

**Universidade Federal de Juiz de Fora
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Instituto de Ciências Humanas**

Breno Neves Schmitz Gonçalves

**GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE ESPACIAL DE SINISTROS DE TRÂNSITO E A
EFETIVIDADE DA FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA NA SEGURANÇA VIÁRIA:
ESTUDO DE CASO EM JUIZ DE FORA (MG), 2018 - 2023**

JUIZ DE FORA

2026

BRENO NEVES SCHMITZ GONÇALVES

**GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE ESPACIAL DE SINISTROS DE TRÂNSITO E A
EFETIVIDADE DA FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA NA SEGURANÇA VIÁRIA:
ESTUDO DE CASO EM JUIZ DE FORA (MG), 2018 - 2023**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do grau Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan

JUIZ DE FORA

2026

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Neves Schmitz Gonçalves, Breno.

Geotecnologias na análise espacial de sinistros de trânsito e a efetividade da fiscalização eletrônica na segurança viária : estudo de caso em Juiz de Fora (MG), 2018 - 2023 / Breno Neves Schmitz Gonçalves. -- 2026.

85 p.

Orientador: Ricardo Tavares Zaidan

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2026.

1. Mobilidade Urbana. 2. Geotecnologias. 3. Geoprocessamento. 4. Segurança Viária. 5. Sinistros de Trânsito. I. Tavares Zaidan, Ricardo, orient. II. Título.

BRENO NEVES SCHMITZ GONÇALVES

**GEOTECNOLOGIAS NA ANÁLISE ESPACIAL DE SINISTROS DE TRÂNSITO E A
EFETIVIDADE DA FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA NA SEGURANÇA VIÁRIA:
ESTUDO DE CASO EM JUIZ DE FORA (MG), 2018 - 2023**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Dinâmicas Socioambientais.

Aprovada em: 30 de março de 2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Tavares Zaidan - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Wagner Batella
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^a. Dra. Sheila Elisângela Menini
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Herbert Schmitz Gonçalves e Márcia Valéria Neves S. Gonçalves, por todo amor, apoio e incentivo ao longo da minha trajetória. Ao meu irmão, Daniel Neves Schmitz Gonçalves, pela constante ajuda, pelos ensinamentos e por sempre ter sido uma grande referência pessoal, profissional e acadêmica em minha vida. À minha esposa, Ingrid da Silva Pereira, por estar ao meu lado em todos os momentos, pelo companheirismo, apoio e pela presença fundamental, que torna a vida mais leve e significativa em todos os aspectos.

À Secretaria de Mobilidade Urbana, por todas as experiências e aprendizados proporcionados ao longo desses anos, especialmente aos colegas de trabalho e chefias imediatas, pelos ensinamentos diários, trocas de conhecimento, apoio profissional e contribuição direta e indireta para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também pela disponibilização de informações e dados fundamentais para a realização do trabalho.

Ao meu orientador, Ricardo Tavares Zaidan, pela orientação, paciência, compreensão e confiança durante toda a construção desta dissertação. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para a conclusão desta etapa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, pelos ensinamentos e contribuições acadêmicas ao longo do curso. Estendo também meus agradecimentos aos membros das bancas de seminário de dissertação, qualificação e defesa, pelas observações, sugestões e contribuições valiosas para o aprimoramento deste trabalho.

Por fim, agradeço a Deus e a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para minha formação pessoal, acadêmica e profissional. Meu sincero muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho analisa a distribuição espacial e a dinâmica temporal dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora (MG), entre 2018 e 2023, com o objetivo de avaliar a eficácia da fiscalização eletrônica na promoção de uma mobilidade urbana mais segura e sustentável. A pesquisa fundamenta-se em uma abordagem quantitativa e geoespacial, utilizando dados oficiais tratados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a identificação de pontos críticos (*hotspots*) por meio da Estimativa de Densidade de Kernel. O estudo investiga a correlação entre a alta incidência de sinistros e os desafios estruturais da cidade média, como o crescimento acelerado da frota veicular e a precarização do transporte coletivo, fatores que reforçam a dependência do transporte individual motorizado em uma malha viária de configuração radial. A análise da efetividade dos radares baseou-se em uma avaliação comparativa de "antes e depois" da instalação dos dispositivos, verificando o impacto real na redução dos registros e na alteração do comportamento dos condutores. Os resultados revelam que, embora a fiscalização eletrônica apresente resultados positivos em eixos de alta visibilidade, persistem descompassos territoriais onde o controle isolado de velocidade mostra-se insuficiente. Como conclusão, o trabalho propõe diretrizes para a realocação estratégica dos equipamentos e a integração de intervenções de engenharia que priorizem a mobilidade ativa e o conceito de Sistemas Seguros. Com isso, a pesquisa oferece subsídios técnicos para o planejamento urbano, visando transformar a gestão da segurança viária em um instrumento de preservação da vida e promoção da equidade socioespacial.

Palavras-chave: Sinistros de trânsito; Geotecnologias; Mobilidade urbana; Cidades médias; Fiscalização Eletrônica; Segurança viária.

ABSTRACT

This study analyzes the spatial distribution and temporal dynamics of traffic accidents in Juiz de Fora (MG), Brazil, between 2018 and 2023, aiming to evaluate the effectiveness of electronic enforcement in promoting safer and more sustainable urban mobility. The research is based on a quantitative and geospatial approach, utilizing official data processed within a Geographic Information Systems (GIS) environment to identify critical points (hotspots) through Kernel Density Estimation. The study investigates the correlation between the high incidence of accidents and the structural challenges of a medium-sized city, such as accelerated vehicle fleet growth and the precariousness of public transport—factors that reinforce dependence on individual motorized transport within a radial road network configuration. The analysis of speed camera effectiveness was based on a comparative "before-and-after" evaluation of device installation, verifying the actual impact on record reduction and changes in driver behavior. The results reveal that while electronic enforcement shows positive outcomes in high-visibility axes, territorial mismatches persist where isolated speed control proves insufficient. In conclusion, the study proposes guidelines for the strategic relocation of equipment and the integration of engineering interventions that prioritize active mobility and the Safe Systems concept. Consequently, the research provides technical support for urban planning, aiming to transform road safety management into a tool for life preservation and the promotion of socio-spatial equity.

Keywords: Road traffic crashes; Geotechnologies; Urban Mobility; Medium-sized cities; Eletronic control; Road safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Região de Influência do Arranjo Populacional de Juiz de Fora/MG - Capital Regional B.....	15
Figura 2. Gráfico de relação velocidade x sobrevivência em atropelamentos.....	26
Figura 3. Tripé dos “Três E’s” da Engenharia de Tráfego	29
Figura 4. Esquema do Sistema de Tráfego.....	31
Figura 5. Processos realizados durante a realização da tarefa de condução	31
Mapa 1. Malha urbana de Juiz de Fora / MG	16
Mapa 2. Mapa de localização dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2023	54
Mapa 3. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2023.....	56
Mapa 4. Análise Hotspot Macro dos Sinistro de Trânsito em JF - 2023.....	58
Mapa 5. Evolução Espaço-Temporal da Densidade de Sinistros na RP Centro (2019, 2021 e 2023).	59
Mapa 6. Comparativo de Sinistros de Trânsito Pré/Pós instalação de um dos Radares em JF	61
Mapa 7. Desempenho dos Radares em Juiz de Fora	67
Mapa 8. Sobreposição da Rede de Radares à Densidade Kernel de Sinistros em JF (2019).....	69
Mapa 9. Análise Fiscalização Eletrônica - Deusdedith Salgado (2019/2023)	71
Mapa 10. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2018	81
Mapa 11. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2019	82
Mapa 12. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2020	83
Mapa 13. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2021	84
Mapa 14. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2022	85
Gráfico 1. Frota x População em JF (2010-2023)	45

Gráfico 2. Demanda Transporte Coletivo Urbano (TCU) x Frota de Veículos em JF	46
Gráfico 3. Frota Predominante em Juiz de Fora (2023)	47
Gráfico 4. Evolução dos sinistros de trânsito em JF (2018-2023)	48
Gráfico 5. Evolução mensal das ocorrências de Trânsito em JF (2018-2023)	49
Gráfico 6. Perfil dos sinistros por dia da semana em JF (2018-2023).....	50
Gráfico 7. Padrões horários de sinistros de trânsito em JF (2018-2023)	51
Gráfico 8. Principais tipos de sinistros de trânsito em JF (2018-2023).....	52
Gráfico 9. Principais causas presumidas de ocorrências de Trânsito em JF (2018-2023)	52
Gráfico 10. Localização espacial de sinistros de trânsito por bairros em JF (2018-2023)	57
Gráfico 11. Vias com maior frequência de sinistros em JF (2018-2023)	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da Frota Predominante de Juiz de Fora em 10 anos.....	46
Tabela 2. Tipos de veículos envolvidos em sinistros de trânsito em Juiz de Fora	47
Tabela 3. Matriz de Desempenho Colorimétrica dos Radares (Região Central)	63
Tabela 4. Tendências de Desempenho e Comportamento (Região Central)	64
Tabela 5. Matriz de Desempenho Colorimétrica dos Radares (Demais Regiões).....	64
Tabela 6. Tendências de Desempenho e Comportamento (Demais Regiões)	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KDE	Kernel Density Estimation
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
MBST	Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PIEV	Perception, Identification, Emotion and Volition
PJF	Prefeitura de Juiz de Fora
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana
PVT	Projeto Vidas no Trânsito
REDS	Registros de Evento de Defesa Social
REGIC	Região de Influência das Cidades
SENATRAN	Secretaria Nacional de Trânsito
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
VLT	Veículo Leve Sobre Trilhos
WRI	World Resources Institute

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETO DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVO GERAL	19
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Mobilidade e Planejamento Urbano	20
2.2	Sinistros de Trânsito: conceitos e debates.....	23
2.3	Medidas de Engenharia de Tráfego e Educação Viária	28
2.4	Fiscalização Eletrônica: Fundamentação, Eficácia e Gestão do Risco	33
2.5	Geoprocessamento e Análise Espacial Aplicada à Segurança Viária.....	36
3	METODOLOGIA	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	O Cenário da Motorização e a Retração da Mobilidade Coletiva.....	45
4.2	Série Histórica e Padrões Temporais da Sinistralidade	48
4.3	Sazonalidade, Dias e Horários Críticos.....	49
4.4	Tipologia e a Crítica aos Registros de Eventos de Defesa Social (REDS) ..	51
4.5	Análise Espacial: A Centralidade do Risco e <i>Hotspots</i>	53
4.6	Eficácia da Fiscalização Eletrônica	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana, em sua essência contemporânea, transcende a simples logística de fluxos e deslocamentos técnicos. Ela deve ser compreendida, primordialmente, como o resultado da interação dos deslocamentos de pessoas e bens entre si e com a própria cidade. Segundo as diretrizes do Ministério das Cidades (2006), o conceito de mobilidade urbana vai muito além do mero deslocamento de veículos ou do conjunto de serviços implantados para suportar tais movimentos. Pensar a mobilidade urbana exige um esforço intelectual e prático que ultrapassa o tratamento isolado das questões de transporte e trânsito, focando na vida urbana em sua totalidade e na complexidade das relações sociais que nela se desenvolvem.

No entanto, a aplicação dessa visão integrada enfrenta barreiras históricas e estruturais no contexto brasileiro. Essa conjuntura é particularmente crítica nas cidades de médio porte que, embora sustentem contingentes populacionais expressivos e dinâmicas de fluxo análogas às das grandes metrópoles, frequentemente sofrem com a escassez de recursos e com a carência de sistemas de transporte de massa modernos e de alta capacidade. Nestes centros, a mobilidade torna-se o reflexo de um modelo de desenvolvimento e de um planejamento desarticulado, que muitas vezes se mostra insuficiente para acompanhar o ritmo de crescimento real do tecido urbano. Essa defasagem favorece a consolidação de núcleos informais e o fenômeno da dispersão urbana, gerando uma periferação descontínua.

À medida que a cidade se espraia, essa população periférica passa a exercer uma alta demanda por infraestrutura básica e, principalmente, por transporte público regular. A incapacidade do Estado em responder a esse crescimento em tempo hábil reproduz consequências cíclicas, potencializando desigualdades socioespaciais, exclusão social e impactando diretamente na segurança viária das franjas urbanas, onde o desenho das vias e a fiscalização tardam a se consolidar diante da priorização histórica dada à fluidez motorizada individual (VASCONCELLOS, 2012) em detrimento da justiça socioespacial (ROLNIK, 2017). O desafio que se impõe ao planejamento urbano contemporâneo reside em equilibrar a dinâmica de crescimento territorial com o acesso efetivo aos direitos urbanos, garantindo que o sistema viário

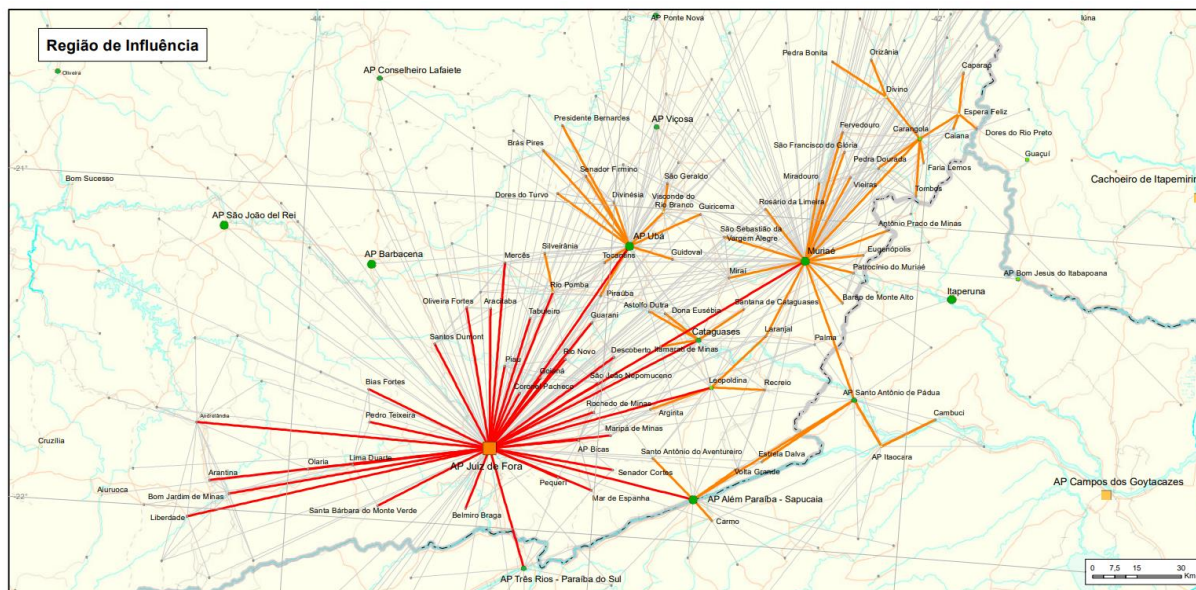
não seja apenas um corredor de passagem, mas um espaço de convivência que garanta segurança e dignidade a todos os seus usuários.

Neste cenário de complexidade, o município de Juiz de Fora (MG) surge como um objeto de estudo privilegiado para a compreensão dos desafios da mobilidade nas cidades médias. Conforme postula Sposito (2001), as cidades médias não se definem apenas pelo seu porte demográfico, mas, fundamentalmente, pelas funções de intermediação que desempenham na rede urbana. Elas atuam como nós estratégicos e intermediários entre os grandes centros metropolitanos e os pequenos municípios, exercendo influência regional significativa por meio da oferta de bens e serviços especializados em setores como comércio, saúde, educação superior e logística.

A inserção de Juiz de Fora nessa rede urbana, conforme os parâmetros estabelecidos pelo estudo das Regiões de Influência das Cidades (REGIC) do IBGE (2020), consolida o município na categoria de Capital Regional B - 2B (Figura 1). Na lógica do ordenamento territorial, essa classificação significa que a cidade atingiu um patamar de centralidade onde sua capacidade de atração e comando transcende os limites político-administrativos locais. Posicionada estrategicamente entre os polos metropolitanos de Belo Horizonte e Rio de Janeiro, a cidade exerce influência direta sobre 84 municípios da Zona da Mata mineira e de parte do estado do Rio de Janeiro, atendendo a uma população regional que ultrapassa um milhão de habitantes e que depende diretamente de sua infraestrutura.

Essa condição de Capital Regional B impõe uma dinâmica de fluxos que constitui um elemento estrutural para a compreensão da complexidade de sua mobilidade e, conseqüentemente, da distribuição espacial dos seus sinistros de trânsito. A concentração de serviços de alta complexidade, ancorados pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), centros hospitalares de referência regional e um comércio atacadista e varejista especializado, gera movimentos pendulares diários de caráter massivo. Diariamente, milhares de veículos particulares, vans de transporte de pacientes e ônibus intermunicipais adentram o perímetro urbano através de eixos estruturantes. Cria-se, portanto, um cenário de severo adensamento veicular onde o tráfego local, colide no tempo e no espaço com o fluxo flutuante de caráter regional.

Figura 1. Região de Influência do Arranjo Populacional de Juiz de Fora/MG - Capital Regional B

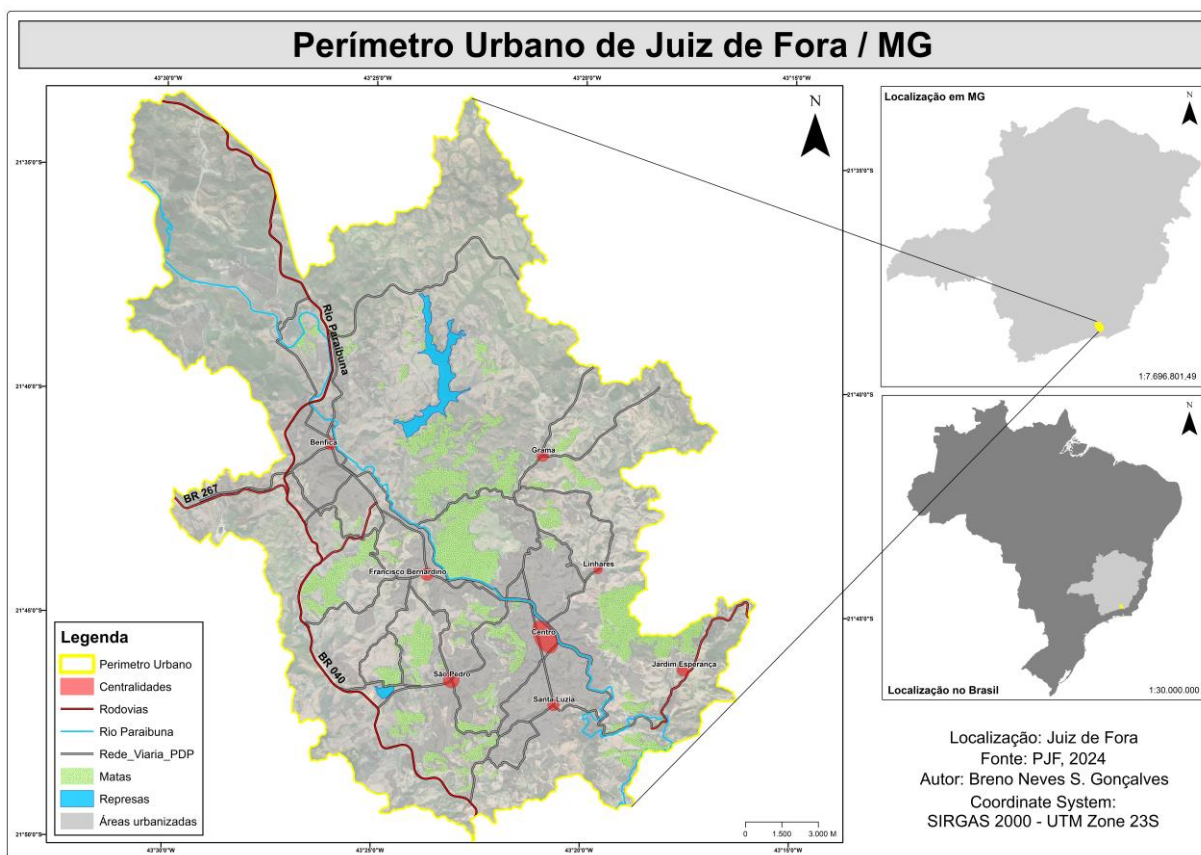


Fonte: IBGE, 2020.

Essa demanda de escala regional pressiona uma infraestrutura interna cujo desenho é severamente limitado pela natureza. A configuração urbana de Juiz de Fora é intrinsecamente condicionada por seu relevo acidentado de "mares de morros" e pela ocupação histórica dos fundos de vale. Desde o século XIX, a cidade estruturou-se a partir de um eixo longitudinal norte-sul, moldado pela atuação conjunta e paralela de dois agentes estruturantes: o Rio Paraibuna e a Estrada de Ferro Central do Brasil. Conforme demonstra Machado (2023), o traçado ferroviário apropriou-se da topografia favorável do vale, espelhando o curso do rio e estabelecendo a "espinha dorsal" que orientou a expansão física do município.

Posteriormente, esse corredor natural e técnico foi consolidado pelas principais rodovias e avenidas arteriais existentes hoje, como as Avenidas Barão do Rio Branco, Brasil e Presidente Juscelino Kubitschek, que reforçaram essa orientação linear. Essa configuração territorial, bem como os elementos estruturantes que definem o perímetro urbano de Juiz de Fora, podem ser observados no Mapa 1.

Mapa 1. Malha urbana de Juiz de Fora / MG



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Essa formação histórica resultou em uma estrutura de ocupação radial-concêntrica, caracterizada pela convergência massiva de fluxos para um núcleo central denso e pulsante. Como destaca Corrêa (2002), estruturas radiais tendem a concentrar a mobilidade no núcleo da cidade, dificultando a integração interbairros e aprofundando as desigualdades de acesso. Nas últimas décadas, essa morfologia foi tensionada por uma urbanização difusa, com o surgimento de novos vetores de expansão, na região da Cidade Alta, RP Nordeste e Salvaterra por exemplo, que se espraiam de forma desarticulada do núcleo original, frequentemente desprovidos de infraestrutura adequada para modais ativos ou transporte público eficiente, acaba por prejudicar as populações de menor renda com distâncias maiores e tempos de deslocamento elevados (SANTOS; SILVEIRA, 2001).

O resultado direto dessa configuração é a consolidação de uma lógica centrada no veículo individual. Juiz de Fora enfrenta um processo histórico de precarização do transporte coletivo por ônibus (o único modo rodoviário de média capacidade

disponível na cidade para o transporte de passageiros), somado à topografia acidentada, incentiva a adoção do automóvel particular. Dados da SENATRAN (2024) e do Censo 2022 (IBGE) revelam um cenário alarmante, com uma frota que ultrapassa os 300.000 veículos para uma população de aproximadamente 540.000 habitantes, o município apresenta um índice de cerca de 1 veículo para cada 1,79 habitantes. Esse adensamento veicular, em uma malha viária de topografia complexa e estrutura radial, gera gargalos crônicos e um ambiente hostil aos usuários vulneráveis.

A intensificação dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora emerge, portanto, como a expressão mais trágica desse modelo de urbanização e mobilidade. A dispersão urbana, o crescimento desenfreado da frota e a priorização sistemática do automóvel convertem a segurança viária em uma questão sistêmica, e não meramente de conduta individual. Diante desse quadro, a fiscalização eletrônica de velocidade apresenta-se como uma das principais ferramentas de intervenção do poder público municipal. Amparada pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e pelas resoluções do CONTRAN, a instalação de radares fixos visa mitigar o risco em pontos críticos, forçando a adequação do comportamento dos condutores aos limites de sobrevivência do corpo humano, conforme preconiza a abordagem do Sistema Seguro (*Safe System*).

Entretanto, a eficácia dessas medidas e a lógica espacial de sua implantação são frequentemente alvo de questionamentos sociais. Torna-se imperativo, portanto, avaliar se tais dispositivos estão estrategicamente posicionados nos locais de maior criticidade e se, de fato, contribuem para a redução dos sinistros no território.

Isto posto, esta dissertação propõe-se a analisar a política de segurança viária em Juiz de Fora sob a ótica do Geoprocessamento. Utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e técnicas de Densidade de Kernel (KDE), esta pesquisa mapeará a distribuição espaço-temporal dos sinistros de trânsito no período de 2018 a 2023, visando transformar dados brutos em inteligência geográfica aplicada à preservação da vida.

1.1 OBJETO DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como objeto de pesquisa a análise espacial dos sinistros de trânsito ocorridos em Juiz de Fora (MG), a partir da identificação de padrões de distribuição e recorrência desses eventos, com foco na análise da eficácia das medidas preventivas adotadas (radares). Através da utilização de Sistemas de Informações Geográficas é possível mapear, visualizar e interpretar áreas de maior criticidade viária, possibilitando uma leitura mais precisa dos territórios urbanos onde os sinistros se concentram. Para Salles (2020, p.20),

A espacialização dos acidentes de trânsito pode ser uma ferramenta essencial na redução e prevenção de agravos de trânsito “por fornecer subsídios para o planejamento e para a execução de políticas públicas capazes de aumentar sua eficácia e eficiência.”

A escolha por Juiz de Fora se justifica por ser uma cidade de médio porte com estrutura urbana complexa, marcada por um traçado radial histórico, relevo acidentado e processo de urbanização dispersa. Esse processo de dispersão urbana do município se tornou mais evidente nas últimas décadas. De acordo com Geraldo (2014, p.117),

No período capitalista liberal as grandes indústrias estavam situadas no Centro e no seu limite, no período fordista houve a expansão industrial para o bairro Fábrica e outros da Zona Norte. No atual momento a dispersão das atividades tornou-se mais evidente, sobretudo, pela concentração na periferia geográfica.

O município apresenta significativa dependência do transporte individual, o que contribui para os desafios de mobilidade e segurança viária, reforçados por índices expressivos de sinistros de trânsito. A alta circulação de trabalhadores nas áreas urbanas é uma variável importante para compreender a predominância do transporte individual. Como explica Villaça (2001, p. 21),

A estruturação do espaço intra-urbano é dominada pelo deslocamento do ser humano, enquanto portador da mercadoria força de trabalho ou enquanto consumidor (mais do que pelo deslocamento das mercadorias em geral ou do capital constante). Nesses deslocamentos, não há espaço para as comunicações ou para o transporte da energia.

A proposta inicial de delineamento do estudo é trabalhar com os limites do perímetro urbano do município, pois é principalmente no sistema urbano que a cidade pulsa e expressa diariamente suas relações humanas, refletindo, através de sua autorregulação, o antagonismo entre ordem e caos.

Dessa forma, o trabalho busca refletir sobre a mobilidade urbana em Juiz de Fora a partir da articulação entre sua morfologia urbana, os processos de expansão periférica e a ocorrência dos sinistros de trânsito, compreendendo-os como fenômenos socioespaciais interligados. Por meio da análise de dados históricos, pretende-se investigar áreas críticas e avaliar de forma indireta a eficácia de dispositivos de fiscalização eletrônica, contribuindo com diretrizes para um planejamento urbano mais seguro, justo e sustentável.

A relevância do estudo reside na possibilidade de fornecer subsídios técnicos e espaciais para políticas públicas de mobilidade mais equitativas, especialmente em cidades médias, onde os desafios de circulação, uso do solo e estrutura viária exigem estratégias integradas de gestão e segurança no trânsito.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia da fiscalização eletrônica de trânsito entre os anos de 2018 e 2023, a fim de subsidiar estratégias para a redução dos sinistros e a promoção de uma mobilidade urbana mais segura e sustentável.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear e caracterizar os sinistros de trânsito em Juiz de Fora, com a identificação de pontos críticos (*hotspots*);
- Analisar a relação entre o crescimento da frota de veículos, a baixa adesão ao transporte coletivo e a incidência de sinistros de trânsito;
- Analisar a eficácia dos radares de fiscalização eletrônica implantados no município, verificando a eventual redução dos sinistros após sua instalação;
- Propor diretrizes para a realocação estratégica de dispositivos de fiscalização eletrônica, com base no evidenciado, visando à redução dos sinistros e à promoção da mobilidade ativa, mais segura e acessível.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOBILIDADE E PLANEJAMENTO URBANO

A mobilidade urbana tem se tornado uma das questões centrais nos debates sobre o planejamento das cidades brasileiras. Esse protagonismo é acentuado em cidades classificadas como médias, como Juiz de Fora, onde as dinâmicas de crescimento impõem desafios constantes à gestão do espaço. Segundo Magagnin e Silva (2008), o conceito de mobilidade pode ser entendido como um atributo relacionado aos deslocamentos realizados por indivíduos nas suas atividades essenciais, como estudo, trabalho, lazer e outras. Sob essa ótica, a capacidade de deslocamento de pessoas e mercadorias não é apenas uma questão funcional ou logística, mas representa também um reflexo direto das formas como o espaço urbano é produzido, ocupado e apropriado.

É comum, em análises menos rigorosas, que o termo mobilidade seja tratado como sinônimo de Transporte, o que acaba esvaziando seu sentido sistêmico. Para o planejamento urbano, essa distinção é vital. Mobilidade não se resume a ter um meio de deslocamento, mas sim à existência de um sistema de possíveis modos de transporte que seja, simultaneamente eficiente e seguro.

Para aprofundar essa distinção, recorre-se à definição do professor D'Agosto (2015),

Transporte é o deslocamento de uma massa, constituída por pessoas ou cargas (produtos, bens, resíduos etc.), de um lugar ao outro do espaço. Esse deslocamento ocorre ao longo de um percurso e consome determinada quantidade de recursos como, por exemplo, um período de tempo e uma quantidade de energia, responsável pela ação da força exterior (força motriz) que promove o deslocamento.

Enquanto o transporte foca no fenômeno físico e econômico do deslocamento, a mobilidade foca na condição desse deslocamento e na capacidade de acesso que o sistema provê ao cidadão.

O transporte pode se realizar por cinco modos principais: rodoviário, ferroviário, aquático, dutoviário e aéreo. No contexto intraurbano de Juiz de Fora, o modo rodoviário apresenta-se como a única alternativa disponível para o deslocamento cotidiano da população. Diante dessa exclusividade modal, torna-se fundamental a definição e classificação do modo rodoviário, que se distingue pelos meios utilizados:

1. **Transporte Ativo:** Deslocamentos realizados por propulsão humana, como o andar a pé e o uso da bicicleta.
2. **Transporte Coletivo:** Sistemas de transporte público, como ônibus e, em cenários de maior desenvolvimento, trens, metrô e veículos leves sobre trilhos (VLT's).
3. **Transporte Individual Motorizado:** Automóveis particulares e motocicletas.

A escolha e a disponibilidade desses modos e de segmentos dentro do modo rodoviário determinam o nível de acesso e a qualidade da mobilidade em uma cidade. No entanto, essa escolha não é puramente individual, ela é condicionada pela renda. Villaça (2001) aponta que a renda estabelece um elemento de diferenciação drástico no acesso à cidade. Enquanto famílias de baixa renda utilizam seus escassos recursos para acessar o transporte coletivo, a classe média dedica uma parcela elevada de seu orçamento ao uso e manutenção do automóvel particular, consolidando padrões de viagens distintos e desiguais.

Nesse contexto, a mobilidade expressa as desigualdades socioespaciais, revelando as contradições entre a lógica da expansão urbana e o acesso efetivo aos direitos urbanos, como transporte de qualidade, segurança e inclusão territorial. A geógrafa e urbanista Raquel Rolnik (2017) ressalta que as políticas públicas que priorizam o automóvel reforçam a segregação, pois tornam o acesso ao espaço urbano mais custoso e restrito para as populações de menor renda.

Apesar da clareza desses conceitos, o planejamento urbano brasileiro historicamente subverteu a lógica da prioridade. A Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU - Lei 12.587/2012) estabelece uma diretriz clara: a priorização do transporte não motorizado sobre o motorizado e do coletivo sobre o individual. No entanto, o paradigma rodoviarista e centrado em automóveis individuais ainda prevalece. Eduardo Vasconcellos (2012), argumenta que o planejamento urbano voltado para a fluidez do tráfego, e não para a qualidade de vida, ignora as necessidades dos usuários mais vulneráveis e perpetua a dependência insustentável do automóvel.

O planejamento urbano é a ferramenta fundamental para garantir que a mobilidade não seja apenas eficiente, mas também equitativa. As estratégias para mitigar conflitos e promover a fluidez encontram respaldo em legislações municipais

específicas que, se aplicadas de forma integrada, moldam a dinâmica da cidade. Essas legislações são norteadas pelo Plano Diretor, instrumento básico da política de desenvolvimento urbano que integra o uso do solo, a habitação e a mobilidade, em Juiz de Fora regido pela Lei Complementar Nº 82, de 03 de julho de 2018.

Dentre os instrumentos de gestão que impactam diretamente a mobilidade, destacam-se:

- **Lei do Perímetro Urbano:** Crucial para delimitar as áreas de expansão urbana e separá-las das áreas rurais. Ao conter o espraiamento, essa lei facilita a viabilidade do transporte coletivo e reduz as distâncias de viagem.
- **Lei de Parcelamento do Solo:** Responsável por estabelecer as diretrizes da subdivisão da terra em lotes. Ela define a abertura de novas vias e a geometria da malha urbana, determinando onde o transporte poderá circular.
- **Lei de Uso e Ocupação do Solo:** Estabelece parâmetros de utilização do espaço. Ao equilibrar a densidade e o tipo de atividade (residencial, comercial, industrial), essa lei influencia diretamente a demanda por viagens.
- **Código de Posturas:** Define as condições de convívio e a utilização dos espaços públicos, como as calçadas. Sua contribuição para a mobilidade ativa é vital, pois estabelece critérios para a implantação de mobiliário urbano, postes e a acessibilidade dos passeios.

Quando o crescimento das cidades ignora esses instrumentos, o resultado é a fragmentação territorial. O crescimento não planejado facilita a criação de áreas e bairros informais onde o valor da terra é mais baixo e os equipamentos públicos são inexistentes. Nesse cenário, a periferia da cidade cresce de forma desordenada o chamado "espraiamento urbano".

Essa população marginalizada territorialmente cria uma alta demanda por infraestrutura básica e, principalmente, por transporte público em locais de difícil operação. O espraiamento aumenta as distâncias e o tempo de viagem, comprometendo a mobilidade de forma sistêmica. Esse processo retroalimenta um ciclo de dificuldades: a ineficiência do sistema gera exclusão social, o que, por sua vez, acentua a dependência de soluções individuais precárias ou motorizadas, culminando em congestionamentos e no aumento do risco de sinistros.

Nesse contexto, a mobilidade deixa de ser um direito, como defendido por Lefebvre (2008), e passa a ser uma mercadoria de acesso restrito, aprofundando as desigualdades denunciadas por Harvey (2015) em sua crítica à urbanização capitalista.

Ao tratar a mobilidade como um direito, a cidade deve prover meios de deslocamento eficientes, acessíveis e integrados, possibilitando que cada indivíduo tenha condições reais de participar ativamente da vida urbana e de usufruir dos espaços e oportunidades que a cidade oferece.

2.2 SINISTROS DE TRÂNSITO: CONCEITOS E DEBATES

Como discutido anteriormente, a desarticulação entre o uso do solo e o sistema de transportes não gera apenas ineficiência logística, ela produz riscos. A intensificação dos sinistros de trânsito emerge como a manifestação mais trágica das fragilidades da mobilidade urbana nas cidades. O sinistro não deve ser analisado como um evento isolado ou puramente aleatório, mas como o resultado de um modelo de urbanização que prioriza a fluidez motorizada em detrimento da segurança dos usuários.

Nos últimos anos, os sinistros de trânsito têm se consolidado como um dos graves problemas urbanos no Brasil e no mundo, não apenas pelos impactos sociais e econômicos que acarretam, mas também pela sua recorrência e previsibilidade (FERRAZ; RAIA JR, 2012). Entre os diferentes fatores que explicam essa consolidação, pode-se citar como exemplo a expansão urbana acelerada. Leão (2024), ao estudar a cidade de Uberlândia, que passou por rápido crescimento urbano, destaca que essa dinâmica pode influenciar nos sinistros de trânsito. Segundo o autor, essa expansão

Muitas vezes marcada pela falta de planejamento urbano adequado, pode levar a um aumento nos sinistros de trânsito. A expansão descontrolada contribui para a complexidade do trânsito ao aumentar o número de elementos como seres humanos, veículos e as próprias vias/ambientes de trânsito, intensificando os riscos e as exigências sobre a infraestrutura de transporte existente. (LEÃO, 2024, p. 3)

De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) de Juiz de Fora, em 1998, apenas na Avenida Rio Branco, principal eixo viário da cidade,

circulavam cerca de 40 mil veículos diariamente, sendo que a frota municipal naquele ano era de 115 mil veículos, menos da metade da atual (PJF, 2004).

Historicamente, os eventos negativos no trânsito foram rotulados como acidentes, termo que carrega uma conotação de fatalidade, acaso ou evento fortuito. No entanto, a evolução do debate acadêmico e técnico promoveu uma mudança terminológica fundamental. Atualmente, a norma técnica NBR 10.697 consolida o uso do termo "sinistro de trânsito", sendo definido pelas normas brasileiras (ABNT, 2020) como:

Todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga, e/ou em lesões a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público.

Esse termo vem sendo adotado em substituição à noção de acidente de trânsito por refletir de maneira mais precisa a natureza desses eventos, ao reconhecer que, na maioria dos casos, eles não são fortuitos ou inevitáveis, mas resultam de falhas sistemáticas no planejamento urbano, na gestão do tráfego e no comportamento dos condutores. Trata-se, portanto, de uma mudança que não é meramente semântica, mas conceitual, pois ao abandonar o termo acidente admite-se que tais ocorrências são previsíveis, passíveis de análise e, sobretudo, evitáveis.

Conforme enfatiza a WRI Brasil (2021), os acidentes de trânsito não deveriam ser considerados acidentes, pois,

A velocidade, o desenho das vias, as leis e as condições de mobilidade disponíveis para as pessoas contribuem decisivamente para os riscos de uma colisão ou atropelamento ocorrer. Apesar disso, a mídia, os governos, as políticas públicas, o meio jurídico e a sociedade em geral habituaram-se a chamar esses eventos de acidentes, como se fossem fortuitos e aleatórios, mas não são. (WRI Brasil, 2021)

Portanto, o sinistro é o sintoma de uma falha sistêmica na gestão do espaço viário, e não um simples "golpe de azar" do condutor.

Nos últimos anos, tem se formado um consenso mundial de que esses eventos podem ser evitados, diante do montante de pesquisa em torno dos fatores de risco e os caminhos para mitigá-los, daí a troca da expressão por diversos países. De acordo com estudo do WRI Brasil (2021)

A responsabilidade pela segurança viária é compartilhada por quem utiliza, projeta, implementa, mantém e fiscaliza o espaço viário. Em todas essas etapas, há estratégias para mitigar as chances de um sinistro ocorrer e

diminuir suas consequências negativas. Pessoas e veículos, eventualmente, vão falhar. Sistemas seguros são projetados para 'perdoar' essas falhas.

A norma técnica supracitada (NBR 10.697), também é responsável por definir os termos técnicos e classificações utilizados na preparação e execução de pesquisas relativas a sinistros de trânsito e na elaboração de relatórios estatísticos e operacionais. Esses termos definem a natureza dos veículos envolvidos, a dinâmica do ocorrido, a presença de vítimas, tipo e grau de lesão, fatores contribuintes para ocorrência dos sinistros etc. (ABNT, 2020).

Alguns dos exemplos mais comuns de sinistros de trânsito são: colisões entre veículos, choque com objetos fixos, atropelamentos, tombamentos e capotagens. Dentre as possibilidades de detalhamento, pode-se ter: colisões traseiras, colisões frontais, abalroamentos, colisão com ciclista, entre outros.

Os sinistros de trânsito têm um impacto significativo na sociedade, tanto em termos de custos econômicos, quanto humanos. Todos os anos, milhões de pessoas ficam feridas ou mortas nestes sinistros em todo o mundo, tornando-se um problema urgente de saúde pública e segurança. Salles (2020, p.19) afirma que,

Os custos econômicos e sociais dos acidentes de trânsito são elevados e decorrem, entre outros fatores, das despesas médico-hospitalares; da perda de capacidade de produção do acidentado (temporária ou definitivamente); dos danos causados aos veículos, ao mobiliário urbano e à propriedade de terceiros; das despesas previdenciárias; de processos judiciais; de resgate de vítimas e remoção de veículos, e do impacto familiar pelo ente acidentado.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), os sinistros de trânsito resultam em aproximadamente 1,35 milhão de mortes e 50 milhões de feridos anualmente, muitos dos quais sofrem sequelas ou desenvolvem deficiências de longo prazo, fatores que geram custos elevados para os sistemas de saúde, previdência e assistência social, além de comprometerem a qualidade de vida das vítimas e suas famílias (ONSV, 2019).

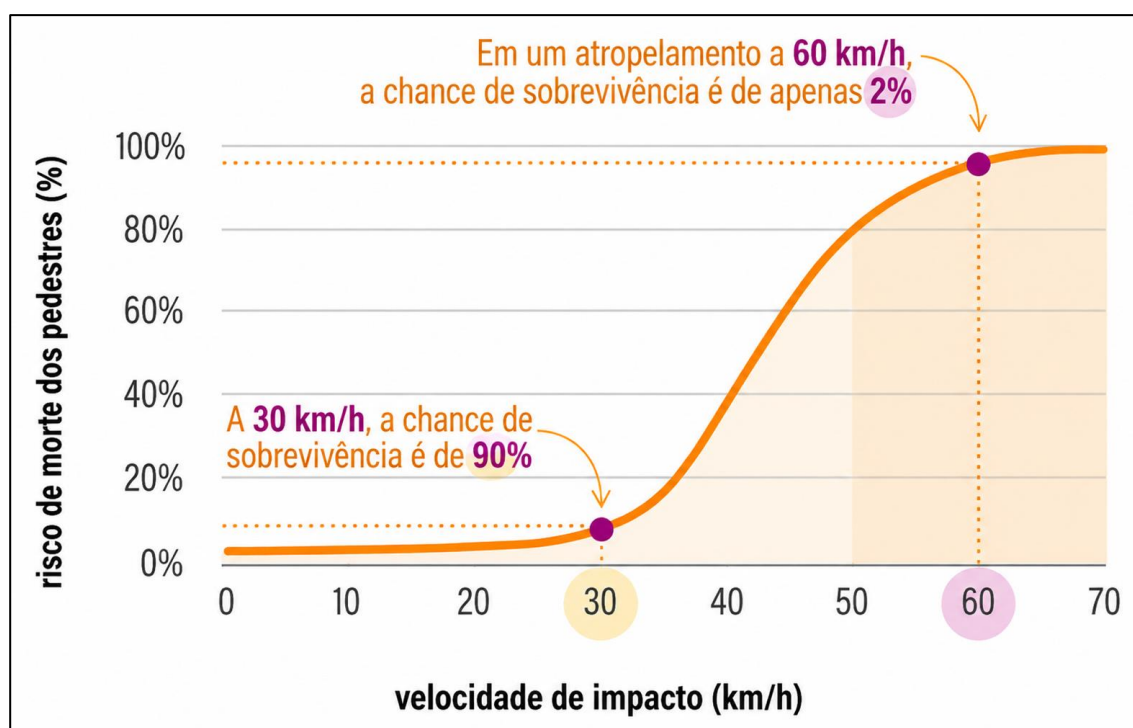
Os motivos pelos quais são desencadeados os sinistros de trânsito e a consequente ocorrência de vítimas, podem estar relacionados a diversas questões, tais como falhas humanas, desrespeito às normas de trânsito e condições climáticas adversas. Dentre as principais, de maneira geral, pode-se citar: negligência, imprudência e imperícia. No que se refere às sub-causas, incluem-se o excesso de velocidade associado a falta de atenção, fadiga, uso de celular, consumo de álcool e

drogas, não utilização de capacete, cinto de segurança e cadeirinha para crianças, veículo com baixa segurança, entre outros.

Dentre todas as variáveis supracitadas que influenciam a segurança viária, a velocidade é, consensualmente, a mais crítica. Pois é o principal fator de risco para mortes e lesões no trânsito, a velocidade contribui tanto para a chance de um sinistro de trânsito ocorrer, quanto para sua severidade. Em velocidades mais altas, motoristas têm menos tempo para reagir a eventos inesperados, além de ser um fator intrínseco ao grau de impacto e lesão (Evans, 2004).

Segundo a WRI Brasil (2021) e conforme exemplificado na Figura 2, um atropelamento a 60 km/h equivale a uma queda do sexto andar, com 2% de chance de o pedestre sobreviver. A 30 km/h, a chance sobe para 90%, a mesma de uma queda do segundo andar.

Figura 2. Gráfico de relação velocidade x sobrevivência em atropelamentos.



Fonte: WRI Brasil, 2021

A organização do sistema viário desempenha um papel central na segurança do trânsito. Elementos como a geometria das vias, a qualidade das travessias, o raio

das curvas e a presença (ou ausência) de dispositivos de moderação de tráfego influenciam diretamente na frequência e gravidade dos sinistros.

Nesse contexto, intervenções físicas no espaço urbano têm se mostrado eficazes para reduzir a velocidade dos veículos e melhorar a segurança dos usuários mais vulneráveis (FERRAZ; RAIA JR, 2012). Medidas como a implantação de extensões de calçada, lombadas e faixas elevadas para pedestres, reforço da sinalização horizontal e vertical, urbanismo tático, além do uso de semáforos inteligentes e radares de velocidade, são amplamente reconhecidas como estratégias eficientes para mitigar riscos e prevenir sinistros.

Curvas com raios muito abertos, por exemplo, permitem manobras em alta velocidade e aumentam os riscos para pedestres e ciclistas. Ao contrário, o uso de extensões de calçada nas esquinas e a introdução de elementos físicos que estreitam a via contribuem para a redução da velocidade dos veículos, ao mesmo tempo em que reduzem o tempo e a distância de travessia dos pedestres.

De acordo com o DNIT (2011, p.26),

Nos dois meses finais de 2000 e durante todo o ano de 2001, com relação a 40 redutores então implantados em estradas federais do estado de Minas Gerais, obteve-se uma redução de 933 acidentes com mortos, para um benefício de US\$ 103.194.465. A quantidade total de acidentes evitados foi da ordem de 62%, com um benefício de US\$ 560.005.950.

Estudos como esse demonstram como a readequação de velocidades para limites mais baixos e compatíveis com as características de um local pode salvar muitas vidas.

Atualmente como resposta a este cenário, o planejamento moderno da segurança viária adota a filosofia do Sistema Seguro (*Safe System*), que fundamenta o movimento global Visão Zero. Criada na Suécia na década de 1990 e adotada por diversas metrópoles, essa abordagem parte de um princípio ético inegociável: nenhuma morte no trânsito é aceitável (ITF, 2016).

Segundo o WRI Brasil (2021) que é o principal responsável por institucionalizar esses conceitos para a realidade brasileira, o Sistema Seguro baseia-se em pilares que redistribuem a responsabilidade pela segurança:

- **Tolerância ao Erro Humano:** Assume-se que as pessoas cometem falhas e que o sistema (vias, veículos e leis) deve ser projetado para absorver esse erro sem que ele resulte em morte.
- **Responsabilidade Compartilhada:** A segurança não é apenas do condutor, mas também do engenheiro que projeta a via, do gestor que define os limites e do agente que fiscaliza.
- **Velocidade Segura:** O sistema deve impor velocidades que respeitem os limites físicos de sobrevivência do corpo humano.

Essa fundamentação teórica é o que também justifica a implementação da fiscalização eletrônica. Sob a ótica do Sistema Seguro, o radar não é um fim em si mesmo, mas um componente técnico vital para garantir que a velocidade de operação da via permaneça dentro dos limites de segurança, protegendo a vida coletiva contra a imperícia ou negligência individual.

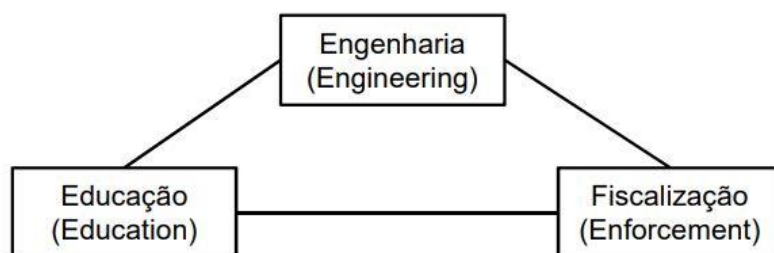
2.3 MEDIDAS DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO E EDUCAÇÃO VIÁRIA

A Engenharia de Tráfego é definida pelo *Institute of Transportation Engineers* (ITE) como o ramo da engenharia que se dedica ao planejamento, ao projeto geométrico e às operações de tráfego em estradas, ruas e rodovias, suas redes, áreas adjacentes e relações com outros modos de transporte (ITE, 2016). O objetivo central dessa área reside em assegurar o deslocamento seguro, eficiente e conveniente de pessoas e mercadorias.

No Brasil, tal premissa é ratificada pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), que delega aos órgãos executivos de trânsito a responsabilidade pelo planejamento e operação viária, estabelecendo a segurança como prioridade máxima (BRASIL, 1997). No contexto das cidades médias, como Juiz de Fora, essa disciplina deixa de ser apenas uma aplicação de fórmulas de fluxo para se tornar uma ferramenta estratégica de gestão do espaço público e de mitigação de riscos no tecido urbano.

A gestão do tráfego urbano baseia-se tradicionalmente no tripé conhecido como os "três E's" da segurança viária (Figura 3): Engenharia (*Engineering*), Educação (*Education*) e Esforço Legal / Fiscalização (*Enforcement*). A integração dessas três frentes é o que permite que uma cidade migre de um modelo puramente reativo para um modelo preventivo (FERRAZ; RAIA JR, 2012).

Figura 3. Tripé dos “Três E’s” da Engenharia de Tráfego



Fonte: Adaptado pelo autor

Na perspectiva técnica, a Engenharia de Tráfego lida com dois conceitos fundamentais que muitas vezes entram em conflito: a Capacidade Viária e o Nível de Serviço. Enquanto a capacidade se refere ao volume máximo de veículos que uma via pode suportar, o nível de serviço mede a qualidade desse fluxo (atrasos, liberdade de manobra e conforto). O desafio do gestor moderno, contudo, é inserir a segurança como a variável mestre dessa equação. Não basta que a via tenha fluidez, é necessário que essa fluidez ocorra sob condições de risco controlado, especialmente em ambientes urbanos densos onde o conflito entre o modal motorizado e o pedestre é constante.

É algo complexo pois, diferentemente da maioria das outras áreas da Engenharia, a Engenharia de Tráfego trata de problemas que não dependem apenas de fatores físicos, mas frequentemente incluem o comportamento humano do motorista e do pedestre e suas inter-relações com a complexidade do ambiente.

As intervenções de engenharia podem ser divididas entre medidas de Abrandamento de Tráfego (*Traffic Calming*) e medidas de Controle de Fluxo. O objetivo é transformar a via em um "ambiente perdoador", onde a geometria e a sinalização induzem o condutor a comportamentos seguros.

Abaixo, detalham-se os principais instrumentos utilizados na gestão viária urbana e regulamentados pelo CTB:

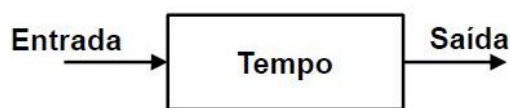
- **Lombadas (Ondulações Transversais):** São dispositivos de deflexão vertical instalados no leito viário para forçar a redução da velocidade em pontos específicos. Sua eficácia reside na resposta física do veículo ao obstáculo, sendo regulamentada por normas rígidas de geometria para evitar danos aos veículos,

ao mesmo tempo em que garante a segurança em travessias ou áreas residenciais.

- **Faixas Elevadas (Travessias Elevadas):** Evolução do conceito de lombada, a faixa elevada nivela a via ao plano da calçada. Mais do que reduzir a velocidade, ela altera a percepção do espaço, priorizando o pedestre ao dar continuidade ao seu trajeto e aumentando a sua visibilidade perante os motoristas.
- **Rotatórias (Interseções Giratórias):** São dispositivos de controle de interseções que substituem semáforos ou cruzamentos diretos. Elas eliminam os pontos de conflito mais graves (colisões frontais e transversais em ângulo reto) e forçam a redução da velocidade pela imposição de uma trajetória circular, promovendo a autorregulação do fluxo.
- **Sinalização Vertical e Horizontal:** A sinalização vertical (placas) e horizontal (pinturas no pavimento, faixas de pedestres, linhas de divisão de fluxo) constitui a linguagem da via. Elas transmitem ordens, advertências e indicações geográficas. A clareza e o estado de conservação dessa sinalização são vitais para reduzir a ambiguidade na tomada de decisão do condutor.
- **Gestão Semafórica:** O controle semafórico é a ferramenta de ordenamento de fluxos conflitantes por excelência. Em cidades médias, a transição de tempos fixos para sistemas inteligentes (semáforos atuados pelo tráfego ou coordenados em "onda verde") permite otimizar a circulação e reduzir gargalos que, indiretamente, provocam comportamentos impacientes e arriscados por parte dos condutores.
- **Fiscalização Eletrônica:** Instrumento tecnológico de monitoramento que atua no cumprimento das normas de velocidade e avanço de sinal. Diferente das medidas físicas, a fiscalização eletrônica atua na psicologia do condutor, estabelecendo a certeza da punição para o descumprimento da norma, sendo um pilar essencial para a manutenção da disciplina viária em grandes corredores.

A eficácia de qualquer medida de engenharia de tráfego é condicionada pela capacidade de resposta do elemento humano. De acordo com Ferraz e Raia Jr. (2007) dentro do sistema viário, o condutor atua como o processador central, operando sob uma lógica de fluxo composta por três estágios fundamentais, conforme exemplificado na Figura 4:

Figura 4. Esquema do Sistema de Tráfego

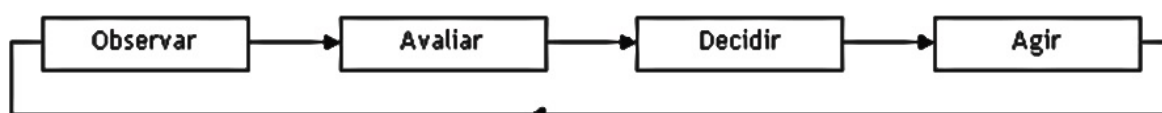


Fonte: Adaptado pelo autor

- **Entrada (Input):** Representa as variações constantes no contexto em que o usuário está inserido, como mudanças na sinalização, presença de pedestres ou obstáculos inesperados.
- **Tempo (Processamento):** É a variável crítica do sistema. Refere-se ao intervalo necessário para que as informações de entrada sejam assimiladas.
- **Saída (Output):** É a ação física propriamente dita (a manobra de frenagem ou desvio) resultante do processamento interno.

Nesta lógica, o tempo não é apenas uma grandeza cronológica, mas a fronteira entre a segurança e o sinistro. Para que uma "Saída" segura seja produzida, o sistema deve garantir ao condutor tempo suficiente para completar o ciclo cognitivo de observar, avaliar, decidir e agir (Figura 5).

Figura 5. Processos realizados durante a realização da tarefa de condução



Fonte: Adaptado pelo autor

Na literatura técnica da engenharia de tráfego, esse tempo de resposta total é dividido em quatro parcelas distintas, conhecidas pela sigla PIEV (*Perception, Identification, Emotion and Volition*), conforme detalhado por Ferraz e Raia Jr. (2007):

1. **Perception (Percepção):** É o estágio inicial onde o estímulo físico atinge os sentidos do condutor (visão ou audição). É o momento do "ver" sem ainda compreender.
2. **Identification (Identificação):** Fase em que o cérebro processa e identifica a natureza do estímulo (ex: identificar se um objeto na via é um obstáculo real).

3. **Emotion ou Judgment (Decisão):** Estágio de julgamento onde o motorista avalia as alternativas e decide a melhor resposta com base em sua experiência e percepção de risco (parar, desviar ou acelerar).
4. **Volition ou Reaction (Reação/Ação):** É a resposta física final, compreende o tempo que o cérebro leva para enviar o comando neuromuscular e o motorista efetivamente acionar o pedal de freio ou girar o volante.

O objetivo primordial de um projeto viário eficiente é reduzir o tempo de PIEV. Quando a engenharia provê sinalização clara, distâncias de visibilidade adequadas e velocidade controlada, ela simplifica a tarefa de condução, garantindo que o motorista tenha margem de segurança suficiente para evitar o sinistro mesmo diante do tempo de reação biológico.

Nesse sentido, a fiscalização eletrônica e as medidas de *Traffic Calming* atuam como salvaguardas desse tempo. Ao garantir que a velocidade de operação da via seja compatível com a capacidade biológica de reação do condutor, essas ferramentas reduzem a distância percorrida durante o tempo de PIEV, transformando o que seria um sinistro inevitável em uma parada segura ou manobra evasiva bem-sucedida.

O planejamento viário não deve ser visto como a instalação isolada de dispositivos, mas como a criação de um sistema coerente de circulação. Para isso, o gestor deve seguir o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (MBST), publicado pelo CONTRAN/Denatran. Este manual é dividido em diversos volumes (Sinalização Vertical de Regulamentação, Advertência, Indicação, Sinalização Horizontal, Dispositivos Auxiliares etc.) e estabelece o padrão nacional que garante que qualquer condutor, em qualquer cidade do país, compreenda as regras da via.

A revisão técnica destes manuais é uma etapa obrigatória de qualquer projeto viário. Ela garante que a distância de visibilidade das placas seja adequada à velocidade da via, que as faixas de pedestres estejam localizadas nos eixos de desejo de caminhada e que a sinalização horizontal tenha a retro refletividade necessária para a condução noturna. Um projeto mal sinalizado é, por definição, um projeto gerador de sinistros.

O limite da engenharia é o comportamento humano. Por mais que a via seja projetada para ser segura, o fator humano ainda é responsável pela vasta maioria dos

sinistros. É aqui que entra a Educação para o Trânsito, prevista como um direito do cidadão pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), a educação viária busca a formação de uma cultura de segurança baseada na compreensão das vulnerabilidades.

Campanhas educativas estimulando o uso de equipamentos de segurança, como capacetes e cinto de segurança, o alerta de perigo do consumo de álcool associado à direção, entre outras campanhas, até a estruturação pedagógica de conteúdo a ser ministrado nos ensinos fundamental e médio. As crianças e jovens de hoje serão os motoristas de amanhã. Esse último item precisa avançar no país, já que a maioria das escolas não aborda a questão nem mesmo de forma transversal ao conteúdo tradicional pedagógico. (CARVALHO, C. H. R., 2020, p. 14)

As campanhas de conscientização, como o "Maio Amarelo", desempenham um papel crucial ao trazer o tema para o debate público. No entanto, a educação viária acadêmica propõe que o aprendizado seja contínuo, inserido desde a formação escolar até a reciclagem de motoristas profissionais. O objetivo é que o usuário compreenda a norma, embasando a necessidade de se respeitar o limite de 30 km/h em áreas escolares ou justificando a preferência de quem já circula na rotatória. Quando o cidadão entende o risco, a aceitação das medidas de engenharia (como os radares) aumenta, reduzindo a resistência política a intervenções necessárias para a preservação da vida.

2.4 FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA: FUNDAMENTAÇÃO, EFICÁCIA E GESTÃO DO RISCO

A fiscalização eletrônica de velocidade representa o ápice da aplicação tecnológica na gestão da mobilidade urbana contemporânea. No contexto das cidades onde o adensamento populacional e o aumento da frota geram conflitos constantes, os dispositivos de controle de velocidade deixam de ser meros instrumentos punitivos para se tornarem componentes vitais de uma política pública de preservação da vida. Conforme apontam Elvik *et al.* (2009), a implementação de sistemas automatizados de controle é uma das intervenções mais eficazes para reduzir o comportamento de risco de forma contínua em toda a malha viária.

A legitimidade da fiscalização eletrônica no Brasil encontra-se solidamente ancorada no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), instituído pela Lei nº 9.503/1997. O

CTB estabelece, em seu Artigo 21, que compete aos órgãos executivos de trânsito dos municípios a responsabilidade de planejar, projetar, regulamentar e operar o trânsito. A fiscalização é, portanto, o exercício do poder de polícia administrativa necessário para garantir o cumprimento das diretrizes de segurança (BRASIL, 1997).

Atualmente, a principal norma que rege a operação de medidores de velocidade é a Resolução CONTRAN nº 798/2020. Esta resolução exige maior transparência e rigor técnico, determinando que a instalação de radares seja precedida obrigatoriamente por um Estudo Técnico que comprove a necessidade do controle de velocidade. Segundo Vasconcellos (2012), esse regramento protege o interesse público, garantindo que a fiscalização ocorra em locais onde o risco é espacialmente comprovado, e não de forma arbitrária.

A justificativa científica para o controle de velocidade reside na física do movimento e do impacto. A fórmula da Energia Cinética (E_c), derivada das leis do movimento de Isaac Newton e aplicada à segurança viária por autores como Leonard Evans (2004) em seu clássico *Traffic Safety*, demonstra que a energia acumulada em um veículo é proporcional ao quadrado de sua velocidade:

$$(E_c = 1/2 mv^2)$$

Desta forma, pequenos incrementos na velocidade geram aumentos exponenciais na energia a ser dissipada no momento da colisão. Como ressalta Evans (2004), se a velocidade de impacto aumenta de 50 km/h para 100 km/h (dobro), a energia destrutiva aumenta quatro vezes, o que correlaciona diretamente a velocidade com a gravidade das lesões e a taxa de letalidade.

Para além da física do impacto, a velocidade altera drasticamente a percepção humana e a capacidade de processamento de informações do condutor. Um dos efeitos fisiológicos mais críticos para a segurança viária é o estreitamento do campo visual, amplamente documentado pelos planejadores Tunnard e Pushkarev (1963).

Os autores demonstraram que, conforme a velocidade aumenta, o campo de visão periférica do condutor se reduz de maneira exponencial. Enquanto a 40 km/h o campo é de aproximadamente 100°, permitindo a detecção de movimentos nas calçadas e margens da via, essa amplitude cai para menos de 40° quando o veículo atinge 100 km/h. Este fenômeno, conhecido como "visão de túnel", compromete diretamente todas as etapas do já abordado tempo de PIEV.

Dessa forma, a imposição de limites de velocidade e a instalação de fiscalização eletrônica em trechos urbanos densos não visam apenas a fluidez, mas a preservação da capacidade sensorial do motorista. Ao garantir que o condutor trafegue em velocidades que permitam um campo visual mais amplo, a engenharia de tráfego atua na prevenção de atropelamentos e colisões transversais.

A literatura acadêmica internacional é consensual quanto à eficácia dos radares. Uma das meta-análises mais citadas na área, conduzida por Rune Elvik (2011) e publicada no *Accident Analysis & Prevention*, demonstra que radares fixos reduzem os sinistros fatais em até 50% em seus locais de instalação.

Um conceito geográfico e técnico fundamental para esta tese é o Efeito Halo (*Halo Effect*). Cunhado inicialmente por pesquisadores como Hauer *et al.* (1982), este fenômeno descreve a influência da fiscalização para além do ponto do radar. O efeito halo espacial refere-se à redução da velocidade que se inicia antes do radar e se mantém após o equipamento. Hauer *et al.* (1982) também demonstra que o comportamento de cautela do condutor se espalha pelo trecho, validando o radar como um instrumento de gestão de área, e não apenas de ponto.

A arrecadação proveniente das autuações é frequentemente alvo de debates. No entanto, o Artigo 320 do CTB estabelece uma vinculação obrigatória da receita, determinando que o montante arrecadado deve ser aplicado exclusivamente em sinalização, engenharia, policiamento, fiscalização e educação de trânsito (BRASIL, 1997).

Academicamente, Vasconcellos (2012) discute que essa estrutura orçamentária permite a sustentabilidade das políticas de mobilidade urbana. Ao reinvestir o valor pago pelo infrator na proteção dos usuários vulneráveis, o poder público cumpre o princípio da responsabilidade compartilhada do Sistema Seguro. A multa, sob este prisma, atua como um mecanismo de internalização de custos sociais, onde o risco gerado pelo excesso de velocidade é convertido em recursos para a melhoria da infraestrutura viária coletiva.

Em suma, a fiscalização eletrônica é uma intervenção técnica fundamentada em evidências. Como defende a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2018) em seu *Global Status Report on Road Safety*, o controle automático de velocidade é uma das "best buys" (intervensões de melhor custo-benefício) para a redução da mortalidade

urbana. Para Juiz de Fora, a utilização desses dispositivos, aliada à análise espacial por meio de SIG, permite que o município saia de uma gestão reativa e avance para um modelo de prevenção baseado no rigor científico e na proteção da vida humana.

2.5 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL APLICADA À SEGURANÇA VIÁRIA

O Geoprocessamento, conforme elucida Zaidan (2017), constitui um ramo de atividades teóricas e computacionais que engloba a coleta, o armazenamento, o tratamento e o processamento de dados georreferenciados para a geração de novas informações espaciais. A característica distintiva dessas informações é o atributo da localização, vinculando cada dado a uma posição específica no globo terrestre por meio de sistemas de coordenadas.

O uso de Geotecnologias na gestão pública transformou radicalmente a maneira como os fenômenos urbanos são compreendidos e administrados. No campo da segurança viária, o Geoprocessamento e a Análise Espacial deixaram de ser ferramentas meramente descritivas para se tornarem a base de Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE). Como argumentam Longley *et al.* (2000), a Ciência da Informação Geográfica permite que o gestor identifique não apenas "onde" os eventos ocorrem, mas também investigue os processos espaciais que os sustentam.

A aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica no setor de transportes, permite a integração de bases de dados heterogêneas, como registros de sinistros, geometria viária, volume de tráfego e localização de dispositivos de fiscalização. Segundo Miller e Shaw (2001), o SIG é fundamental por sua capacidade de lidar com dados estruturados em rede, onde os eventos são restringidos por eixos viários, e não distribuídos livremente no plano.

O georreferenciamento é o primeiro passo técnico essencial nesse processo. Conforme destacam Câmara *et al.* (2004), atribuir coordenadas geográficas precisas a ocorrências permite o cruzamento de informações com as características do entorno urbano. Sem a precisão espacial, as análises estatísticas perdem o contexto geográfico, resultando em diagnósticos superficiais que ignoram por exemplo a influência do desenho viário e da sinalização na ocorrência dos eventos.

Uma das técnicas mais eficazes para a visualização da concentração de ocorrências é o mapeamento de intensidade, popularmente conhecido como "Mapa de Calor", tecnicamente fundamentado na Estimativa de Densidade de Kernel (KDE - *Kernel Density Estimation*). Conforme explicam Câmara *et al.* (2004), a KDE é uma técnica de interpolação não paramétrica que transforma observações pontuais discretas em uma superfície contínua de densidade. Diferente de um simples mapa de pontos, que pode sofrer com a sobreposição visual em áreas densas, a KDE gera um gradiente de probabilidade que permite identificar com maior facilidade o comportamento espacial do risco viário.

Segundo essa perspectiva, o método de Kernel funciona por meio do ajuste de uma função bidimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. O estimador realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um em relação à localização de interesse (Câmara *et al.*, 2004).

A escolha do raio de busca é algo que exige cuidado, de acordo com Câmara *et al.* (2004), a eficácia desse modelo reside no ajuste de dois parâmetros fundamentais:

- **O raio de influência:** define a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla o nível de "alisamento" ou "amaciamento" da superfície gerada. Um raio excessivamente pequeno pode gerar uma superfície descontínua, enquanto um raio muito grande pode tornar a superfície demasiadamente suavizada, ocultando detalhes locais e diluindo a percepção do risco.
- **A função de estimação:** uma função matemática com propriedades de suavização do fenômeno, que dita como o peso do evento decresce à medida que se afasta do centro do raio.

Dessa forma, o estimador de densidade mostra-se extremamente útil para fornecer uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos sinistros de trânsito. Por ser um indicador de fácil interpretação, ele permite visualizar padrões de distribuição e o que a literatura denomina de Pontos Críticos ou Trechos Críticos, permitindo que o gestor visualize de imediato os corredores que exigem intervenção prioritária.

O conceito de Ponto Crítico (*Hotspot*) refere-se a locais que apresentam uma frequência de sinistros significativamente superior à média do sistema. Essa abordagem técnica é o que permite ao gestor público justificar a instalação de um radar em determinado local. Se a estatística espacial comprova a existência de um *hotspot* com alto índice de severidade, a intervenção deixa de ser uma escolha política e passa a ser uma necessidade técnica fundamentada.

A eficácia do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na redução da sinistralidade viária não é apenas uma hipótese teórica, mas uma realidade documentada em diversas cidades que adotam políticas baseadas em dados. A transição de uma gestão baseada em percepções subjetivas para uma gestão baseada em evidências geoespaciais tem sido o diferencial de programas de sucesso global.

No cenário internacional, o exemplo de Estocolmo (Suécia) é emblemático. Como berço do conceito "Visão Zero", a administração sueca utiliza o SIG para cruzar dados de sinistralidade com o perfil demográfico da população. Relatórios da Administração de Transportes da Suécia (TRAFIKVERKET, 2021) detalham como a análise espacial permitiu identificar que atropelamentos de idosos ocorriam majoritariamente em interseções próximas a serviços de saúde, onde o tempo semaforico era insuficiente para o ritmo de caminhada desse grupo. A intervenção não foi apenas punitiva, mas corretiva, redesenhando o tempo de travessia a partir da evidência espacial (BELIN *et al.*, 2012).

Em Londres (Reino Unido), o órgão gestor *Transport for London* (TfL) mantém o portal *Safe Streets*, que disponibiliza mapas de calor e análises de tendência em tempo real. Segundo o plano estratégico *Vision Zero Action Plan* (TfL, 2021), a utilização do SIG permitiu uma redução drástica na sinistralidade ao direcionar o policiamento e a fiscalização eletrônica especificamente para os "corredores de risco" identificados estatisticamente, otimizando os recursos públicos e aumentando a aceitabilidade social da fiscalização, uma vez que sua localização é tecnicamente justificada.

No contexto brasileiro, o Projeto Vidas no Trânsito (PVT), uma iniciativa coordenada pelo Ministério da Saúde em parceria com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), institucionalizou o uso de SIG nas capitais brasileiras. Em Londrina (PR), um dos destaques do programa, a integração de dados da Polícia Militar, do

SAMU e dos hospitais permitiu que a gestão municipal identificasse padrões críticos envolvendo motociclistas em vias arteriais específicas. Conforme aponta o relatório do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), a instalação de dispositivos de fiscalização e mudanças no desenho viário baseadas nesses mapas resultaram em uma queda sustentada nos índices de mortalidade no município.

A experiência de São Paulo (SP) também é referencial. A Companhia de Engenharia de Tráfego (CET/SP) utiliza rotineiramente análises de densidade para a gestão da velocidade. Dados reportados em seus Relatórios Anuais de Acidentes de Trânsito (CET, 2023) demonstram que a redução de limites de velocidade e a manutenção da fiscalização eletrônica em eixos identificados pelo SIG como pontos críticos de atropelamento foram fundamentais para que a capital atingisse metas históricas de redução de óbitos.

Finalmente, a experiência de Recife (PE) demonstra a versatilidade da ferramenta no apoio às emergências. Estudos acadêmicos realizados na região utilizaram a técnica de Estimativa de Densidade de Kernel para mapear a demanda por atendimentos do SAMU decorrentes de sinistros viários. Como demonstrado por Silva *et al.* (2019), o mapeamento dos *hotspots* permitiu o posicionamento estratégico das unidades de resposta perto dos locais de maior incidência, reduzindo o "tempo-resposta" e elevando as chances de sobrevivência das vítimas.

Essas experiências confirmam que, independentemente da escala urbana, o Geoprocessamento atua como o elo entre a coleta de dados e a intervenção eficaz. Para o gestor de mobilidade, estas referências servem como validação de que o investimento em tecnologia e análise espacial é o caminho mais seguro para a construção de cidades resilientes e protetoras da vida humana.

3 METODOLOGIA

O presente estudo fundamentou-se em uma abordagem quantitativa e espacial, estruturada para compreender os padrões e a distribuição dos sinistros de trânsito no município de Juiz de Fora. A pesquisa adotou o paradigma da análise espacial para investigar a correlação entre a infraestrutura viária, o comportamento dos fluxos e a eficácia das intervenções de fiscalização eletrônica.

A base de dados primária foi constituída pelos Registros de Evento de Defesa Social (REDS), fornecidos pela Prefeitura de Juiz de Fora, mediante convênio estabelecido com a Polícia Militar de Minas Gerais. Os REDS consistem em boletins de ocorrência sistematizados que catalogam de forma detalhada as características de cada evento viário, permitindo uma análise multitemporal e qualitativa do fenômeno.

A série histórica selecionada compreendeu o período entre 2018 e 2023. Esta delimitação temporal foi estratégica, pois permitiu segmentar a análise em fases distintas: os anos de 2018 e 2019 representaram o padrão de mobilidade pré-pandemia; os anos de 2020 e 2021 permitiram observar as flutuações decorrentes das medidas de isolamento social da Covid-19; e o biênio 2022-2023 refletiu a retomada dos fluxos e a implementação da nova rede de fiscalização eletrônica no município.

Previamente ao fornecimento dos dados brutos, estes foram submetidos a um rigoroso processo de depuração para garantir a conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Foram suprimidas todas as informações sensíveis que pudessem identificar indivíduos ou mesmo veículos, mantendo-se apenas os atributos necessários para a análise estatística e geográfica.

Antes de começar a análise, realizou-se a organização das planilhas, onde as ocorrências foram classificadas por meio de variáveis-chave: natureza do sinistro, gravidade (eventos sem vítima, com vítima leve, grave ou fatal), data, dia da semana, faixa horária e localização.

Para o tratamento geográfico das informações, utilizou-se o *software* ArcGIS (ESRI). O processo metodológico seguiu as etapas de geocodificação, análise de densidade e correlação espacial.

O estágio inicial consistiu no georreferenciamento dos sinistros. Embora a planilha original possuísse coordenadas, foi necessário um processo de padronização alfanumérica antes da importação. Os dados foram integrados ao SIG através da ferramenta "Add XY Data", vinculando as colunas de Longitude e Latitude aos eixos correspondentes.

Originalmente, os dados foram identificados na projeção *South American Datum 1969* (SAD 69). Para garantir a compatibilidade com as bases oficiais e a precisão dos cálculos métricos, realizou-se a conversão para o sistema de referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), padrão oficial adotado pelo IBGE. Esse procedimento permitiu a transposição segura da base tabular para o ambiente SIG, possibilitando a visualização espacial da distribuição das ocorrências sobre a malha urbana de Juiz de Fora e a subsequente construção de mapas temáticos representativos.

Para identificar os padrões de concentração e mitigar a sobreposição visual de pontos em áreas de alta densidade, aplicou-se a técnica de Estimativa de Densidade de Kernel. Com isso foram elaborados mapas de densidade e calor (*heatmaps*), evidenciando as áreas que concentraram a maior severidade e frequência de sinistros ao longo do tecido urbano.

Para o processamento no ArcGIS, foram definidos os seguintes parâmetros técnicos:

- **Raio de Busca (*Search radius*):** Utilizou-se um raio de 100 metros, valor calibrado para a escala urbana de Juiz de Fora, permitindo capturar a influência de cruzamentos adjacentes sem diluir excessivamente os focos de concentração.
- **Tamanho da Célula (*Output Cell Size*):** Definido em 1x1 metro, garantindo uma resolução extremamente refinada para a análise detalhada de eixos viários e interseções.
- **Valores de Saída (*Output values are*):** Aplicou-se a função de Densidades (*Densities*), que normaliza os valores pela área da unidade, permitindo a comparação direta entre diferentes setores da cidade independentemente do tamanho da zona analisada.
- **Método (*method*):** Utilizou-se o método "Planar", considerando que a área de estudo está contida em um ambiente urbano de escala local, onde as distâncias

euclidianas são projetadas em um plano cartográfico, garantindo a acurácia métrica necessária para o cálculo de densidades em redes viárias.

O segundo eixo metodológico concentrou-se na investigação do impacto dos radares na segurança viária, dividindo-se em mapeamento e análise comparativa.

Os dados sobre os dispositivos de fiscalização foram extraídos do Portal da Transparência da Prefeitura de Juiz de Fora, acessando-se os editais de contratação e especificações técnicas da Secretaria de Mobilidade Urbana. Os equipamentos foram georreferenciados e categorizados em dois grupos funcionais:

1. **Controle de Velocidade:** Radares fixos tradicionais.
2. **Misto (Velocidade + Avanço):** Monitoramento de excesso de velocidade e transposição de sinal vermelho.

A localização exata de cada ponto foi validada por meio de imagens do *Google Street View* e, em pontos de dúvida ou divergência, mediante verificação *in loco* para garantir a precisão do georreferenciamento. Após essa etapa de validação, analisou-se a relação entre os radares e os sinistros de trânsito.

Para definir a área de abrangência de cada equipamento, partiu-se da compreensão teórica do Efeito Halo e das diretrizes da Resolução CONTRAN nº 798/2020. Conforme o Art. 6º, § 2º, que define parâmetros para trechos críticos em vias urbanas, estabeleceu-se uma área de influência de 500 metros a montante e 500 metros a jusante de cada dispositivo, consolidando eixos de análise de 1 km de extensão linear.

No *software* ArcGIS, utilizou-se a ferramenta Buffer para a criação das zonas de amortecimento em torno desses eixos. Para assegurar a precisão da amostra, os *buffers* foram configurados com o parâmetro “*End Type: Flat*” (terminação plana). Esta escolha técnica foi fundamental para evitar a captura indevida de sinistros ocorridos em vias transversais que, embora próximas ao radar, não sofrem a influência direta do controle de velocidade do eixo monitorado.

A largura lateral dos *buffers* foi ajustada entre 15 e 30 metros, conforme a hierarquia viária (local, coletora ou arterial), garantindo a cobertura total dos pontos em cada via. Posteriormente, aplicou-se a técnica de Sobreposição Espacial (*Overlay*

Analysis) para extrair os sinistros contidos em cada zona de influência, segmentados ano a ano.

A avaliação da eficácia da fiscalização eletrônica foi estruturada em dois eixos complementares, aproveitando o intervalo de desativação do sistema e visando mitigar distorções causadas pelas flutuações atípicas de tráfego ocorridas entre 2020 e 2022.

O primeiro eixo consistiu na comparação direta entre os seis meses imediatamente anteriores e posteriores à ativação de cada equipamento em 2022. Embora este método seja um padrão na engenharia de tráfego para aferir o impacto imediato, a pesquisa identificou que esta métrica, isoladamente, pode apresentar um viés pandêmico.

Como o primeiro semestre de 2022 ainda refletia uma retomada gradual da mobilidade, o fluxo veicular era inferior ao patamar histórico, o que explica por que apenas cerca de metade dos dispositivos demonstraram redução significativa de sinistros nesta janela inicial. O "antes" da comparação ainda estava "contaminado" pela redução de circulação da pandemia, dificultando a percepção da queda real gerada pelo radar.

Para obter um diagnóstico mais fidedigno, adotou-se um segundo eixo de comparação de longo prazo. Utilizou-se a média aritmética dos anos de 2018 e 2019 como o Cenário de Referência. Esta escolha justifica-se por dois motivos:

1. **Estabilidade do Fluxo:** Representa o último período de normalidade plena da mobilidade urbana pré-pandemia.
2. **Referência Administrativa:** Supõe-se que estes foram os dados que fundamentaram o estudo técnico para a confecção do contrato de fiscalização, assinado em 2021.

Este cenário de base foi confrontado com os dados de 2023, definido como o Cenário de Maturação. Em 2023, o sistema de fiscalização já se encontrava plenamente estabelecido, com a população devidamente adaptada à presença dos equipamentos e a mobilidade urbana operando em níveis de saturação pós-pandêmicos.

Por fim, os mapas de densidade de Kernel foram sobrepostos aos pontos de fiscalização. Este procedimento visou avaliar a coerência territorial da gestão pública, verificando se a instalação dos radares foi direcionada aos *hotspots* históricos identificados tecnicamente pela análise espacial, ou se houve a contemplação de trechos com baixa densidade de sinistros, demandando justificativas preventivas específicas.

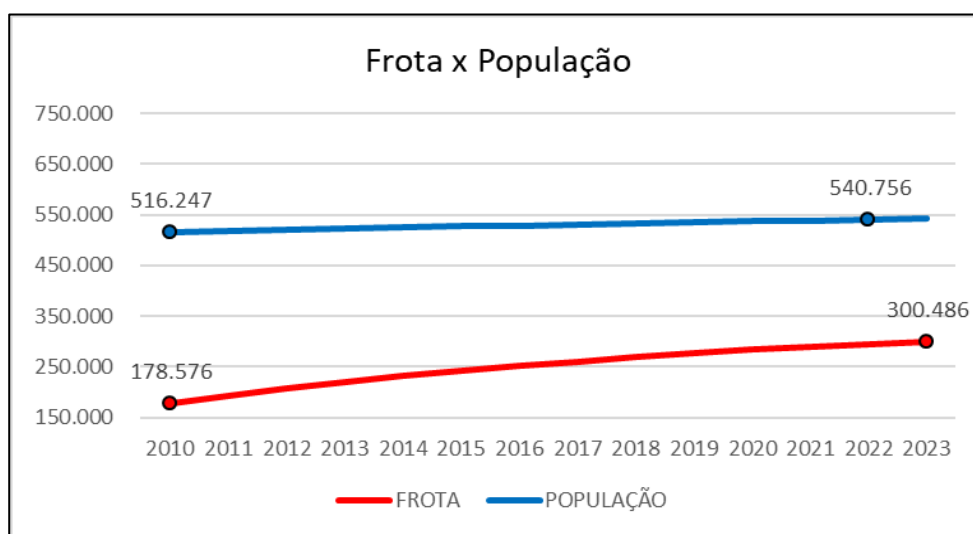
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir sintetizam a dinâmica da segurança viária em Juiz de Fora entre 2018 e 2023. A análise foi estruturada de modo a correlacionar o crescimento da motorização individual, a crise do transporte público e a eficácia das políticas de controle de velocidade frente à distribuição espacial dos sinistros.

4.1 O CENÁRIO DA MOTORIZAÇÃO E A RETRAÇÃO DA MOBILIDADE COLETIVA

O primeiro estrato da análise revela um descompasso estrutural entre o crescimento demográfico e o aumento da frota veicular no município. Conforme evidenciado no Gráfico 1, enquanto a população juiz-forana apresentou um crescimento vegetativo estável e pouco expressivo, a frota de veículos seguiu uma curva de ascensão contínua, praticamente duplicando seu volume no mesmo período analisado.

Gráfico 1. Frota x População em JF (2010-2023)

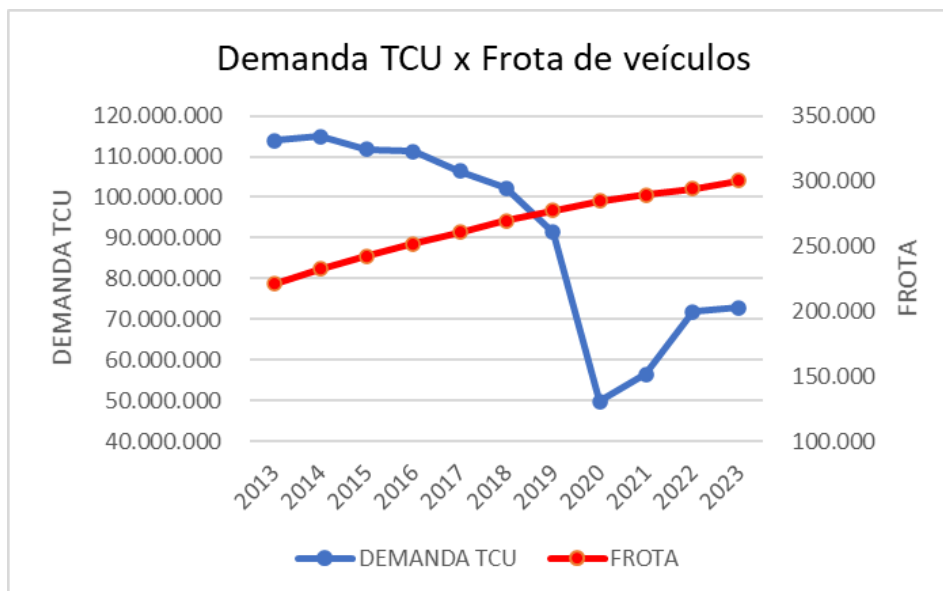


Fonte: IBGE / SENATRAN - Elaborado pelo autor

Essa ascensão do transporte individual ocorre em paralelo à retração do Transporte Coletivo Urbano (TCU) e é o motor primário da saturação viária. O Gráfico 2 ilustra essa correlação inversa preocupante, onde a demanda pelos ônibus, que já apresentava declínio, sofreu uma ruptura drástica durante a pandemia de COVID-19. Em 2023, os níveis de adesão ao transporte público atingiram apenas cerca de 70% do volume registrado em 2018. A migração sistemática do usuário do transporte coletivo para o individual (automóveis e, com destaque para a explosão do uso de

motocicletas, conforme tabela 1) amplia a exposição ao risco, uma vez que insere mais unidades móveis vulneráveis em um sistema viário de capacidade finita e topografia complexa.

Gráfico 2. Demanda Transporte Coletivo Urbano (TCU) x Frota de Veículos em JF



Fonte: SENATRAN / PJJ - Elaborado pelo autor

Complementando esse panorama, a Tabela 1 apresenta a evolução da frota de veículos em Juiz de Fora ao longo de uma década (2013 - 2023), permitindo observar o crescimento absoluto e percentual das principais classes da frota. Esses dados reforçam a tendência de motorização individual crescente, mesmo diante de crises econômicas ou encarecimento dos combustíveis.

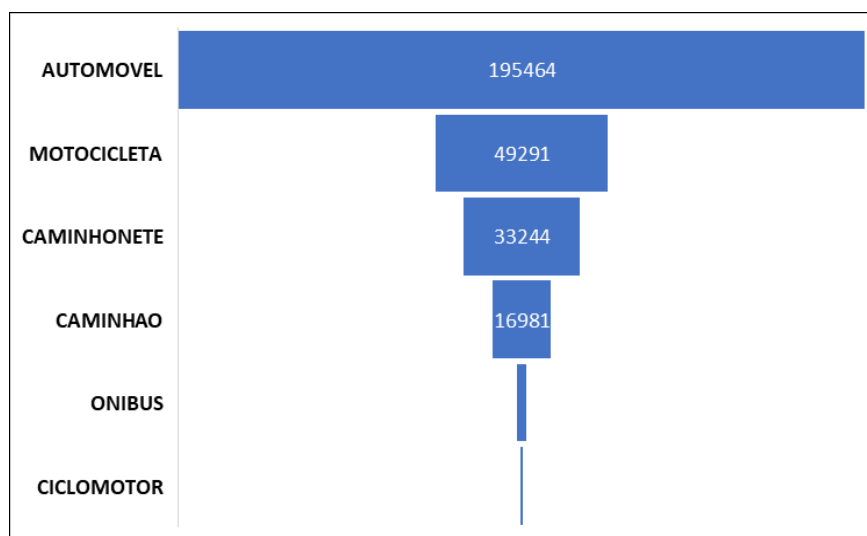
Tabela 1. Evolução da Frota Predominante de Juiz de Fora em 10 anos

Frota	2013	2023	Crescimento	%
AUTOMOVEL	152453	195464	43011	28,21%
MOTOCICLETA	31950	49291	17341	54,28%
CAMINHONETE	20858	33244	12386	59,38%
CAMINHAO	12990	16981	3991	30,72%
ONIBUS	2437	2787	350	14,36%
CICLOMOTOR	104	988	884	850,00%
TOTAL	220792	300778	77963	-

Fonte: SENATRAN - Elaborado pelo autor

Já o Gráfico 3 traz uma análise da frota predominante no município em 2023, com ênfase na participação relativa de automóveis e motocicletas. Nota-se a expansão significativa das motos como meio de transporte, especialmente entre trabalhadores de renda mais baixa e entregadores por aplicativo, o que contribui para um perfil de risco elevado nas estatísticas de sinistros de trânsito.

Gráfico 3. Frota Predominante em Juiz de Fora (2023)



Fonte: SENATRAN - Elaborado pelo autor

Os dados dispostos na Tabela 2 detalham os veículos com maior incidência em sinistros no município. Automóveis e motocicletas encabeçam as estatísticas, evidenciando-se a criticidade dos eventos com motos, que tendem a apresentar um grau de gravidade significativamente superior.

Tabela 2. Tipos de veículos envolvidos em sinistros de trânsito em Juiz de Fora

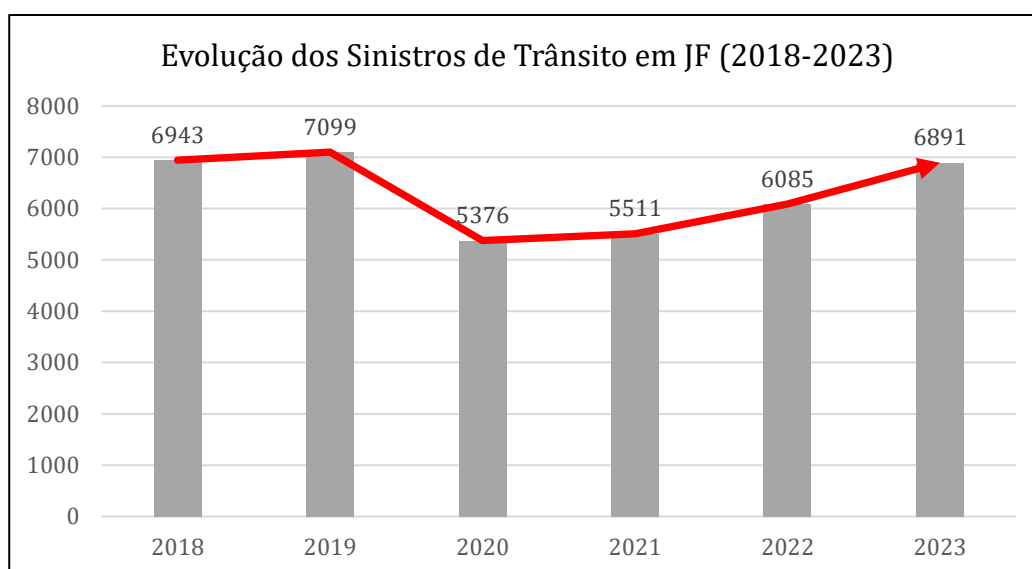
TIPO DE VEÍCULOS	ANO 2023
AUTOMOVEL / UTILITÁRIOS	11667
MOTOCICLETAS /MOTONETA	3186
CAMINHÕES/REBOQUE	713
CAMINHONETE / CAMIONETA	775
ÔNIBUS/MICROONIBUS	1014
BICICLETAS	93
OUTROS	105
TOTAL	17553

Fonte: PJF – Elaborado pelo autor

4.2 SÉRIE HISTÓRICA E PADRÕES TEMPORAIS DA SINISTRALIDADE

A série histórica dos sinistros reflete os impactos das restrições de mobilidade e a subsequente retomada das atividades presenciais. O Gráfico 4 indica que o pico de ocorrências se deu em 2019 (7.099 registros), seguido por uma queda acentuada em 2020 (5.376 registros) totalizando uma baixa de 1723 sinistros (uma redução de 24,27%), possivelmente associada às medidas de isolamento social e à consequente diminuição da circulação urbana.

Gráfico 4. Evolução dos sinistros de trânsito em JF (2018-2023)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

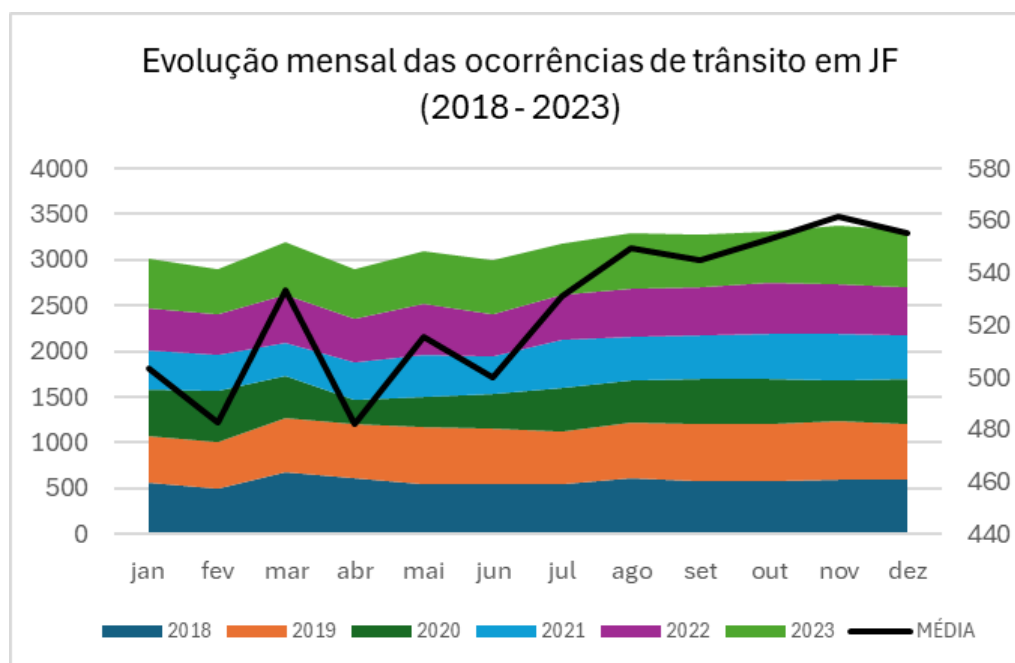
A partir de 2022, com a retomada gradual das atividades presenciais e o aumento da mobilidade nas vias, observa-se uma linha ascendente, com 2023 registrando 6.891 ocorrências. É relevante notar que, embora a frota em 2023 seja significativamente superior à de 2019, o número absoluto de sinistros não retomou o patamar máximo pré-pandemia. Esse dado sugere que políticas de segurança urbana, como a reimplantação da fiscalização eletrônica, podem estar exercendo um papel moderador na frequência dos eventos, mesmo diante de um cenário de maior volume veicular.

4.3 SAZONALIDADE, DIAS E HORÁRIOS CRÍTICOS

A análise detalhada dos padrões temporais dos sinistros de trânsito permitiu identificar períodos específicos de maior vulnerabilidade no sistema viário do município, evidenciando a influência direta da dinâmica socioeconômica e dos fluxos urbanos sobre a ocorrência desses eventos.

- **Sazonalidade Mensal:** Observam-se picos expressivos de registros nos meses de março, agosto e, sobretudo, novembro e dezembro conforme Gráfico 5. O aumento em março pode ser associado ao retorno das atividades escolares e acadêmicas, bem como à intensificação dos deslocamentos cotidianos associados ao período carnavalesco. Em agosto, o crescimento da circulação urbana relaciona-se à retomada plena das atividades econômicas e escolares no segundo semestre. Já o ápice registrado em novembro e dezembro coincide com o aquecimento do comércio, o pagamento de gratificações e a intensificação de eventos festivos, fatores que ampliam significativamente o volume e a complexidade do tráfego urbano.

Gráfico 5. Evolução mensal das ocorrências de Trânsito em JF (2018-2023)

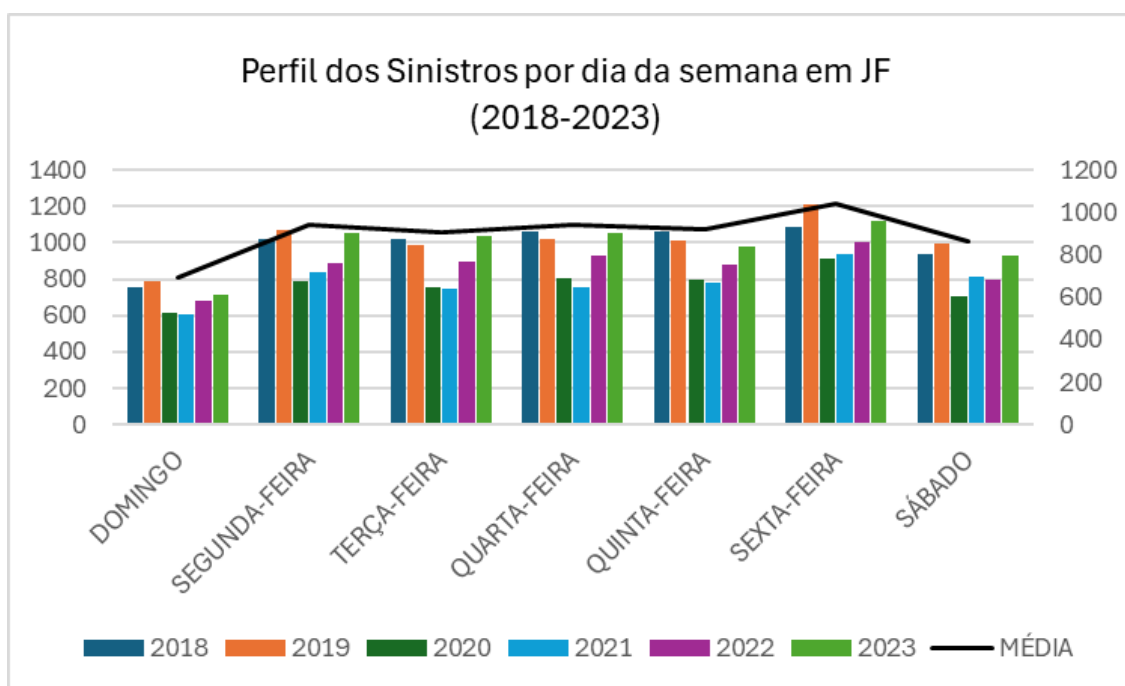


Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

- **Distribuição Semanal:** A sexta-feira consolida-se como o dia de maior incidência de sinistros, refletindo a sobreposição entre o fluxo pendular de trabalho e os

deslocamentos voltados ao lazer, viagens intermunicipais e atividades noturnas. Em contrapartida, o domingo, seguido do sábado, apresentam o menor número absoluto de registros, possivelmente em função da redução do tráfego associada às folgas laborais (Gráfico 6). No entanto, esses dias concentram uma proporção relativamente maior de ocorrências com gravidade elevada, o que pode estar relacionado ao consumo de álcool, imprudência e ao maior desrespeito às normas de trânsito.

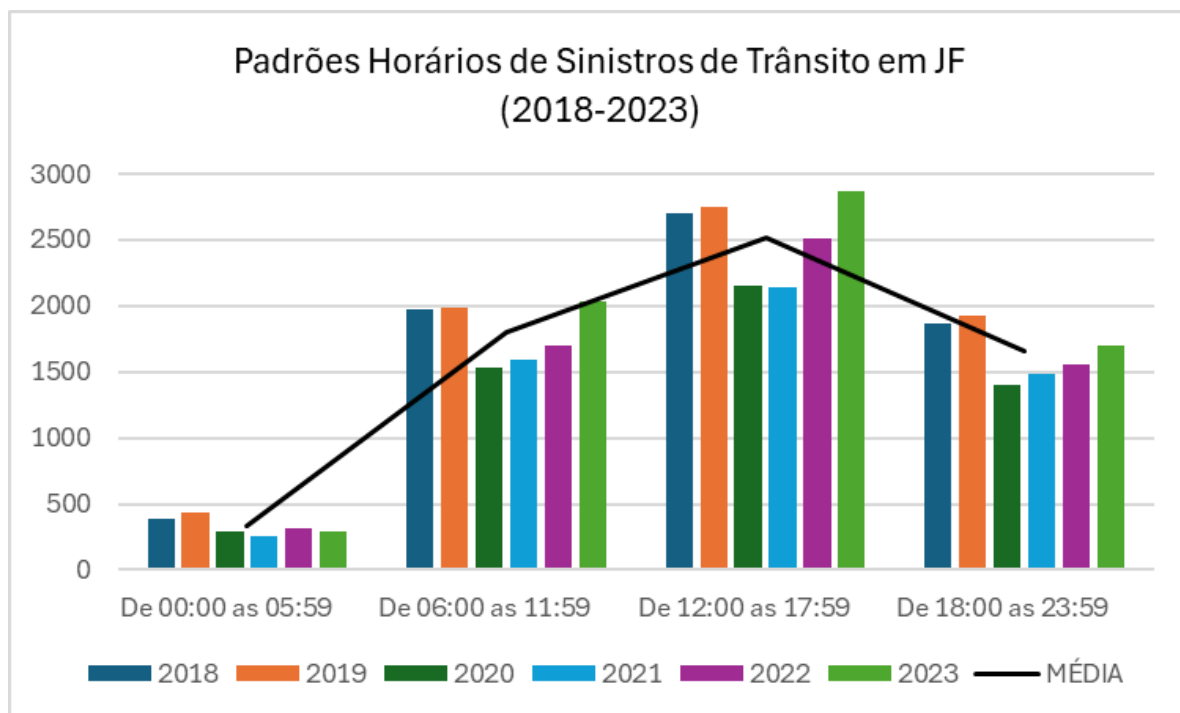
Gráfico 6. Perfil dos sinistros por dia da semana em JF (2018-2023)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

- Faixa Horária:** O pico máximo de ocorrências concentra-se entre 12h00 e 17h59, indicando que a maior densidade de conflitos viários ocorre durante o período de maior atividade econômica e circulação escolar no município, com saídas e entradas simultâneas de alunos. O menor número de registros é observado entre 00h00 e 05h59, faixa caracterizada por baixo fluxo veicular (Gráfico 7). Contudo, é importante destacar que os sinistros ocorridos nesse intervalo apresentam, em geral, maior severidade, o que reforça a associação com fatores de risco como excesso de velocidade, fadiga e consumo de substâncias psicoativas.

Gráfico 7. Padrões horários de sinistros de trânsito em JF (2018-2023)

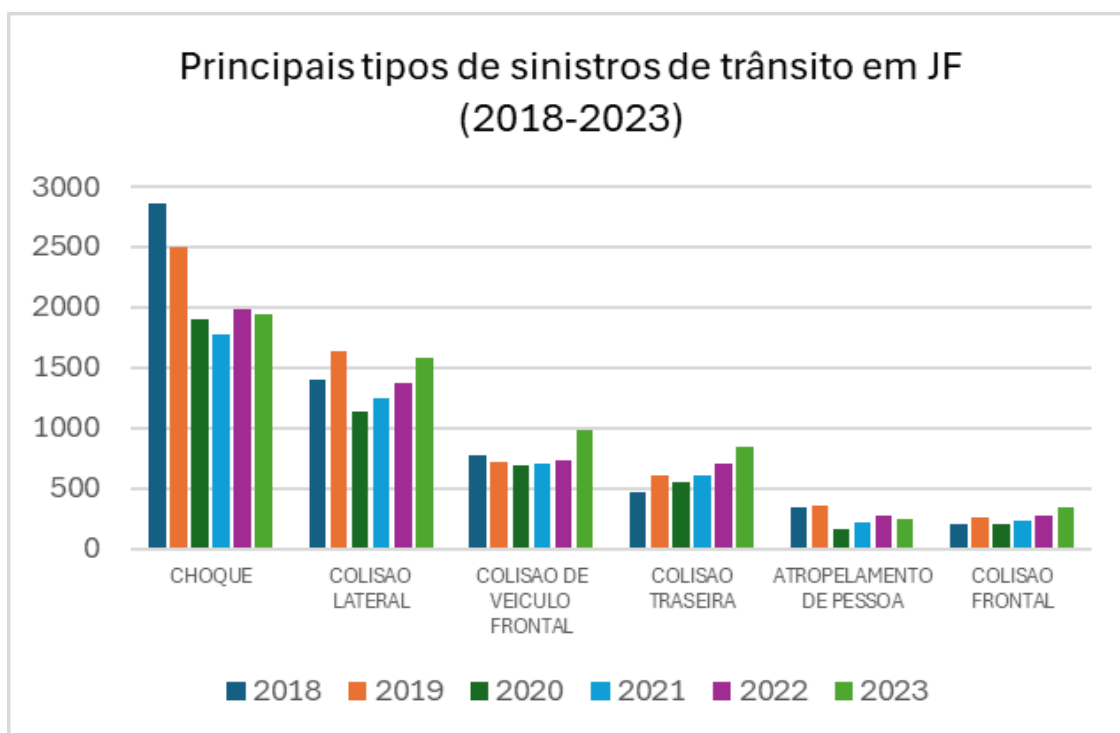


Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

4.4 TIPOLOGIA E A CRÍTICA AOS REGISTROS DE EVENTOS DE DEFESA SOCIAL (REDS)

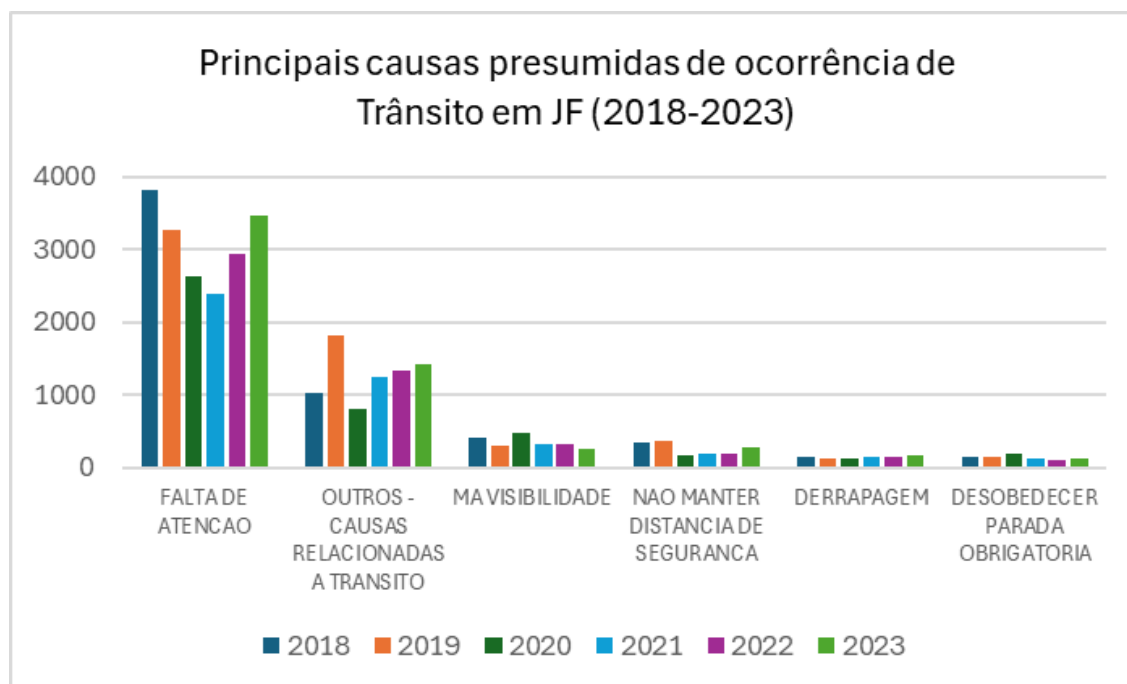
No que tange à natureza dos sinistros, os dados apontam o "Choque" e a "Colisão Lateral" como as tipologias predominantes (Gráfico 8). Ao analisar as causas presumidas, a "Falta de Atenção" figura como o fator principal no Gráfico 9 seguido de "outras causas relacionadas a trânsito". Contudo, essa constatação exige uma análise crítica do ponto de vista metodológico e institucional.

Gráfico 8. Principais tipos de sinistros de trânsito em JF (2018-2023)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Gráfico 9. Principais causas presumidas de ocorrências de Trânsito em JF (2018-2023)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Observa-se uma fragilidade latente no processo de registro dos REDS por parte das autoridades de segurança pública. A prevalência do item "falta de atenção" como causa primária denota um preenchimento genérico e, por vezes, subjetivo, que tende a simplificar a etiologia do sinistro sob a responsabilidade exclusiva do condutor. Essa padronização burocrática oculta variáveis fundamentais de engenharia, como falhas na sinalização, geometria viária inadequada ou deficiências na manutenção do pavimento. Para o planejamento urbano, essa lacuna de detalhamento representa um obstáculo à formulação de diagnósticos precisos, uma vez que a "causa presumida" muitas vezes desconsidera o papel do ambiente viário como indutor do erro humano. Portanto, faz-se necessária uma revisão nos protocolos de coleta e uma capacitação técnica que aproxime o registro policial dos conceitos modernos de segurança viária e auditoria de tráfego.

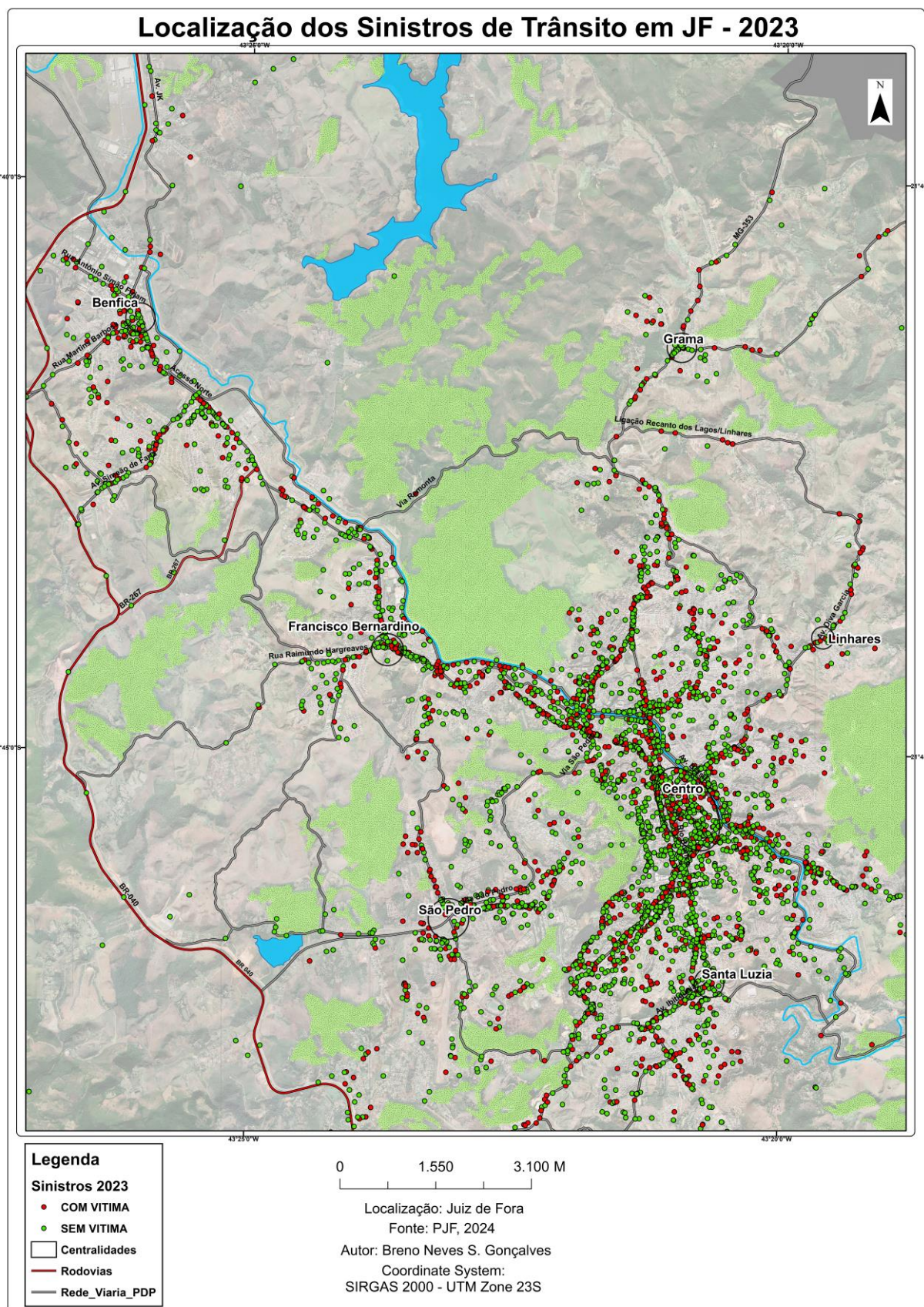
4.5 ANÁLISE ESPACIAL: A CENTRALIDADE DO RISCO E *HOTSPOTS*

A partir da aplicação das técnicas de geoprocessamento, associada à elaboração de mapas de calor por meio da Estimativa de Densidade de Kernel, foi possível identificar com precisão as áreas com maiores concentrações de sinistros de trânsito no município.

O Mapa 2 apresenta a localização geográfica dos sinistros de trânsito registrados em Juiz de Fora durante o ano de 2023. Trata-se de uma representação pontual que cobre toda a malha urbana, fornecendo uma base de leitura espacial que se articula com os demais materiais da pesquisa. Devido à sua escala abrangente, este mapeamento não permitiu identificar com precisão vias ou interseções específicas, mostrando-se mais eficaz para a visualização de padrões gerais e da distribuição territorial ampla.

Contudo, mesmo nesta escala, observou-se uma concentração significativa de registros na região central e ao longo dos principais corredores viários, o que reforçou a necessidade de uma análise multiescalar para a identificação efetiva de *hotspots*. Essa visualização inicial permitiu um aprofundamento posterior mais preciso, segmentado por gravidade, tipo de via e veículos envolvidos.

Mapa 2. Mapa de localização dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2023

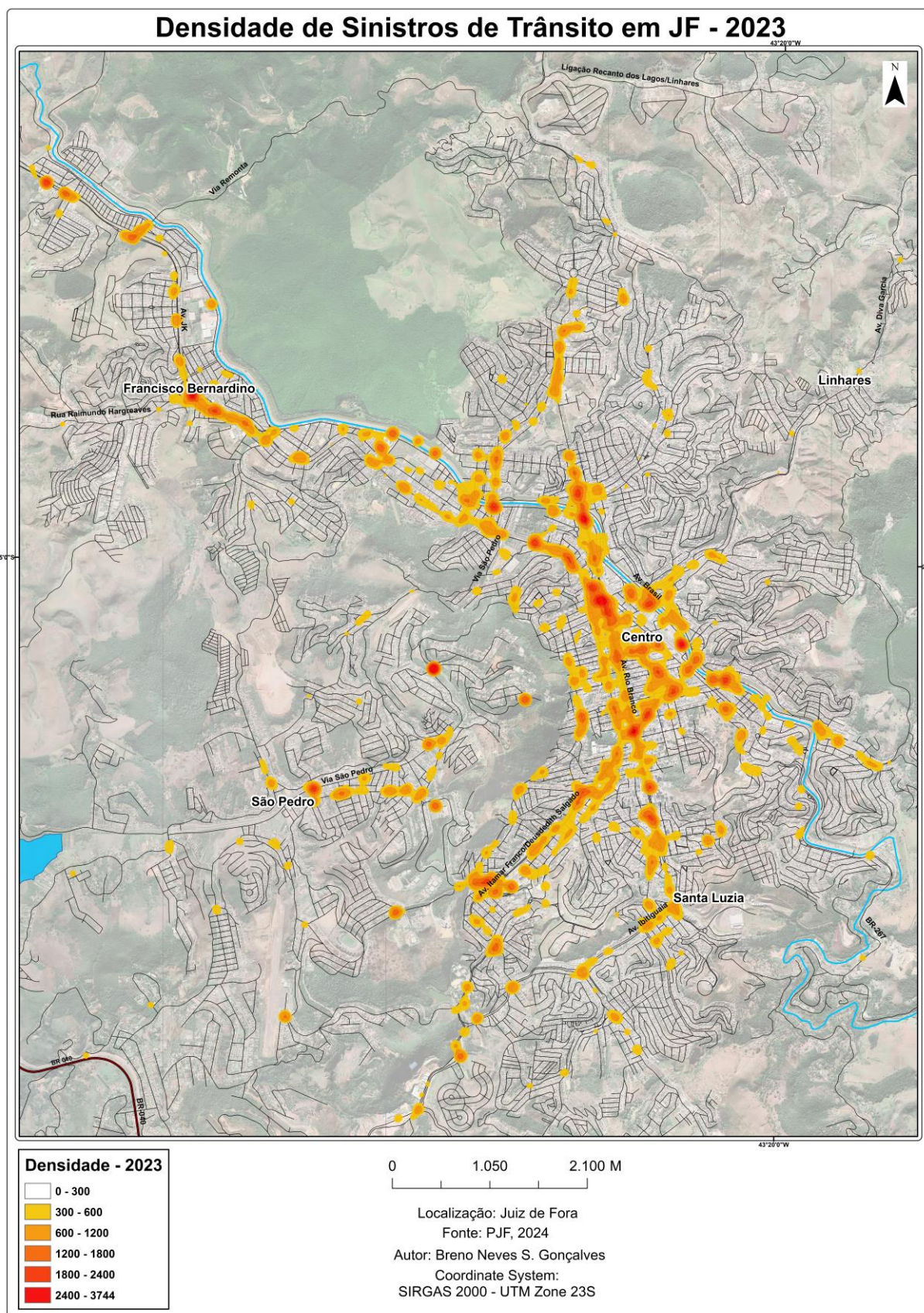


Fonte: P.J.F. - Elaborado pelo autor

Já o Mapa 3 apresenta a distribuição espacial da densidade dos sinistros, elaborado por meio da técnica de Estimativa de Densidade de Kernel. Conforme mencionado anteriormente, esta técnica permitiu identificar com maior nitidez as áreas com concentração elevada de ocorrências, complementando e aprofundando a visualização pontual.

Ao representar a intensidade dos registros em gradientes de cor, o mapa tornou evidente as regiões com padrões recorrentes de sinistros, sobretudo ao longo de eixos de grande circulação e em determinadas zonas de convergência viária. Embora o mapa não permita, isoladamente, inferir as causas diretas, alguns dos locais de maior densidade coincidiram com áreas já reconhecidas pelo planejamento urbano e validadas pelo senso comum através da recorrência de notícias nos canais midiáticos, como por exemplo a “Serra do Bandeirantes”.

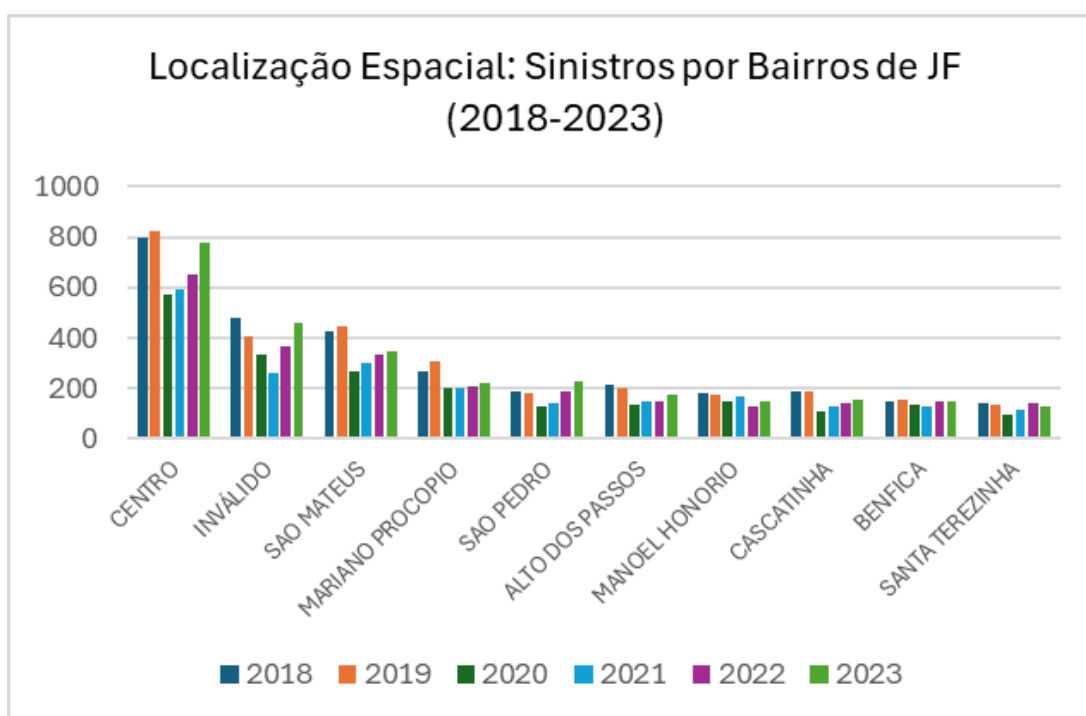
Mapa 3. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2023



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos confirmaram que a centralidade urbana é o elemento estruturante do risco viário em Juiz de Fora. O Gráfico 10 e a análise espacial demonstraram de forma consistente que o bairro Centro concentra o maior volume de ocorrências, padrão decorrente da intensa convergência de fluxos oriundos de todas as regiões da cidade, somada à influência regional que o município exerce como "Capital Regional 2B" (REGIC) sobre outras 84 cidades. Contudo, sobressai negativamente o fato de que a segunda categoria mais representativa no Gráfico 10 corresponde a dados "inválidos". Esta recorrência evidencia uma fragilidade persistente no processo de preenchimento dos Registros de Eventos de Defesa Social (REDS).

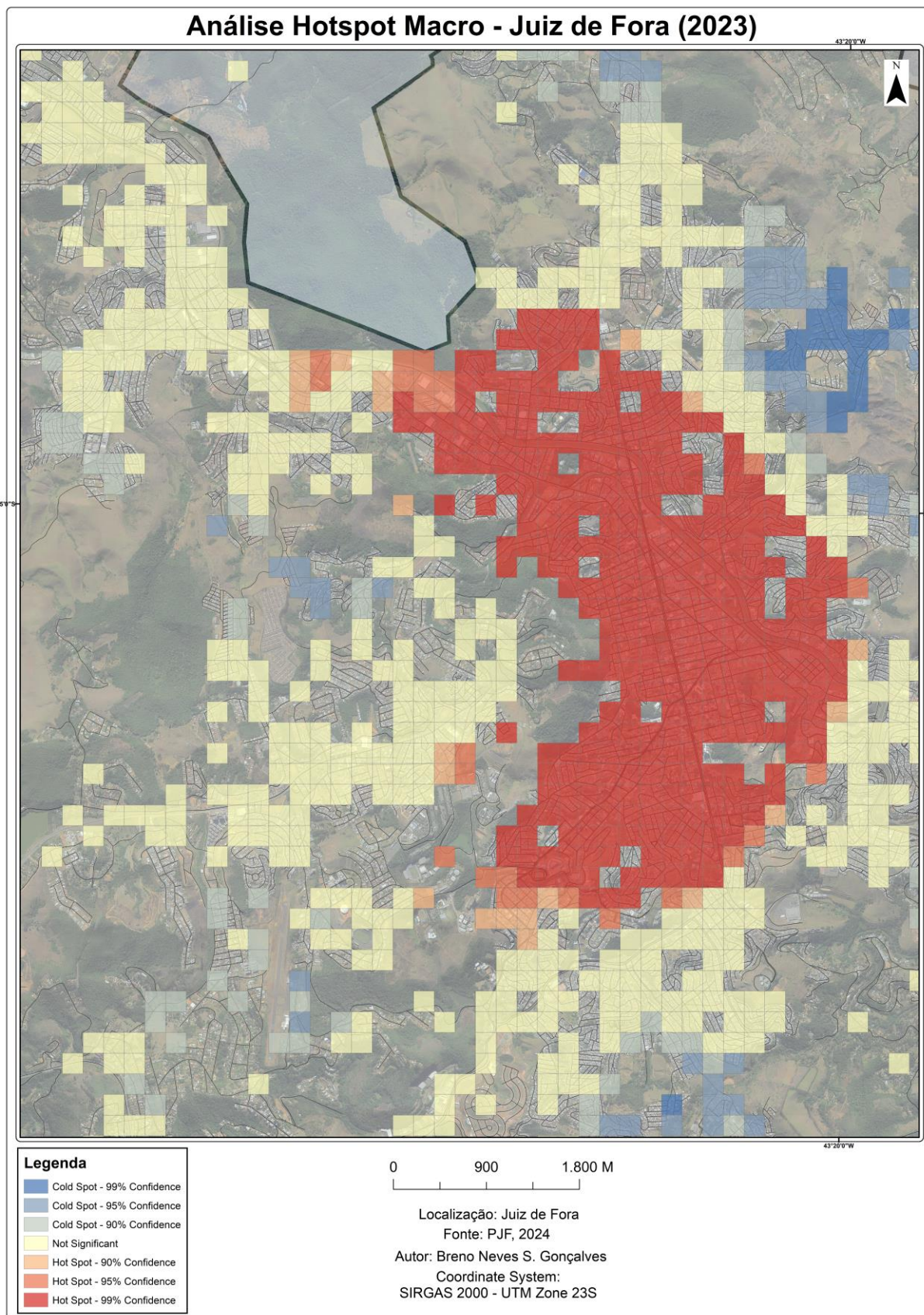
Gráfico 10. Localização espacial de sinistros de trânsito por bairros em JF (2018-2023)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Estes achados retificam o papel da região central como nó primário da rede de mobilidade urbana, onde convergem deslocamentos de trabalho, comércio, serviços e transporte intermunicipal. A elevada densidade de sinistros nesta área (Mapa 4) não decorre exclusivamente do volume de tráfego, mas da intensa sobreposição de usos do solo e da interface conflituosa entre veículos motorizados, transporte coletivo e usuários da mobilidade ativa.

Mapa 4. Análise Hotspot Macro dos Sinistro de Trânsito em JF - 2023



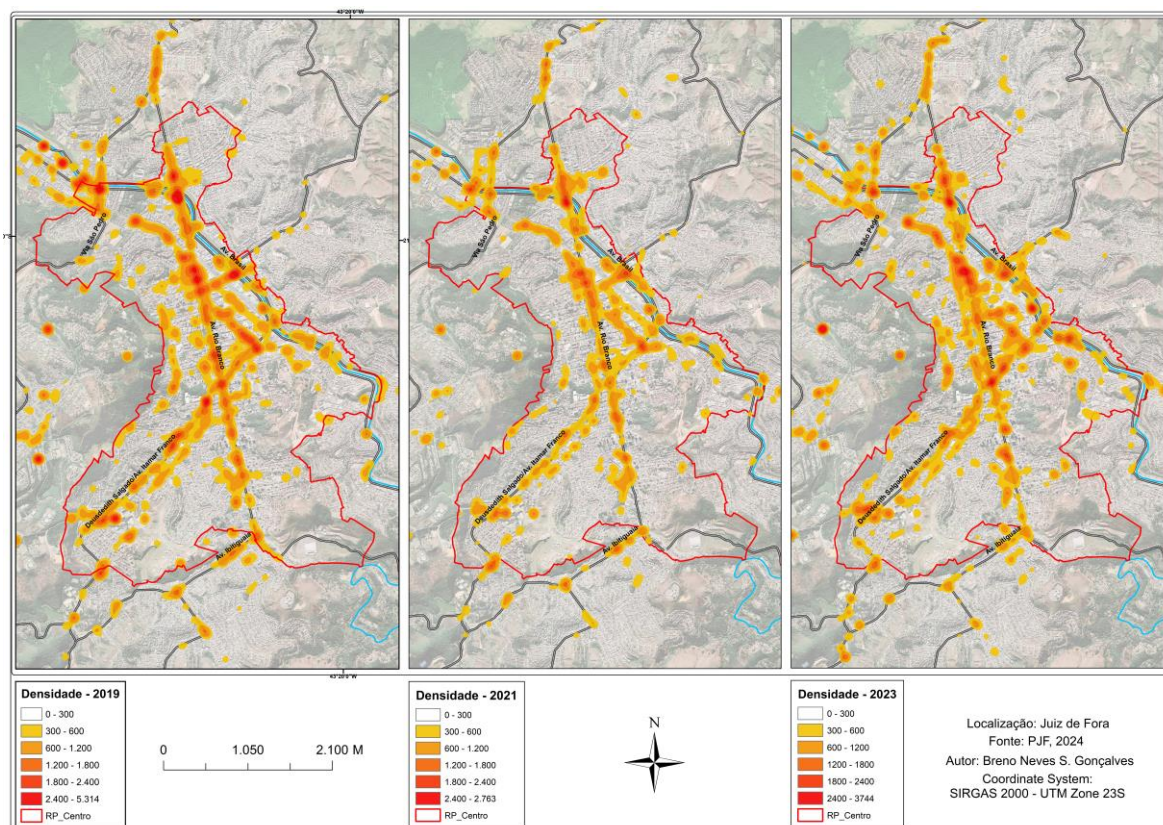
Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Para compreender a dinâmica espaço-temporal da sinistralidade no núcleo urbano, o Mapa 5 apresenta uma análise comparativa da Região de Planejamento Centro, contrastando três momentos distintos da mobilidade local.

No cenário de 2019, observa-se o ápice da densidade de calor, com *hotspots* extensos e consolidados que refletem a saturação máxima do sistema viário pré-pandemia e a ausência de fiscalização eletrônica em pontos críticos. Em contrapartida, o recorte de 2021 revela uma retração drástica na mancha de calor, fenômeno atípico condicionado pelo isolamento social e pela consequente redução do volume de tráfego, marcando o piso histórico da série analisada.

Por fim, o cenário de 2023 ilustra o estágio de maturação do sistema de fiscalização. Embora o fluxo veicular tenha retornado aos níveis de normalidade, a mancha de densidade de Kernel mostra-se mais fragmentada e menos intensa do que em 2019. Esta configuração sugere que a reativação dos radares contribuiu como um moderador de frequência das ocorrências, impedindo que a retomada dos volumes de tráfego restabelecesse a densidade crítica de sinistros observados no período pré-pandemia.

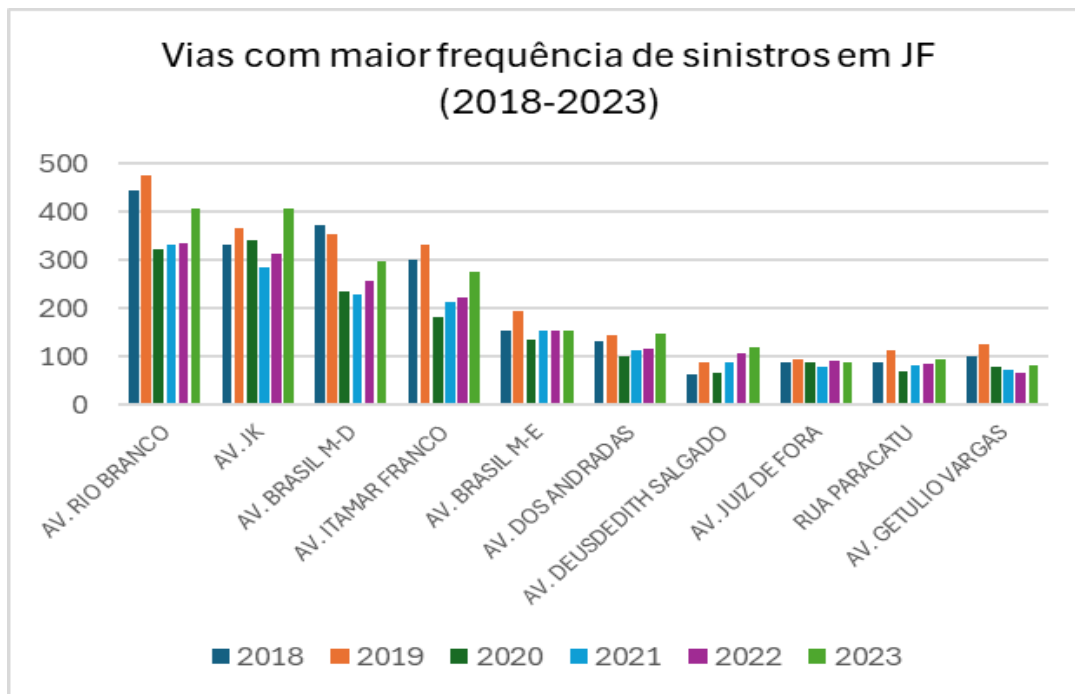
Mapa 5. Evolução Espaço-Temporal da Densidade de Sinistros na RP Centro (2019, 2021 e 2023).



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

As vias arteriais destacaram-se como os principais corredores de periculosidade do sistema viário municipal, como pode ser observado no Gráfico 11.

Gráfico 11. Vias com maior frequência de sinistros em JF (2018-2023)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Isso ocorre em função da hierarquia funcional e do papel estruturante que essas vias exercem na mobilidade urbana. As principais vias são:

1. **Avenida Barão do Rio Branco:** Principal eixo de circulação central da cidade, apresenta a maior frequência de atropelamentos e colisões, resultado da intensa e permanente interação entre pedestres, transporte coletivo e tráfego motorizado individual. A elevada diversidade de usos do solo ao longo da via, com forte presença de comércio, serviços e equipamentos urbanos, intensifica os conflitos viários.
2. **Avenidas Presidente Juscelino Kubitschek (JK) e Brasil:** Corredores arteriais com função de conexão interzonas e regional, caracterizam-se por limites de velocidade mais elevados e maior fluidez do tráfego. Essas condições favorecem a ocorrência de sinistros de alta energia, refletidos nos maiores índices de severidade registrados, especialmente quanto a choques contra objetos fixos.
3. **Avenida Presidente Itamar Franco:** Via arterial estratégica para a articulação entre diferentes setores da cidade, destaca-se pela combinação entre elevada

capacidade viária e presença significativa de acessos, retornos e interseções semaforizadas. Essa configuração produz um ambiente viário propenso a colisões traseiras e transversais, associadas a frenagens bruscas, mudanças repentinas de faixa e conflitos nos cruzamentos, especialmente nos horários de pico.

4.6 EFICÁCIA DA FISCALIZAÇÃO ELETRÔNICA

O eixo final desta análise consistiu na aferição do impacto real da fiscalização eletrônica. Através do processamento de *Buffers* de 1000 metros lineares no *software* ArcGIS. Este procedimento permitiu isolar e comparar a sinistralidade no entorno imediato de cada dispositivo, confrontando o cenário de base (2018-2019) com o cenário de maturação (2023), além da janela imediata de seis meses. O Mapa 6 ilustra a aplicação desta metodologia em um dos pontos de controle.

Mapa 6. Comparativo de Sinistros de Trânsito Pré/Pós instalação de um dos Radares em JF



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

4.6.1. Análise Espacial da Eficácia Territorial da Fiscalização Eletrônica

Para além da análise puramente quantitativa e do mapeamento dos pontos de calor, a avaliação da eficácia da fiscalização eletrônica em Juiz de Fora exigiu a elaboração de uma matriz metodológica capaz de qualificar o comportamento dos condutores e a resposta do território ao longo da série temporal estudada. Desse modo, os radares foram classificados em quatro Tendências de Desempenho e Comportamento, estabelecidas a partir do cruzamento entre a cronologia de reativação dos equipamentos e a variação espacial na densidade de sinistros em suas respectivas áreas de influência (*buffers*).

A primeira categoria, denominada Tendência Consolidada, agrupa os dispositivos que apresentaram uma redução imediata e sustentada nos índices de sinistralidade desde o primeiro semestre de sua reativação, validando a maturidade do sistema e a pronta absorção da norma pelo tráfego local. Em contrapartida, a Tendência de Maturação identifica os trechos onde a retração dos sinistros não foi imediata, manifestando-se de forma expressiva apenas no consolidado de 2023. Esse fenômeno encontra forte amparo na Psicologia do Tráfego, evidenciando que, em determinados eixos viários, sobretudo os de maior velocidade e transição periférica, o condutor necessita de um tempo de exposição mais prolongado e repetitivo ao estímulo fiscalizatório para que ocorra a efetiva aculturação e a consequente mudança de comportamento ao volante.

Por outro lado, o modelo revelou cenários onde a presença isolada da tecnologia de controle de velocidade atinge seus limites operacionais. A Tendência Resistente compreende os locais onde, apesar da presença do radar ativo, os sinistros persistiram de forma contínua, indicando que o comportamento infrator ou o risco viário decorrem de fatores mais complexos, o que demanda, obrigatoriamente, intervenções físicas complementares de Engenharia de Tráfego e redesenho urbano. Por fim, os pontos classificados sob a Tendência Ineficaz apontam para os trechos que não registraram nenhuma redução considerável nos índices após a instalação do equipamento. Essa última categoria evidencia um descompasso locacional, funcionando como um indicador de alerta para a gestão pública sobre a imperativa necessidade de remanejamento estratégico do dispositivo para o centro de massa de novos *hotspots* dinâmicos. A aplicação prática desta matriz de classificação é detalhada a seguir, dividida pelas especificidades territoriais do município.

4.6.2. Análise da Região Central: Desempenho em Áreas de Alta Criticidade

Iniciou-se a análise pela Região Central de Juiz de Fora, setor que concentra mais de 50% dos pontos monitorados. Por configurar o núcleo de convergência da estrutura radial da cidade, esta área apresenta os maiores volumes de tráfego e, conseqüentemente, as taxas mais elevadas de sinistralidade histórica.

A Matriz de Desempenho Colorimétrica (Tabela 3) revela que, apesar da complexidade do tráfego central, a maioria dos aparelhos apresentou resultados satisfatórios no cenário consolidado de 2023, 26 dos 31 pontos analisados registraram queda na sinistralidade, com uma redução média de 30,3%. Estes dados comprovam que a fiscalização eletrônica atingiu seu objetivo primário nos eixos de maior fluxo, com a maior parte dos dispositivos operando com redução de sinistros desde os estágios iniciais.

Tabela 3. Matriz de Desempenho Colorimétrica dos Radares (Região Central)

Tipo	RP	Localização	Janela (6 meses)	Cenário (2023 vs 18/19)	Tendência
Velocidade	CENTRO	Av. Rio Branco, 190 (B-C) – Manoel Honório	▼ Redução (-6,67%)	▼ Redução (-22,97%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Rio Branco 1192 (B/C) – Centro	▼ Redução (-23,33%)	▼ Redução (-9,20%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Rio Branco 1181 (C/B) – Centro	● Estável (0%)	▼ Redução (-46%)	Maturação
Misto	CENTRO	Av. Rio Branco esq. Rua Benjamin Constant (B/C)	▼ Redução (-12,5%)	▼ Redução (-8,33%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Rio Branco esq. Rua Benjamin Constant (C/B)	▼ Redução (-28,57%)	▼ Redução (-29,41%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Rio Branco, 3760 (C/B) – Alto dos Passos	▼ Redução (-25,53%)	▼ Redução (-40,58%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Rio Branco, 3760 (B/C) – Alto dos Passos	▼ Redução (-29,41%)	▼ Redução (-25,81%)	Consolidado
Velocidade	CENTRO	Av. Rio Branco, 4.395 (B-C) – Boa Vista	▼ Redução (-18,18%)	▼ Redução (-15,15%)	Consolidado
Velocidade	CENTRO	Av. Itamar Franco, 4001 B-C - Dom Bosco	▲ Aumento (+83,33%)	▼ Redução (-41,03%)	Maturação
Velocidade	CENTRO	Av. Itamar Franco, 3309 B-C - São Mateus	▼ Redução (-21,43%)	▼ Redução (-54%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Itamar Franco com Padre Café B/C – São Mateus	▼ Redução (-17,24%)	▼ Redução (-15,25%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Itamar Franco com Padre Café C/B – São Mateus	▼ Redução (-20%)	▼ Redução (-40,54%)	Consolidado
Velocidade	CENTRO	Avenida Brasil, S/N - MD (B-C) - Mariano Procópio	▼ Redução (-9,09%)	▼ Redução (-27,54%)	Consolidado
Velocidade	CENTRO	Avenida Brasil, 437 - ME (C-B) - Manoel Honório	▼ Redução (-46,15%)	▼ Redução (-33,33%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Brasil (B/C) com Av. Rio Branco - Manoel Honório	▼ Redução (-22,86%)	▼ Redução (-38,37%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Brasil MD com rua Mar. Setembrino – Ladeira	▼ Redução (-53,63%)	▼ Redução (-32,26%)	Consolidado
Velocidade	CENTRO	Av. Brasil MD, 3357 – Ladeira	▼ Redução (-42,11%)	▼ Redução (-13,51%)	Consolidado
Velocidade	CENTRO	Avenida Brasil, 248 – ME (C-B) – Costa Carvalho	▲ Aumento (+42,86%)	▲ Aumento (+7,41%)	Ineficaz
Misto	CENTRO	Av. Brasil MD com rua Halfeld – Botânica C/B	▲ Aumento (+63,64%)	▲ Aumento (+65,79%)	Ineficaz
Misto	CENTRO	Av. Brasil ME com rua Halfeld – Botânica B/C	▼ Redução (-25%)	▲ Aumento (+12,24%)	Ineficaz
Velocidade	CENTRO	Av. Brasil, 669 – MD (Ambos sentidos) – Santa Teresa	▼ Redução (-16,67%)	▼ Redução (-8,33%)	Consolidado
Misto	CENTRO	Av. Paulo Japiassu (B/C) com Rua Tom Fagundes	▲ Aumento (+66,67%)	▼ Redução (-35,14%)	Maturação
Misto	CENTRO	Av. Paulo Japiassu (C/B) com Rua Tom Fagundes	▲ Aumento (+76,92%)	▼ Redução (-20%)	Maturação
Velocidade	CENTRO	Ladeira Alexandre Leonel, 785 B-C - Cascatinha	▲ Aumento (+25%)	▼ Redução (-57,14%)	Maturação
Velocidade	CENTRO	Ladeira Alexandre Leonel, 785 C-B - Cascatinha	▲ Aumento (+160%)	▼ Redução (-40%)	Maturação
Misto	CENTRO	Av. dos Andradas com Moraes Sarmento B/C	▲ Aumento (+20%)	▼ Redução (-22,64%)	Maturação
Misto	CENTRO	Av. dos Andradas com Moraes Sarmento C/B	▲ Aumento (+3,85%)	▲ Aumento (+7,35%)	Resistente
Misto	CENTRO	Av. dos Andradas com Benjamin Constant B/C	▲ Aumento (+53,33%)	▼ Redução (-27,78%)	Maturação
Misto	CENTRO	Rua Floriano Peixoto com Av. Rio Branco	▲ Aumento (+19,05%)	▲ Aumento (+12,24%)	Ineficaz
Misto	CENTRO	Av. Getúlio Vargas 200 com Rua Santa Rita	▲ Aumento (+33,33%)	▼ Redução (-39,76%)	Maturação
Velocidade	CENTRO	Av. Francisco Bernardino com Benjamin Constant	▲ Aumento (+27,27%)	▼ Redução (-42,86%)	Maturação

Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Em pontos específicos, a eficiência quantitativa não foi imediata durante a janela de seis meses após a ativação. Conforme conceituado na matriz metodológica deste capítulo, este fenômeno pode ser interpretado à luz da Psicologia do Tráfego,

na qual a mudança de comportamento do condutor e a consolidação do "Efeito Halo" espacial não ocorrem de forma instantânea, exigindo o período de maturação para que a percepção de risco e a certeza da punição alterem o padrão de condução no trecho (EVANS, 2004). Soma-se a este fator, o fato de o período anterior à reativação ainda estar associado a resquícios da pandemia, com fluxos veiculares atípicos. Essa dinâmica comportamental no Centro é sintetizada na Tabela 4.

Tabela 4. Tendências de Desempenho e Comportamento (Região Central)

Categoria de Tendência	Descrição do Comportamento	% de Ocorrência
Consolidada	Redução mantida desde o primeiro semestre de ativação.	52%
Maturação	Redução surge apenas no consolidado de 2023. (Psicologia do Tráfego)	32%
Resistente	Sinistros persistem (Demanda intervenção de Engenharia)	3%
Ineficaz / Deslocada	Sem redução (Demanda remanejamento)	13%

Fonte: Elaborado pelo autor

A predominância da Tendência Consolidada (52%) no Centro indica que, em áreas de alta saturação e visibilidade, o radar atua como um regulador instantâneo. O condutor local, já habituado à fiscalização histórica desta região, responde prontamente à presença dos equipamentos, o que valida a eficácia locacional no núcleo urbano.

4.6.3. Eixos Periféricos e Áreas de Expansão

A segunda etapa da análise contemplou os 27 pontos de fiscalização distribuídos nas demais Regiões de Planejamento (RP), abrangendo as extremidades e eixos de expansão urbana. Nestas áreas, embora 15 dos 27 pontos tenham reduzido as ocorrências (com uma expressiva redução média de 32,5%), cerca de 45% dos dispositivos demonstraram resistência ou ineficácia. Este comportamento, inversamente proporcional ao núcleo central, coloca a Maturação como protagonista da análise espacial nestes setores (Tabela 5).

Tabela 5. Matriz de Desempenho Colorimétrica dos Radares (Demais Regiões)

Tipo	RP	Localização	Janela (6 meses)	Cenário (2023 vs 18/19)	Tendência
Misto	CENTROESTE	Av. Brasil – MD, 6345 – Shopping Jardim Norte	▲ Aumento (+26,92%)	▼ Redução (-36,25%)	Maturação
Velocidade	CENTROESTE	Avenida Brasil, 7395 C-B – Cerâmica	▲ Aumento (+9,09%)	● Estável (+3,7%)	Resistente
Velocidade	CENTROESTE	Rua Coronel Vidal, 580 B-C – Cerâmica	▲ Aumento (+33,33%)	▼ Redução (-39,47%)	Maturação
Velocidade	CENTROESTE	Av. JK, 273 C-B – Francisco Bernardino	▲ Aumento (+11,76%)	▲ Aumento (+6,56%)	Resistente
Velocidade	CENTROESTE	Av. JK, 273 B-C – Francisco Bernardino	▼ Redução (-57,89%)	▲ Aumento (+30%)	Ineficaz
Velocidade	CENTROESTE	Av. JK, 1555 (Ambos sentidos) – Jôquei Clube	● Estável (0%)	▲ Aumento (+8,82%)	Resistente
Misto	CENTROESTE	Av. JK, 2945 - Barbosa Lage (Ambos sentidos)	▲ Aumento (+6,25%)	▼ Redução (-32,56%)	Maturação
Misto	CENTROESTE	Av. JK, 3689 - Jôquei II (Ambos sentidos)	▲ Aumento (+100%)	▲ Aumento (+15,56%)	Ineficaz
Velocidade	CENTROESTE	Av. Garcia R. Paes, 705 (Ambos sentidos) – Barbosa Lage	▲ Aumento (+200%)	▼ Redução (-33,33%)	Maturação
Velocidade	NORTE	Av. JK, 4.951 (Ambos sentidos) – Nova Era	▲ Aumento (+22,22%)	▲ Aumento (+7,69%)	Ineficaz
Velocidade	NORTE	Av. JK, 8040 - Miguel Marinho - Ambos sentidos	▲ Aumento (+300%)	▼ Redução (-16,67%)	Maturação
Velocidade	NORTE	Av. JK, 11423 (Ambos sentidos) – Barreira do Triunfo	▼ Redução (-25%)	▼ Redução (-25%)	Consolidado
Velocidade	NORTE	Av. Antonio Simão Firjan , 631 B-C – Distrito Industrial	▲ Aumento (+266,67%)	● Estável (+0%)	Resistente
Velocidade	NORTE	Av. Antonio Simão Firjan , 631 C-B – Distrito Industrial	▲ Aumento (+100%)	▲ Aumento (+33,33%)	Ineficaz
Velocidade	NORDESTE	Av. Barão do Rio Branco, 229 (C-B) – Manoel Honório	▲ Aumento (+80%)	▼ Redução (-31,25%)	Maturação
Velocidade	NORDESTE	Rua Alencar Tristão, 235-236 B-C – Santa Terezinha	▲ Aumento (+100%)	▼ Redução (-9,52%)	Maturação
Velocidade	NORDESTE	Rua Alencar Tristão, 235-236 C-B – Santa Terezinha	● Estável (+0%)	▼ Redução (-33,33%)	Maturação
Velocidade	NORDESTE	Rua Paracatu, 1250 C-B – Bandeirantes	▼ Redução (-25%)	▼ Redução (-7,14%)	Consolidado
Velocidade	NORDESTE	Rua Paracatu, 1581 B-C - Bandeirantes	▼ Redução (-20%)	▲ Aumento (+45,45%)	Ineficaz
Velocidade	NORDESTE	Av. Juiz de Fora, 25 C-B – Recanto dos Lagos	▲ Aumento (+100%)	▼ Redução (-66,67%)	Maturação
Velocidade	NORDESTE	Av. Juiz de Fora, 25 B-C – Recanto dos Lagos	● Estável (0%)	▲ Aumento (+14,29%)	Resistente
Velocidade	NORDESTE	Av. Diomar Monteiro, 2215 (Ambos os sentidos) - Grama	▼ Redução (-40%)	▲ Aumento (+100%)	Ineficaz
Velocidade	LESTE	Rua Diva Garcia, 1677 B-C – Bom Jardim	● Estável (0%)	▼ Redução (-28,57%)	Maturação
Velocidade	OESTE	Est. Gentil Forn, 1000 (Ambos sentidos) – São Pedro	● Estável (0%)	▼ Redução (-83,33%)	Maturação
Velocidade	SUL	Av. Deusdedit Salgado, 4895 B-C - Salvaterra	▼ Redução (-100%)	▼ Redução (-16,67%)	Consolidado
Velocidade	SUL	Av. Deusdedit Salgado, 3300 C-B - Teixeira	▼ Redução (-25%)	▲ Aumento (+200%)	Ineficaz
Velocidade	SUDESTE	Av. Francisco Valadares, 1000 (Ambos sentidos) – Vila Ideal	▼ Redução (-56,25%)	▼ Redução (-28%)	Consolidado

Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Diferente do cenário central, a periferia apresenta uma taxa de Ineficácia (26%) significativamente superior (Tabela 6). Este dado sugere que, em vias de trânsito rápido ou áreas mais afastadas, a instalação do radar pode sofrer com o deslocamento espacial do risco. Ou seja, o motorista reduz a velocidade pontualmente ao transitar pelo radar, mas o sinistro ocorre no Hotspot localizado a poucos metros da área de influência direta.

Tabela 6. Tendências de Desempenho e Comportamento (Demais Regiões)

Categoria de Tendência	Descrição do Comportamento	% de Ocorrência
Consolidada	Redução mantida desde o primeiro semestre de ativação.	15%
Maturação	Redução surge apenas no consolidado de 2023. (Psicologia do Tráfego)	41%
Resistente	Sinistros persistem (Demanda intervenção de Engenharia)	19%
Ineficaz / Deslocada	Sem redução (Demanda remanejamento)	26%

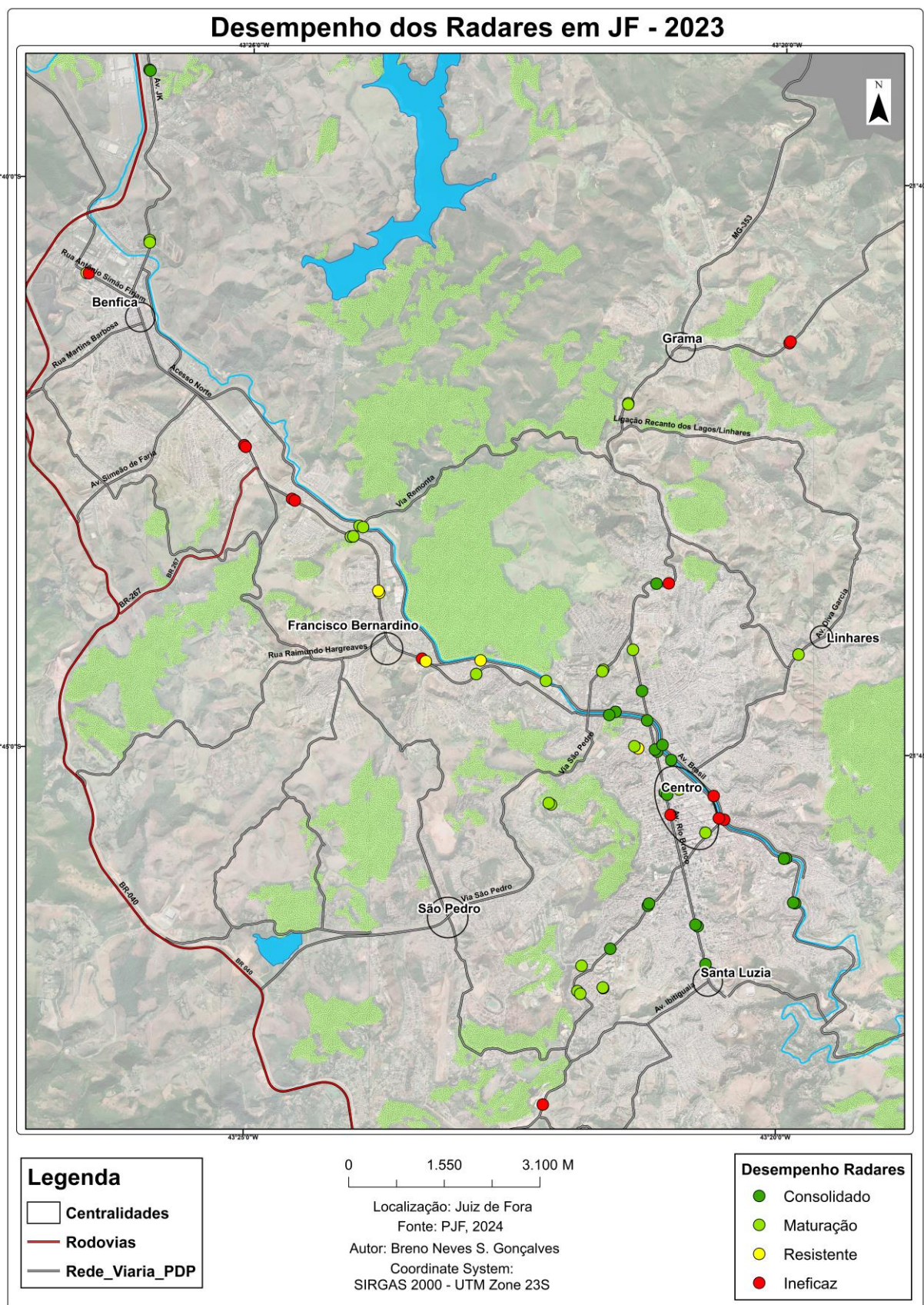
Fonte: Elaborado pelo autor

Ademais, os 19% de Resistência identificados indicam que a fiscalização eletrônica isolada não é suficiente para mitigar o risco em certas geometrias viárias.

Nestes trechos críticos, a segurança viária demanda intervenções complementares de engenharia e desenho urbano, fundamentadas no conceito de Sistemas Seguros (WRI BRASIL, 2021), visando forçar a redução da velocidade através da configuração física da via e não apenas pela punição administrativa.

Para consolidar a espacialização desses resultados e permitir uma visão holística do sistema de fiscalização, o Mapa 7 apresenta a distribuição geográfica de todos os dispositivos monitorados, categorizados por sua simbologia de desempenho (Consolidado, Maturação, Resistente e Ineficaz). Esta representação cartográfica torna visível o padrão discutido: a mancha de eficácia consolidada no núcleo urbano central em contraste com os desafios de maturação e os pontos de ineficácia distribuídos ao longo dos eixos distais.

Mapa 7. Desempenho dos Radares em Juiz de Fora



Fonte: Elaborado pelo autor

4.6.4. Sobreposição Espacial: Densidade de Kernel e Coerência Territorial

A etapa de sobreposição dos mapas de calor com os pontos de fiscalização permitiu validar a coerência territorial da gestão pública em Juiz de Fora (Mapa 8). Esta análise espacial teve como objetivo verificar se o posicionamento dos dispositivos de controle de velocidade reflete a realidade estatística dos sinistros ou se atende a critérios preventivos específicos.

Em grande parte do sistema, observou-se uma convergência técnica, os radares foram estrategicamente posicionados em exatos pontos onde a análise de Kernel apontava a maior densidade histórica de ocorrências, classificados tecnicamente como *Hotspots*. Nestes locais, a fiscalização atua diretamente sobre o sintoma da insegurança viária, servindo como uma resposta imediata à concentração de sinistros identificada pela ciência de dados.

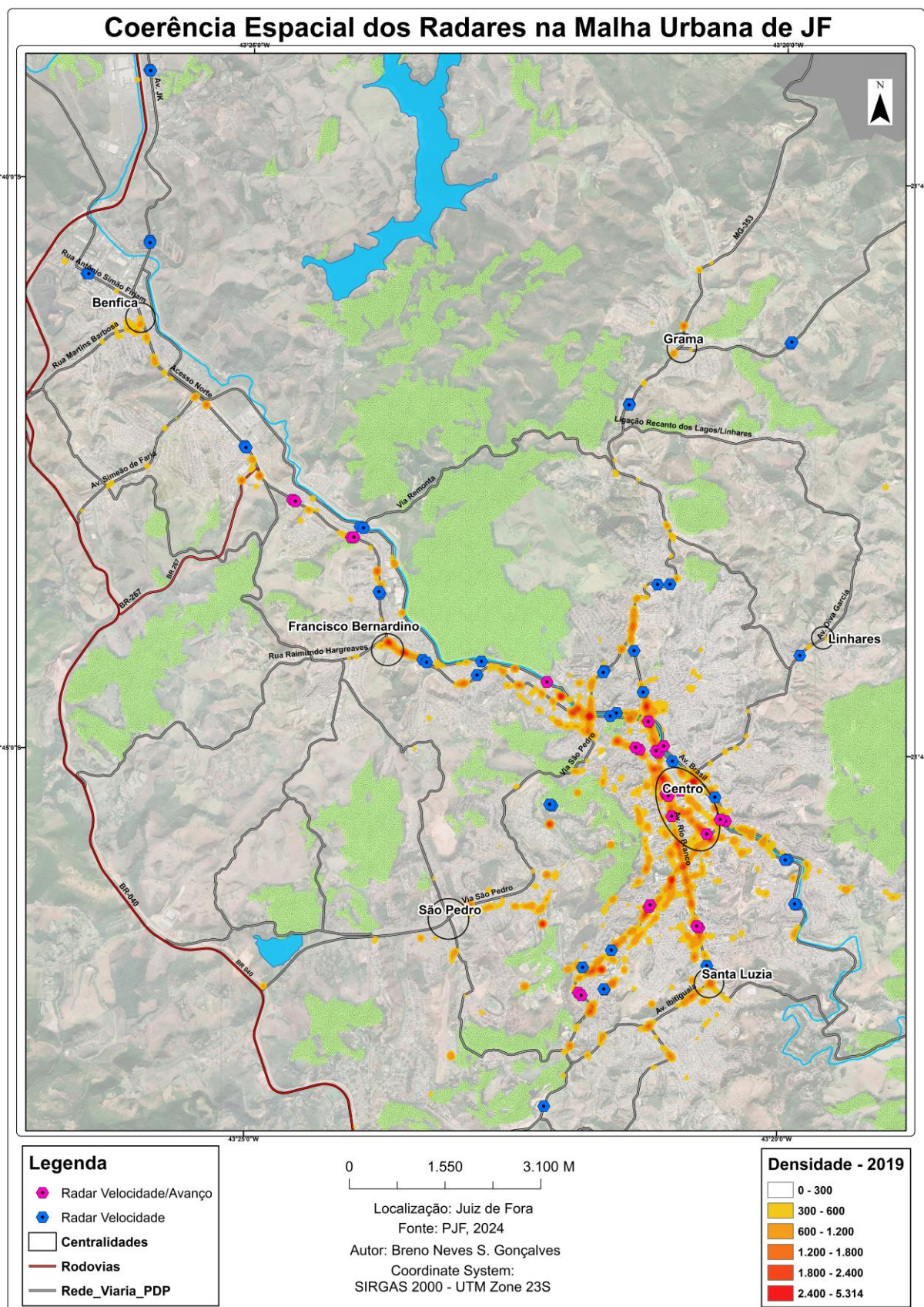
Contudo, a análise espacial também revelou casos em que os equipamentos estavam distantes das regiões de maior criticidade ou em locais com baixa densidade de sinistros registrados. Algumas dessas situações específicas, a instalação justificou-se pelo caráter preventivo e educativo, situando-se em áreas de:

- Travessias de parques públicos e áreas de lazer;
- Zonas escolares e polos geradores de tráfego;
- Áreas de alta circulação de pedestres vulneráveis.

Nesse sentido, a ausência de sinistros prévios não indica a desnecessidade do equipamento, mas sim uma ação proativa da engenharia de tráfego. Como defende a abordagem do Sistema Seguro (*Safe System*), o planejamento urbano deve antecipar o erro humano e proteger áreas de convivência social antes que o risco potencial se converta em tragédia.

Este alinhamento técnico entre a Ciência de Dados Espacial e a tomada de decisão governamental reforça a fiscalização eletrônica não como um fim punitivo, mas como um instrumento indispensável de salvaguarda da vida e promoção da equidade no espaço urbano. Assim, o radar deixa de ser uma medida reativa para se tornar uma ferramenta de *design* preventivo do território.

Mapa 8. Sobreposição da Rede de Radares à Densidade Kernel de Sinistros em JF (2019)



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Apesar da coerência geral do sistema, a análise espacial revelou casos críticos de anacronismo locacional, onde o dispositivo de fiscalização, embora tecnicamente funcional, encontra-se geograficamente descompassado em relação à dinâmica atual de risco. O Mapa 9 ilustra este fenômeno através de um comparativo entre 2019 e 2023 em um dos eixos de maior pressão imobiliária da cidade: a Avenida Deusdedith Salgado.

No cenário de 2019, a distribuição da sinistralidade guardava certa aderência ao traçado viário original, com o radar posicionado em um trecho retilíneo de alta velocidade. Contudo, o recorte de 2023 revela uma mutação profunda na morfologia do risco. A mancha de calor não apenas se intensificou, como migrou para novos epicentros, curvas acentuadas e interseções que hoje servem de acesso a novos empreendimentos. Este diagnóstico é alarmante, pois demonstra que, mesmo com a presença da fiscalização, houve um acréscimo expressivo de sinistros no entorno.

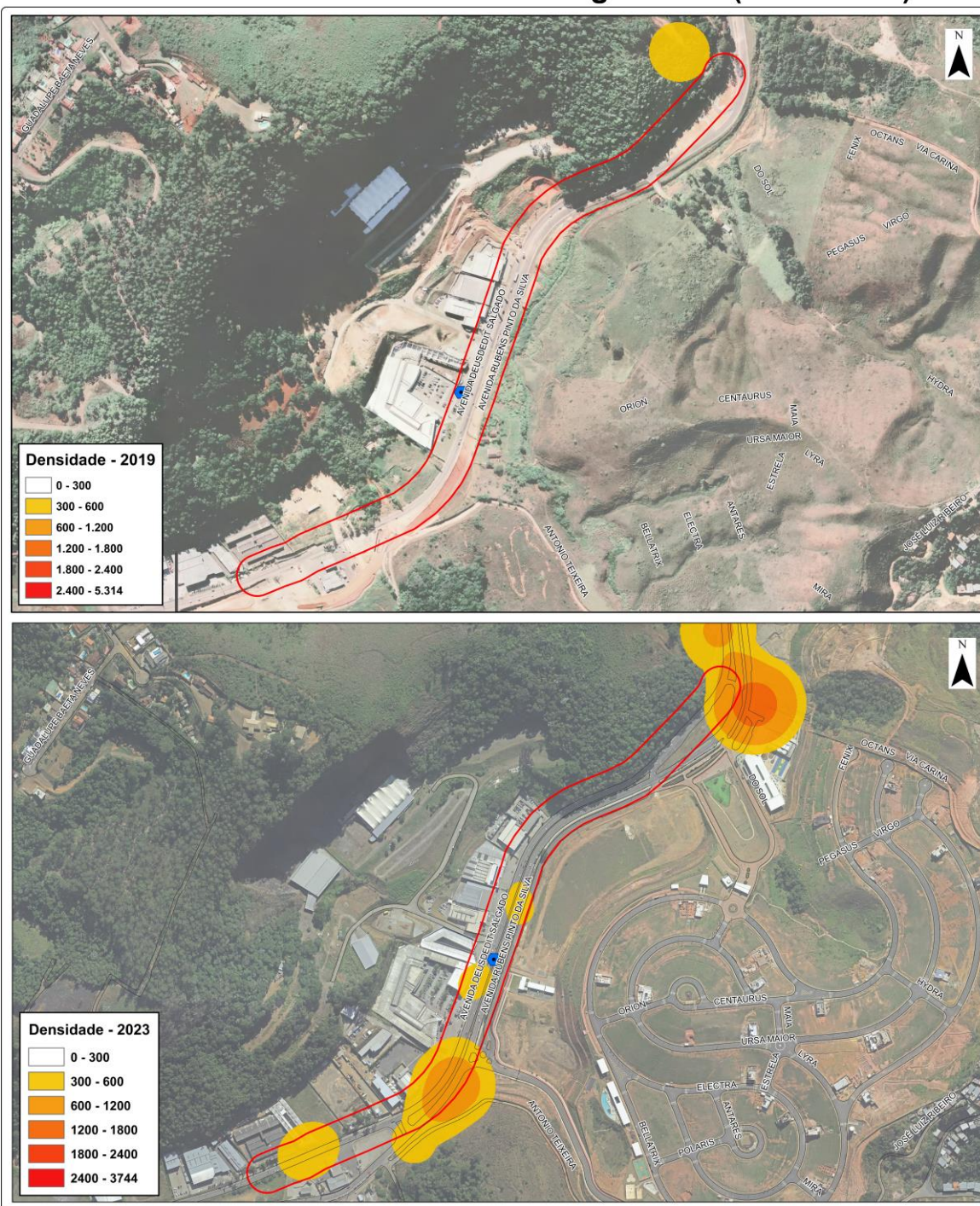
Este cenário classifica o dispositivo como ineficaz em sua configuração atual, evidenciando que a eficácia da segurança viária é uma corrida contra a urbanização difusa e acelerada da Região Sul. A transformação deste entorno, marcada pela proliferação de condomínios residenciais e centros comerciais, alterou a natureza da via, que deixou de ser um eixo puramente arterial para se tornar uma avenida de integração local saturada. A análise comparativa sugere dois fatores primordiais para este descompasso:

- **Obsolescência da Malha de Monitoramento:** O radar foi planejado para uma realidade viária que não previa a multiplicação de pontos de conversão e intersecção gerados pela especulação imobiliária recente.
- **Dissociação entre Velocidade e Geometria:** Enquanto o radar monitora a velocidade em um trecho de boa visibilidade (reta), o risco real deslocou-se para os gargalos geométricos e novos pontos de decisão do condutor, onde o desenho da via não acompanhou o adensamento populacional.

Este caso exemplifica que a fiscalização eletrônica em Juiz de Fora não pode ser uma política estática. A persistência dos sinistros na Av. Deusdedith Salgado confirma que o controle de velocidade, se desvinculado de revisões periódicas e de intervenções de engenharia que respondam à expansão territorial, torna-se uma ferramenta paliativa e insuficiente diante da complexidade da ocupação urbana.

Mapa 9. Análise Fiscalização Eletrônica - Deusdedith Salgado (2019/2023)

Análise Radar - Av. Deusdedith Salgado C/B (2019 / 2023)



0 160 320 M

Localização: Juiz de Fora

Fonte: PJF, 2024

Autor: Breno Neves S. Gonçalves

Coordinate System:

SIRGAS 2000 - UTM Zone 23S

Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Outra hipótese que esta pesquisa levanta para os casos de ineficácia locacional, é a respeito da Geometria Indutora:

- **Visibilidade vs. Adjacência Crítica:** A norma técnica exige, corretamente, que os dispositivos sejam instalados em trechos com visibilidade plena para garantir a transparência da fiscalização. Todavia, a ineficácia surge quando o ponto de instalação é escolhido prioritariamente pela facilidade de avistamento em trechos de geometria dócil (retas), negligenciando a adjacência imediata ao ponto crítico. O ideal técnico é que o radar atue como um redutor de velocidade que antecede o erro induzido pela via (curvas acentuadas ou declividades), garantindo que o ciclo PIEV ocorra antes do ingresso no trecho de maior risco.
- **O "Ponto de Fuga":** Observa-se casos de comportamento do condutor em reduzir a velocidade estritamente na seção transversal de monitoramento e retomando a aceleração imediatamente após a transposição do equipamento. Quando a distância entre o radar e o *hotspot* real excede a área de influência direta do dispositivo, o condutor atinge velocidades críticas justamente no ponto onde a geometria da via exige maior cautela. Assim, a eficácia é comprometida não pela visibilidade do radar, mas pela sua excessiva distância do ponto de massa dos sinistros, permitindo a recomposição da energia cinética antes do trecho crítico.

Essa constatação reforça que a precisão no geoprocessamento deve preceder a instalação física. A existência desses radares "deslocados" sugere também que o planejamento original pode ter se baseado em dados agregados (por logradouro ou bairro) em vez de coordenadas geográficas precisas (latitude/longitude).

Portanto, o remanejamento desses dispositivos para o "olho" da mancha de Kernel não é apenas uma sugestão técnica, mas uma estratégia para garantir que o Efeito Halo do radar cubra, de fato, a zona de maior severidade de sinistros, transformando o equipamento de um ponto de controle isolado em uma ferramenta de proteção do trecho crítico.

4.6.5. Síntese Comparativa e Proposições de Manejo Territorial

A análise comparativa revela que a fiscalização eletrônica em Juiz de Fora é uma ferramenta eficaz, porém sensível à escala geográfica e ao desenho urbano. A

predominância da Tendência Consolidada (52%) no Centro valida a maturidade do sistema no núcleo urbano, enquanto a expressiva Tendência de Maturação (41%) nas periferias comprova que, em eixos de maior velocidade, o condutor exige um tempo de exposição mais prolongado para a internalização da norma.

No entanto, os pontos de Ineficácia (26%) e Resistência (19%) observados nas demais localidades demandam uma transição da fiscalização punitiva para uma gestão baseada em evidências espaciais. Diante desses achados, propõem-se:

- **Otimização Locacional:** Para os trechos classificados como "Ineficazes", recomenda-se a auditoria dos polígonos de conflito. O remanejamento desses equipamentos para os centros de massa dos *hotspots* identificados pela análise de Kernel pode eliminar o descompasso entre o ponto de controle e o ponto de ocorrência.
- **Intervenção Urbanística:** Nos locais de "Resistência", onde a redução de velocidade via radar não foi suficiente para mitigar os sinistros, torna-se imperativo o emprego de medidas de *traffic calming* e requalificação geométrica. A aplicação de conceitos abordados por exemplo no livro "Cidades para Pessoas" de Jan Gehl, como a redução da largura das faixas e a melhoria da visibilidade em cruzamentos, deve complementar a fiscalização eletrônica.
- **Educação para a Maturação:** Nos eixos onde a eficácia é de maturação lenta, as campanhas educativas devem reforçar o Efeito Halo, informando ao condutor que a fiscalização não visa apenas o ponto fixo, mas a segurança de todo o corredor viário.

Em suma, os resultados provam que a fiscalização em Juiz de Fora é eficaz, mas sua eficiência máxima não é automática, ela depende de um ajuste fino entre a Psicologia do Tráfego (tempo de maturação) e a contínua revisão espacial (precisão locacional via Geoprocessamento).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação permitiu compreender, por meio da análise espacial dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora, que a insegurança viária não é um evento aleatório, mas um fenômeno geográfico estruturado. A distribuição das ocorrências segue padrões claros, concentrados nos eixos arteriais de grande fluxo e nas centralidades urbanas, refletindo as contradições de uma cidade média em transição. Através do uso do *software* ArcGIS, e da Estimativa de Densidade de Kernel, foi possível validar que a fiscalização eletrônica em Juiz de Fora está, em sua maioria, estrategicamente posicionada nos *hotspots* de maior densidade histórica.

Entretanto, a eficácia observada após a reativação dos equipamentos em 2022 não se manifesta de forma homogênea. O estudo identificou que, enquanto a região central apresenta maior maturidade de resposta imediata, áreas periféricas revelam descompassos locacionais e uma necessidade de maior tempo para consolidação de uma cultura de respeito às normas de circulação viária. A estabilidade dos índices em determinadas vias indica que a fiscalização, de forma isolada, é insuficiente, demandando a superação de um modelo estritamente reativo em favor de uma gestão proativa, baseada na integração entre Engenharias, Educação e Esforço Leagl.

Nesse sentido, a pesquisa evidenciou que a sinistralidade é também reflexo de um modelo de desenvolvimento urbano historicamente orientado à priorização da fluidez motorizada individual em detrimento da segurança coletiva. A estrutura radial de Juiz de Fora, associada ao crescimento contínuo da frota e à retração do transporte público, perpetua para a manutenção de desigualdades socioespaciais, nas quais o deslocamento urbano se torna um obstáculo à plena participação na vida cotidiana da cidade. Assim, a gestão da velocidade por meio de dispositivos de fiscalização eletrônica deve ser compreendida como parte de um conjunto mais amplo de políticas voltadas à construção de um Sistema Seguro, em consonância com os princípios discutidos por Gehl (2013).

A transição para esse modelo exige a redistribuição do espaço viário, deslocando o foco da infraestrutura centrada no automóvel para uma lógica orientada à escala humana. Nesse contexto, a qualificação do espaço público, por meio da ampliação das condições de caminhabilidade, acessibilidade e segurança viária,

assim como da diversificação dos modos de deslocamento, apresenta-se não apenas como uma estratégia urbanística, mas como política de preservação da vida.

Embora o modal ciclovitário represente uma alternativa relevante para redução da dependência do automóvel e mitigação da pressão sobre os principais eixos viários da cidade, reconhece-se que sua ampliação em Juiz de Fora ainda enfrenta importantes limitações estruturais, econômicas e sociais. A própria adoção de bicicletas elétricas e assistidas, frequentemente apontadas como solução para superar os desníveis topográficos da cidade, ainda permanece distante da realidade de grande parcela da população, em razão dos custos de aquisição e manutenção envolvidos. Ainda assim, os avanços tecnológicos demonstram potencial para ampliar, gradualmente, as possibilidades de uso da bicicleta em cidades de relevo acidentado, desde que acompanhados de políticas públicas voltadas à democratização do acesso, incentivo à mobilidade ativa e implantação de infraestrutura adequada e segura. Como destaca Toledo (2020), investir em modos ativos de deslocamento e em infraestrutura ciclovitária significa também promover equidade territorial, ambiental e social, ampliando as possibilidades de acesso à cidade e reduzindo desigualdades historicamente produzidas pela lógica do transporte centrado no automóvel.

Dessa forma, mais do que defender soluções isoladas, este trabalho aponta para a necessidade de integração entre planejamento urbano, políticas de mobilidade e justiça socioespacial, entendendo a segurança viária como elemento central para garantia do direito à cidade.

Por fim, esta pesquisa reforça que a mobilidade segura depende da capacidade do Estado em compreender onde e por que os riscos se concentram. O uso de Geotecnologias deixa de assumir apenas caráter descritivo para consolidar-se como instrumento de apoio à decisão, permitindo que intervenções sejam fundamentadas em critérios técnicos e evidências espaciais. Espera-se, assim, que os achados aqui apresentados possam subsidiar futuras políticas públicas e contribuir para que Juiz de Fora avance na construção de uma mobilidade urbana mais segura, equitativa e sustentável para toda a população.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10697: Pesquisa de sinistros de trânsito — Terminologia**. Rio de Janeiro-RJ, 2020. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

BELIN, M. A. *et al.* **The Vision Zero**: from a Finnish–Swedish local initiative to a global strategy for modern road safety. *Journal of Safety Research*, v. 43, n. 1, p. 31-39, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Projeto Vidas no Trânsito: avaliação da implantação em cinco capitais brasileiras**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/saude>>.

_____. Ministério dos Transportes. **Frota de veículos 2024**. Brasília: Ministério dos Transportes, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>.

_____. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília, DF: Presidência da República, [1997]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm>.

_____. **Lei Nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Diário Oficial da União, Brasília/DF, 04 jan. 2012.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>

CARVALHO, C. H. R. de. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do Ipea sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias**. Texto para Discussão, Brasília, v. 2565, p. 1-26, jun. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10075/1/td_2565.pdf>.

CET – COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual de Sinistros Viários 2023**. São Paulo: CET, 2023. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br>>.

CONTRAN – CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Resolução nº 798, de 2 de setembro de 2020**. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores. Brasília, DF: Ministério da Infraestrutura, 2020.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 2002.

D'AGOSTO, M. de A. **Transporte, Uso de Energia e Impactos Ambientais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Manual de implantação de redutores de velocidade tipo lombada: (lombada e ondulação transversal)**. Rio de Janeiro: IPR, 2011. 26 p. (Publicação IPR, 735).

ELVIK, R. *et al.* **The Handbook of Road Safety Measures**. 2. ed. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 2009.

ELVIK, R. Analysis of the effects of speed cameras on speed and accidents. **Accident Analysis & Prevention**, v. 43, n. 3, p. 1104-1104, 2011.

EVANS, L. **Traffic Safety**. Bloomfield Hills, MI: Science Serving Society, 2004.

FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto; RAIA JR., Archimedes Azevedo. **Segurança Viária**. São Carlos, SP. Suprema Gráfica e Editora, 2012. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufri.br/images/SEGURAN%C3%87A%20VI%C3%81RIA%20COMPLETO.pdf>>

GEHL, Jan. **Cidade para pessoas**. 2. ed. Tradução: Anita Di Marco. São Paulo: Perspectiva, 2013.

GERALDO, Watuse Mirian de Jesus. **A reestruturação urbana pós-fordista de Juiz de Fora**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói. Disponível em: <<https://www2.uff.br/latur/wp-content/uploads/sites/635/2011/07/A-REESTRUTURA%C3%87%C3%83O-URBANA-P%C3%93S-FORDISTA-DE-JUIZ-DE-FORA.pdf>>

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F.; MAGUIRE, David J.; RHIND, David W. **Geographic information systems and science**. New York: Wiley, 2000.

HARVEY, David. **A crise da urbanização planetária**. Blog da Boitempo. São Paulo, 10 jan. 2015. Disponível em: <<https://blogdaboitempo.com.br/2015/01/10/david-harvey-a-crise-da-urbanizacao-planetaria/>>.

HAUER, E. *et al.* Speed enforcement and speed choice. **Accident Analysis & Prevention**, v. 14, n. 4, p. 267-278, 1982.

IBGE. **Censo demográfico de 2022**. Disponível em <<http://censo2022.ibge.gov.br/>>.

_____. **Regiões de Influência das Cidades: 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

ITE – INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. **Traffic Engineering Handbook**. 7. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. Disponível em: <<https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-5005770-f2910bca4f.pdf>>

ITF. **Zero Road Deaths and Serious Injuries: Leading a Paradigm Shift to a Safe System**. Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: <<https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/zero-road-deaths.pdf>>

LEÃO, Matheus Carvalho. **Análise da evolução das taxas de sinistros de trânsito em Uberlândia - MG: estratégias de educação e segurança para uma mobilidade sustentável**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/44494>>.

LEFEBVRE, Henri. **O Direito à Cidade**. 5 ed. São Paulo: Ed. Centauro, 2008.

MACHADO, Pedro José de Oliveira. **Formação e ordenamento territorial de Juiz de Fora: um exercício de Geografia Histórica**. 1. Ed. Florianópolis/SC: Autores do Brasil, 2023.

MAGAGNIN, Renata Cardoso; SILVA, Antônio Néson Rodrigues da. **A percepção do especialista sobre o tema mobilidade urbana**. Revista TRANSPORTES, v. XVI, p. 25-35, junho 2008.

MILLER, Harvey J.; SHAW, Shih-Lung. **Geographic information systems for transportation: principles and applications**. New York: Oxford University Press, 2001.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Global status report on road safety 2018**. Geneva: World Health Organization, 2018.

ONSV - OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. **OMS divulga relatório sobre mortes no trânsito e sugere redução de velocidade em áreas urbanas**. 2019. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/comunicacao/artigos/oms-divulga-relatorio-sobre-mortes-no-transito-e-sugere-reducao-de-velocidade-em-areas-urbanas>>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA – PJF. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora – PDDU – JF / 2000**. PJF (2004). Juiz de Fora: Funalfa, 2004.

_____. **Plano de Mobilidade Urbana de Juiz de Fora – PlanMob / JF**. Secretaria de Transporte e Trânsito – SETTRA. Juiz de Fora, Julho de 2016. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/smu/servicos/arquivos/plano_mobilidade_151216.pdf>.

ROLNIK, Raquel. **Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças**. São Paulo: Boitempo, 2017.

SALLES, B. C. C. **Espacialização dos acidentes de trânsito em Goiânia - GO nos anos de 2014, 2015 e 2016.** 2020. 160 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.3906>. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/29484>>.

SANTOS, Milton; SILVEIRA, Maria Laura. **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI.** São Paulo: Editora Record, 2001.

SILVA, J. A. *et al.* **Análise espacial dos sinistros de trânsito e o tempo de resposta do SAMU em capital do Nordeste brasileiro.** Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 22, p. e190034, 2019.

SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão. **As cidades médias e os contextos econômicos contemporâneos.** In: SPOSITO, M. E. B. (org). Urbanização e cidades: perspectivas geográficas. Presidente Prudente: 2001. p. 609–643.

TfL - TRANSPORT FOR LONDON. **Vision Zero Action Plan: Progress Report.** London: TfL, 2021. Disponível em: <https://tfl.gov.br>.

TRAFIKVERKET. **Swedish Transport Administration Annual Report 2021.** Borlänge: Trafikverket, 2021.

TOLEDO, Raul. **Mobilidade urbana e o uso da bicicleta nas cidades médias brasileiras.** Revista Transporte e Desenvolvimento, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 45–62, 2020.

TUNNARD, C.; PUSHKAREV, B. **Man-made America: chaos or control? An inquiry into selected problems of design in the urbanized landscape.** New Haven: Yale University Press, 1963.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara de. **Mobilidade urbana e cidadania.** Rio de Janeiro: SENAC Nacional, 2012.

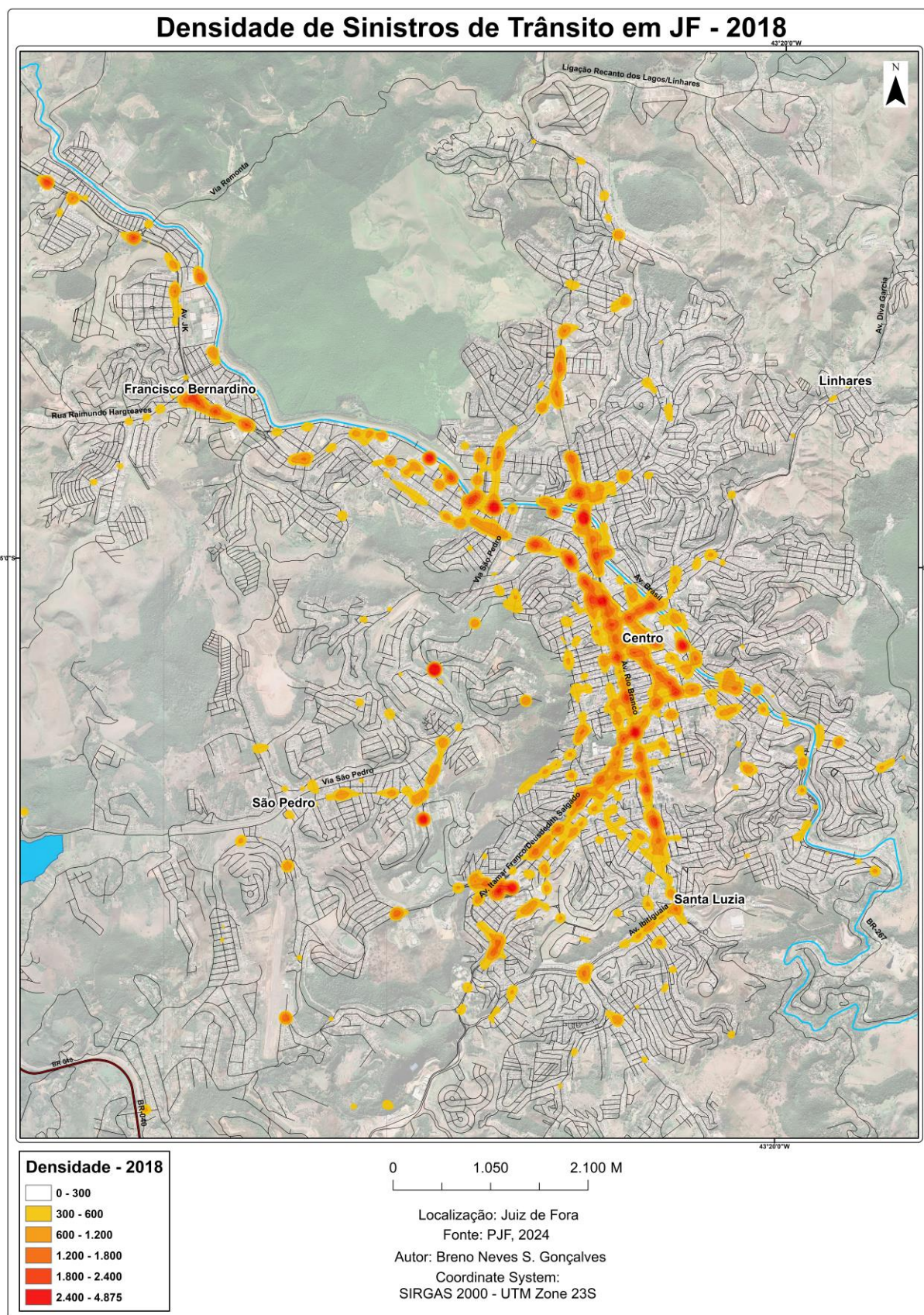
VILLAÇA, Flávio. **Espaço intra-urbano no Brasil.** São Paulo: Studio Nobel, 2001.

WRI BRASIL. **Sinistros de trânsito: saiba por que os acidentes de trânsito não são acidentes.** São Paulo, 21 maio 2021. Disponível em: <www.wribrasil.org.br/noticias/por-que-sinistros-de-transito-nao-sao-acidentes-e-como-podem-ser-evitados>.

ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento Conceitos e Definições.** PPGE0 – UFJF. V.7, Nº 2, 2017. Juiz de Fora, 2017.

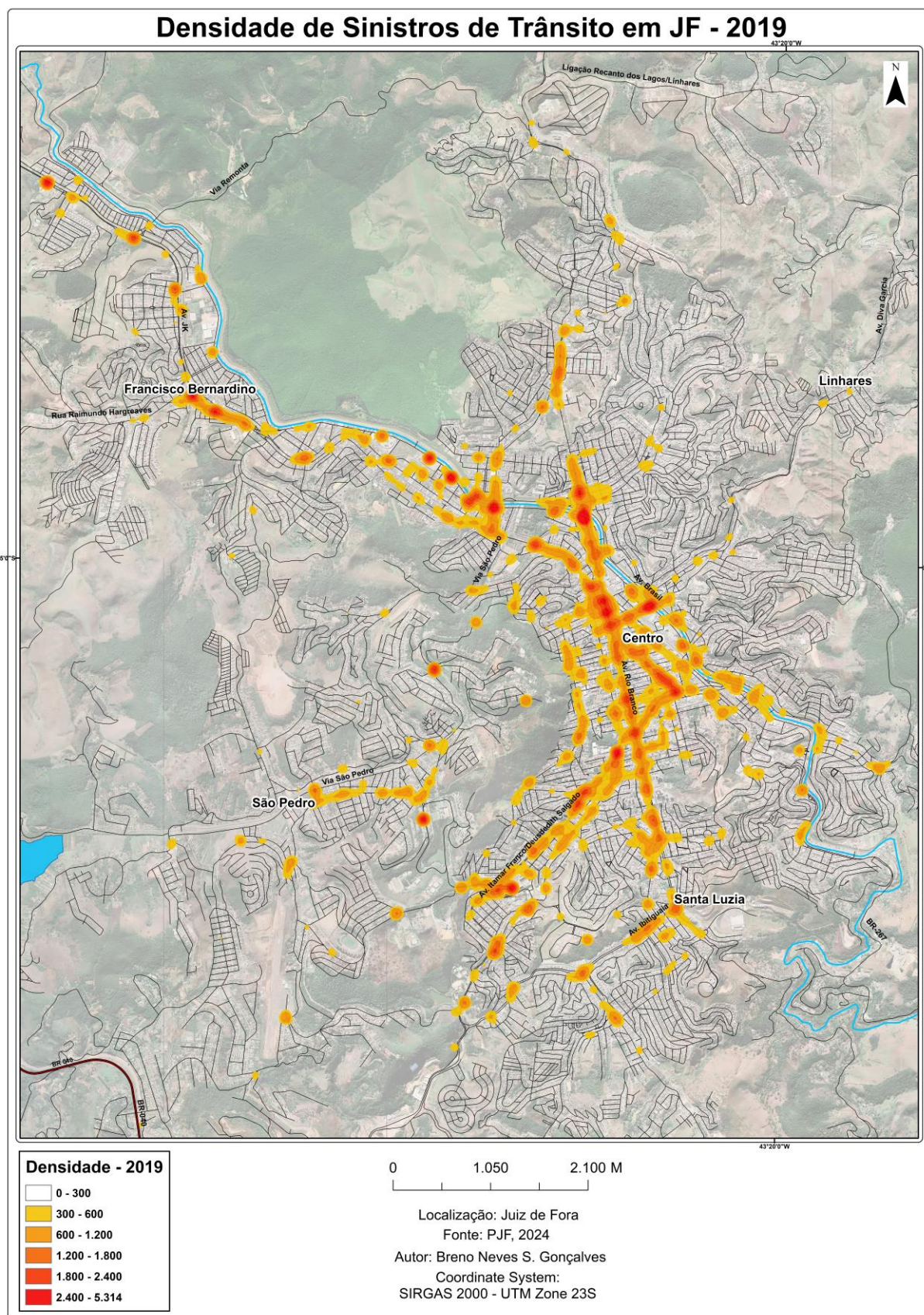
ANEXOS

Mapa 10. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2018



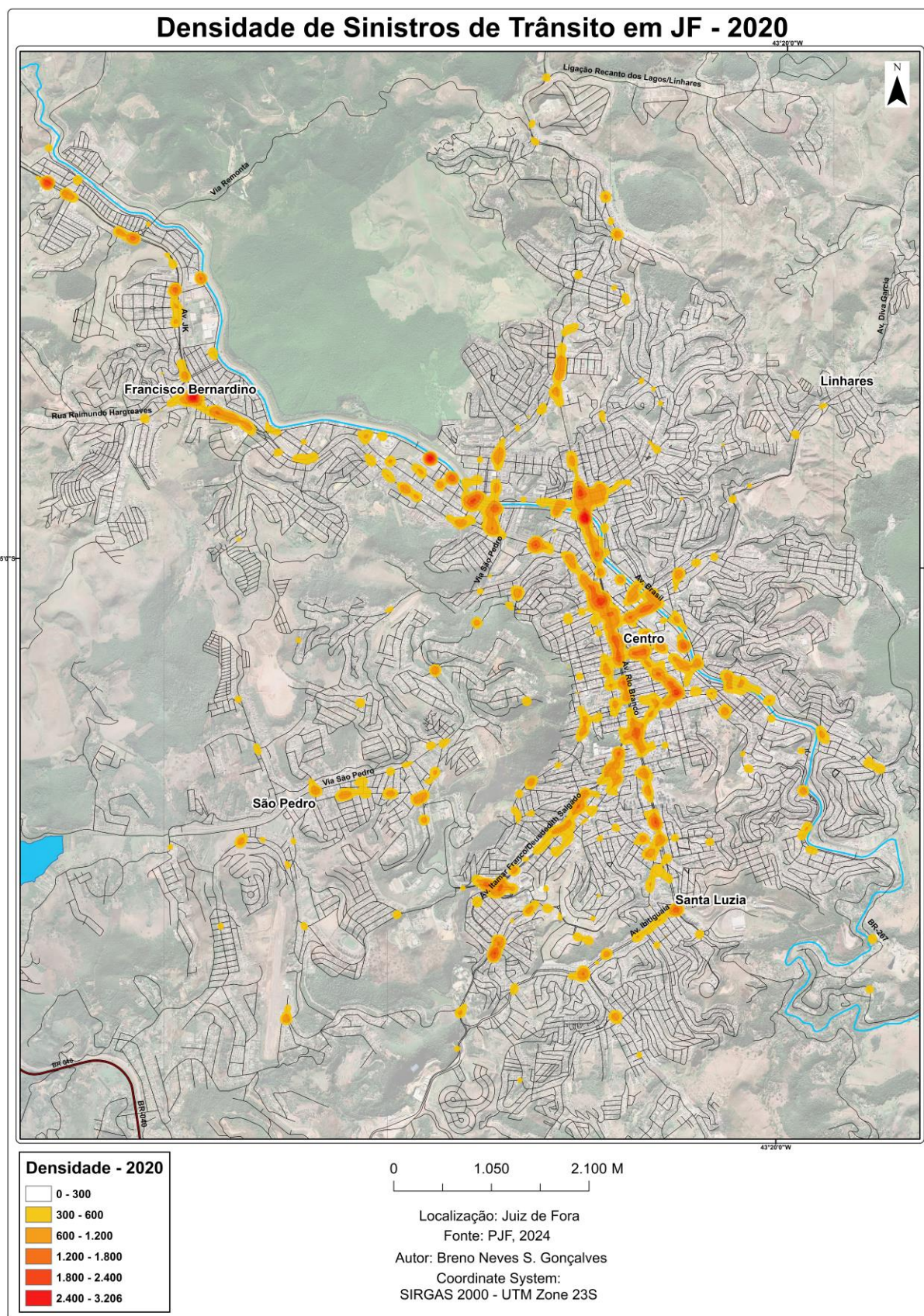
Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Mapa 11. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2019



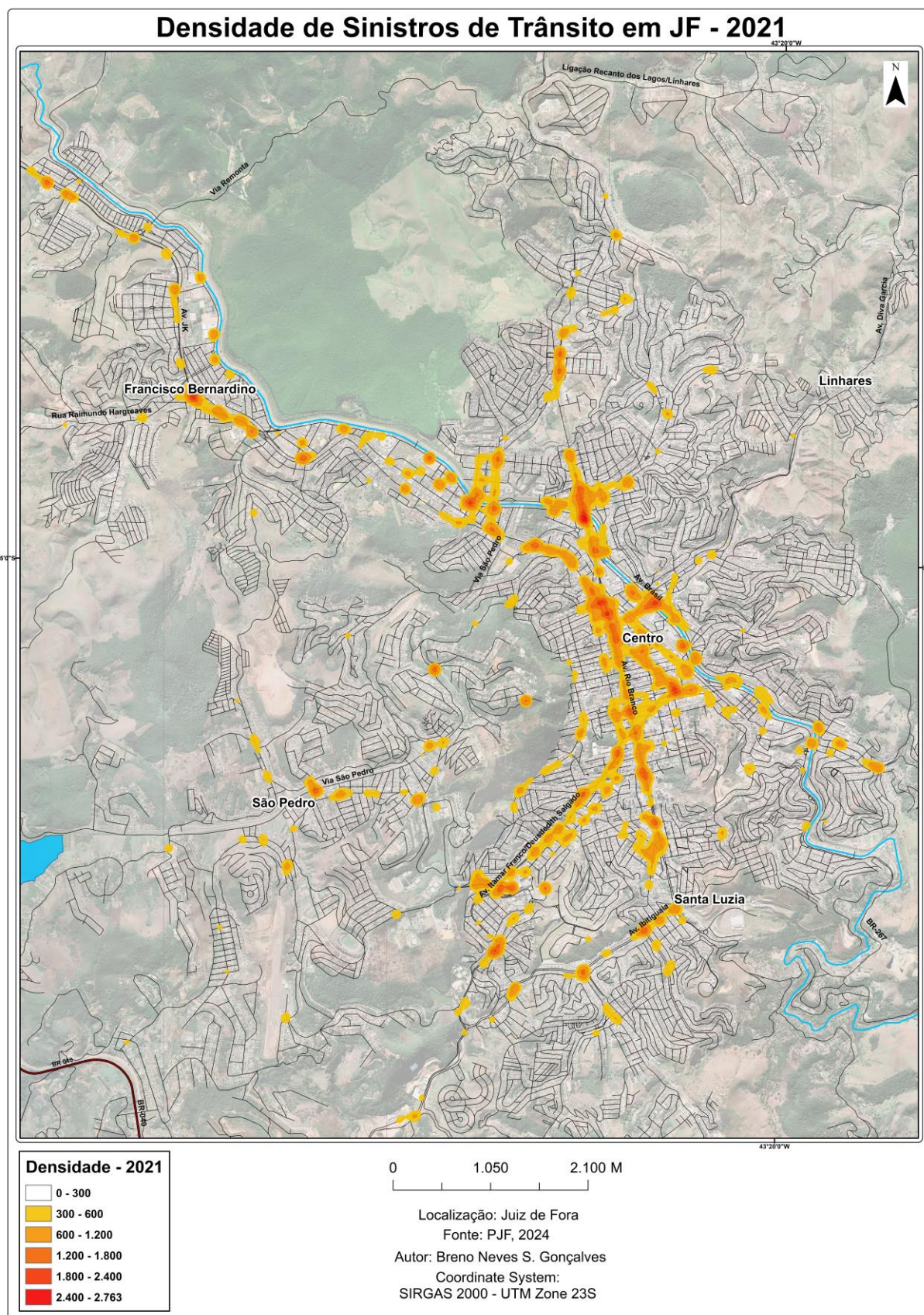
Fonte: PJJ - Elaborado pelo autor

Mapa 12. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2020



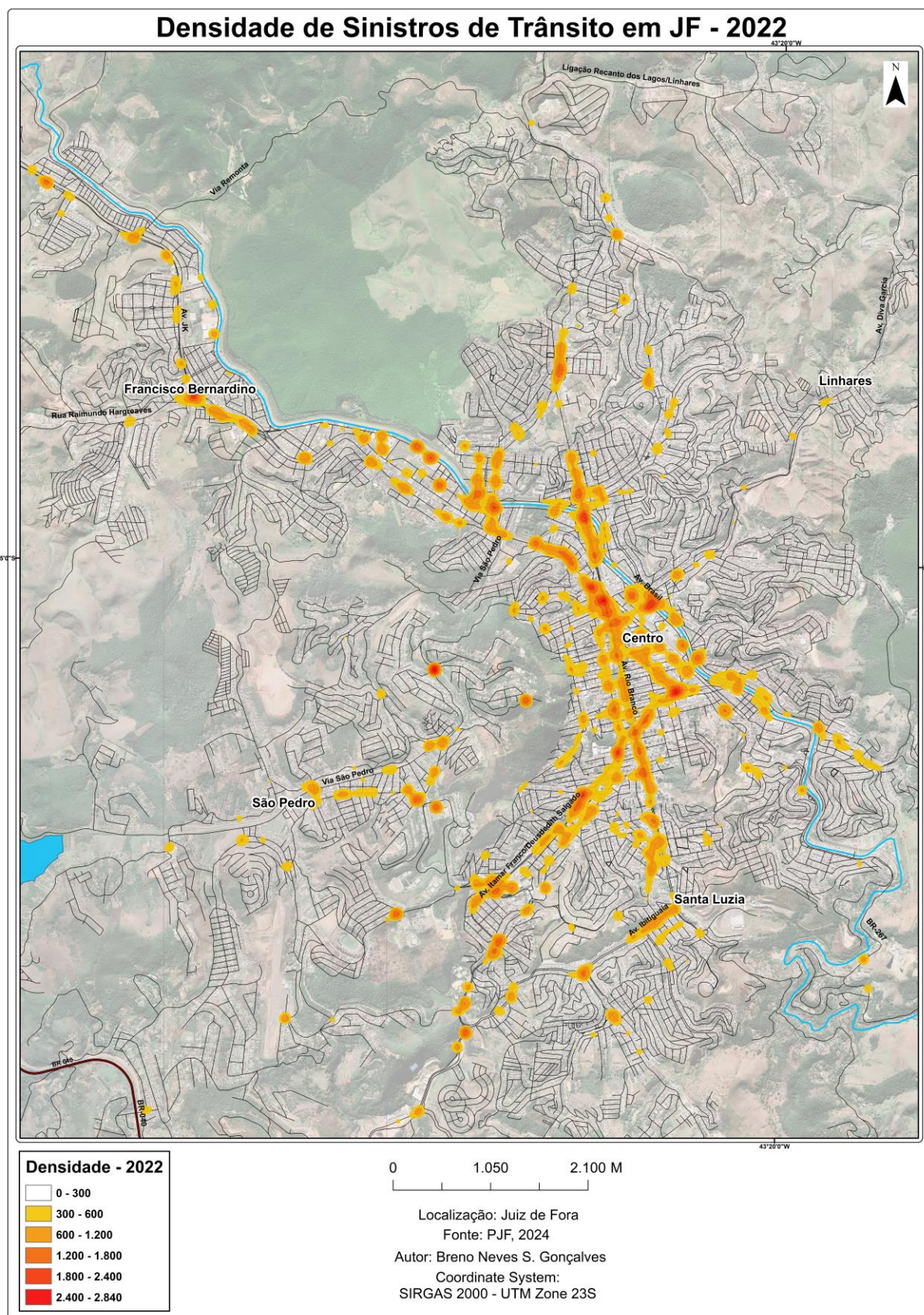
Fonte: PJF - Elaborado pelo autor

Mapa 13. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2021



Fonte: PJJ - Elaborado pelo autor

Mapa 14. Densidade dos sinistros de trânsito em Juiz de Fora - 2022



Fonte: PJF - Elaborado pelo autor