-temporal stochastic differential equations for crime incidence modeling*. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, p. 1-16, 2023.

COCCIA, M. **A Theory of general causes of violent crime: Homicides, income inequality and deficiencies of the heat hypothesis and of the model of CLASH**. *Aggression and Violent Behavior*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2017.10.005>

COHEN, L. E.; FELSON, M. *Social change and crime rate trends: A routine activity theory approach*. **American Sociological Review**, v. 44, p. 588–608, 1979.

COHN, E. G.; PETERSON, A. G.; TARR, D. B. *Temperature, city size, and the southern subculture of violence: Support for Social Escape/Avoidance (SEA) theory*. **J. Appl. Soc. Psychol.**, v. 34, p. 1652–1674, 2004.

DE MUSIS, C. R. **Repositório do estudo “Homicídios dolosos e Variáveis Climáticas: Uma Análise de Modelagem SARIMA dos Homicídios em Cuiabá (Mato Grosso) com covariáveis Macroclimáticas”**. Disponível em: https://github.com/demusis/homicidios_sesp_mt. Acesso em: 4 abr. 2023.

FARADIBA, F. *The Effect of Increasing Temperature on Crime*. **Asian Research Journal of Arts & Social Sciences**, v. 19, n. 2, p. 1-6, 2023.

FIELD, S. *The effect of temperature on crime*. **British Journal of Criminology**, v. 32, n. 3, p. 340-351, 1992.

HARRIES, K. D.; STADLER, S. J. *Heat and violence: New findings from Dallas field data, 1980–1981*. **Journal of Applied Social Psychology**, v. 18, p. 129-138, 1988.

HORROCKS, J.; MENCLOVA, A. K. *The Effects of Weather on Crime*. **New Zealand Economic Papers**, v. 45, n. 3, p. 231-254, 2011.

HSIANG, S. M.; BURKE, M.; MIGUEL, E. *Quantifying the influence of climate on human conflict*. **Science**, v. 341, n. 6151, p. 1235367, 2013.

HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. *Another look at measures of forecast accuracy*. **International Journal of Forecasting**, 22(4), 2006, 679-688.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 01 set. 2023.

IPCC. *Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. Intergovernmental Panel on Climate Change Sixth Assessment Report*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sexto_Relatório_de_Avaliação_do_Painel_Intergovernamental_sobre_Mudanças_Climáticas. Acesso em: 4 abr. 2023.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Atlas da Violência 2021**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/>. Acesso em: 4 abr. 2023.

JACOB, B.; LEFGREN, L.; MORETTI, E. *The Dynamics of Criminal Behavior: Evidence from Weather Shocks*. **Journal of Human Resources**, v. 42, n. 3, 2007.

LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985, 244 p.

MENDONÇA, F. **Clima e Criminalidade: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência de criminalidade urbana**. Curitiba: Editora UFPR, 2001. 182p.

MICHEL, S. J.; WANG, H.; SELVARAJAH, S.; CANNER, J. K.; MURRILL, M.; CHI, A.; EFRON, D. T.; SCHNEIDER, E. B.; HAIDER, A. H. *Investigating the relationship between weather and violence in Baltimore, Maryland, USA*. **Injury**, v. 47, n. 1, p. 272-276, 2016.

NGUYEN, Q. H.; LY, H. B.; HO, L. S.; AL-ANSARI, N.; LE, H. V.; TRAN, V. Q.; PRAKASH, I.; PHAM, B. T. **Influence of Data Splitting on Performance of Machine Learning Models in Prediction of Shear Strength of Soil**. In *Engineering. Artificial Intelligence for Civil Engineering*. 2021. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/4832864/>. Acesso em: 4 abr. 2023.

RANSON, M. *Crime, weather, and climate change*. **Journal of Environmental Economics and Management**, 67(3), 2014, p. 274-302.

SANTOS, F. M. M. S. *Clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil: Ocupação do solo e suas influências*. **Revista Monografias Ambientais**, v. 12, n. 12, p. 2749-2763, 2013.

TOMPSON, L.; BOWERS, K. *A Stab in the Dark? A Research Note on Temporal Patterns of Street Robbery*. **Journal of Research in Crime and Delinquency**, v. 50, n. 4, p. 616–631, 2013.

TUSELL, F. **Kalman Filtering in R**. *Journal of Statistical Software*, v. 39, n. 2, p. 1–27, 2011. DOI: 10.18637/jss.v039.i02. Disponível em: <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v039i02>. Acesso em: 22 mar. 2023.

VAN LANGE, P.; RINDERU, M.; BUSHMAN, B. *Aggression and violence around the world: A model of CLimate, Aggression, and Self-control in Humans (CLASH)*. **Behavioral and Brain Sciences**, v. 40, p. E75, 2017.

VRIJ, A.; VAN DER STEEN, J.; KOPPELAAR, L. *Aggression of police officers as a function of temperature: An experiment with the fire arms training system*. **J. Community Appl. Soc.**, v. 4, p. 365–370, 1994.

WALLACE, D. *A two-step process to increase successful geocoding in publicly available police stop data*. **Police Practice and Research**, p. 1-7, 2023.