



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



JOÃO VICTOR LAISTER BARCELOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
O USO DE DRONES PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE
USUÁRIOS EM RODOVIAS

Uberlândia
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



JOÃO VICTOR LAISTER BARCELOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
O USO DE DRONES PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE
USUÁRIOS EM RODOVIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Camilla Miguel Carrara Lazzarini.

Uberlândia
2025

RESUMO

Este estudo realiza uma revisão sistemática da literatura acerca da aplicação de drones na análise do comportamento de usuários em rodovias, demonstrando a eficiência destes equipamentos em diversas fases da resposta a incidentes, incluindo detecção precoce, levantamento tridimensional de cenas, suporte a equipes de emergência e coordenação de operações de desobstrução. Os drones são identificados como ferramentas eficazes na aceleração de procedimentos operacionais, no aprimoramento da acurácia pericial e na minimização de riscos ocupacionais para equipes de campo, contribuindo adicionalmente para a redução da severidade de congestionamentos. Contudo, a implementação em larga escala de drones para esse fim enfrenta desafios multifacetados. Destacam-se as limitações operacionais relativas a condições meteorológicas adversas e restrições de espaço aéreo, além de questões regulatórias e éticas atinentes à proteção de dados e à necessidade de normatização por órgãos competentes, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). A dependência de tecnologias complementares — exemplificadas por Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e conectividade 5G — e a carência de validação empírica em cenários reais também são fatores limitantes. Embora nações desenvolvidas já integrem drones em sistemas inteligentes de monitoramento e simulações preditivas, o Brasil apresenta um nível incipiente de adoção, com predominância do uso em fiscalização reativa e limitada aplicação em estratégias preventivas e análises acidentológicas prospectivas. Para a maximização do potencial dos drones, são indispensáveis investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), a consolidação de um arcabouço regulatório claro, a capacitação técnica de operadores, a integração com outras plataformas tecnológicas e o estabelecimento de métricas de desempenho objetivas.

Palavras-chave: Drones; Segurança Viária; Gestão de Acidentes Rodoviários; Análise de Dados Rodoviários; Tecnologia de Drones.

ABSTRACT

This study conducts a systematic review of the literature on the application of drones in analyzing road user behavior, demonstrating the efficiency of these devices in various phases of incident response, including early detection, three-dimensional scene survey, support for emergency teams, and cooperation in clearance operations. Drones are identified as effective tools for accelerating operational procedures, enhancing forensic accuracy, and minimizing occupational risks for field teams, additionally contributing to reducing congestion severity. However, the large-scale implementation of drones for this purpose faces multifaceted challenges. Notable among these are operational limitations related to adverse weather conditions and airspace restrictions, alongside regulatory and ethical concerns pertaining to data protection and the need for standardization by competent bodies, such as the National Civil Aviation Agency (ANAC) in Brazil. The dependence on complementary technologies—exemplified by Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), and 5G connectivity—and the lack of empirical validation in real-world scenarios are also limiting factors. While developed nations already integrate drones into intelligent monitoring systems and predictive simulations, Brazil exhibits an incipient level of adoption, predominantly utilizing them for reactive enforcement with limited application in preventive strategies and prospective accident analysis. To maximize the potential of drones, investments in research and development (R&D) are indispensable, as is the consolidation of a clear regulatory framework, the technical training of operators, the integration with other technological platforms, and the establishment of objective performance metrics. It is concluded that drones represent an unavoidable vector of progress for road safety, but their strategic adoption requires overcoming technical and normative barriers, coupled with a holistic vision that prioritizes prevention, education, and intelligent infrastructural planning.

Keywords: Drones; Road Safety; Road Accident Management; Road Data Analysis; Drone Technology.

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Objetivos	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 Conceitos e classificação	8
2.2 Normas e regulamentação.....	12
2.3 Aerofotogrametria por meio de drones	13
2.4 Aplicações de Drones na Engenharia de Transportes e Infraestrutura Viária.....	15
3. METODOLOGIA	19
4 RESULTADOS E ANÁLISE	22
4.1 Mapeamento das Aplicações de Drones na Gestão de Acidentes em Rodovias: Componentes, Contextos e Tecnologias	27
4.2 Aplicações e Limitações de Drones nos Processos de Recuperação, Investigação e Mitigação de Acidentes Rodoviários	28
4.3 Avanços Tecnológicos na Análise de Acidentes Viários com Drones: Uma Perspectiva Sistêmica.....	29
4.4 Drones na Fiscalização Rodoviária Brasileira: Avanços, Desafios e Perspectivas para uma Segurança Viária Estratégica	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	33
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Originalmente desenvolvidos para fins militares, os drones — também chamados de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) — tornaram-se populares como equipamentos de lazer antes de conquistarem espaço em diversas áreas da engenharia. Sua versatilidade técnica tem ampliado suas aplicações, transformando-os em ferramentas valiosas para inúmeras atividades profissionais (BORGES, 2025).

Após serem utilizados pela primeira vez em aplicações de geomática, oferecendo alternativas à fotogrametria clássica e ao mapeamento 3D para apresentar dados em um formato adequado para arquitetos e engenheiros, as RPAs tornaram-se tecnologias comumente usadas para aquisição de dados. Através de técnicas de fotogrametria e sensoriamento remoto, aplicações de estrutura a partir do movimento ou *Structure from Motion* (SfM) permitem a criação de modelos 3D de diferentes objetos, edifícios ou áreas (ELKHRACHY, 2021; NEX e REMONDINO, 2014; SILVA, 2020; GIORDAN, 2020).

O monitoramento do tráfego rodoviário é uma atividade essencial para a segurança viária e o planejamento urbano. Neste contexto, os drones têm se destacado como instrumentos eficazes na coleta de dados em tempo real, oferecendo imagens aéreas de alta resolução que permitem analisar o comportamento de usuários em rodovias com maior precisão e menor custo operacional. A utilização dessas aeronaves não tripuladas possibilita a obtenção de informações relevantes para estudos de fluxo, detecção de comportamentos de risco e avaliação da eficácia de medidas de segurança.

Nos últimos anos, o uso de drones no Brasil tem evoluído significativamente, especialmente no setor público. Órgãos como a Polícia Rodoviária Federal e a Polícia Federal vêm incorporando essas tecnologias em operações de fiscalização de tráfego, patrulhamento e acompanhamento de rodovias. As RPAs tornaram-se aliados importantes na identificação de infrações, na análise de acidentes e no combate a crimes em estradas federais, aumentando a eficiência operacional e reduzindo riscos para os agentes de segurança.

O aumento contínuo do volume de veículos e da mobilidade global transformou a observação de tráfego em um dos grandes desafios da atualidade, especialmente em regiões com intensa circulação. Nesse cenário, os drones surgem como uma solução promissora, oferecendo uma perspectiva aérea que supera as limitações dos métodos tradicionais.

No entanto, apesar desse avanço, o reconhecimento e rastreamento preciso de veículos em movimento ainda representam um obstáculo técnico, cuja eficiência depende diretamente da qualidade dos algoritmos de processamento de imagens (GUPTA et al., 2021; OUTAY et al., 2020; SHAKHATREH et al., 2019), além do desenvolvimento de capacitação e legislação referentes a essa tecnologia.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral investigar o uso de drones no monitoramento do comportamento de usuários em rodovias, avaliando seu impacto na melhoria da segurança viária e na eficiência do planejamento urbano. A proposta central é analisar como essa tecnologia pode ser integrada de forma estratégica à gestão do tráfego, com base em evidências extraídas da literatura científica.

Esta pesquisa tem por objetivos específicos, derivados de uma análise crítica e descritiva da literatura especializada, os seguintes:

- Mapear e analisar o potencial dos drones para coleta de dados de fluxo veicular e monitoramento do comportamento do usuário em rodovias.
- Sistematizar as evidências sobre o uso de drones para detecção de comportamentos de risco e infrações de trânsito.
- Avaliar criticamente a eficácia atribuída aos drones no contexto de medidas de segurança viária, conforme documentado na literatura.

Nesse sentido, a implementação de drones configura-se como uma ferramenta promissora para a redução de acidentes e o incremento da mobilidade urbana. Esta pesquisa, portanto, visa oferecer uma contribuição relevante à Engenharia Civil mediante uma análise detalhada das aplicações e vantagens dessa tecnologia no cenário rodoviário, em consonância com as demandas contemporâneas por inovação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos e classificação

Os drones, tecnicamente denominados Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA - *Remotely Piloted Aircraft*), representam uma evolução tecnológica significativa desde suas origens militares até as atuais aplicações multifacetadas. Inicialmente desenvolvidos para fins bélicos, esses equipamentos popularizaram-se no âmbito recreativo antes de conquistarem espaço em diversas áreas da engenharia, graças à sua versatilidade técnica (PATELLA, 2016).

No contexto regulatório brasileiro, essas aeronaves são oficialmente classificadas como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), termo derivado da expressão inglesa *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), embora esta última nomenclatura seja considerada ultrapassada pela comunidade aeronáutica internacional (BRASIL, 2023a). Especificamente, as RPAs constituem uma categoria particular de aeronaves não tripuladas, operadas a partir de estações remotas e capazes de interagir em tempo real com o Controle de Tráfego Aéreo, atendendo desde finalidades recreativas até aplicações profissionais complexas (BRASIL, 2023b).

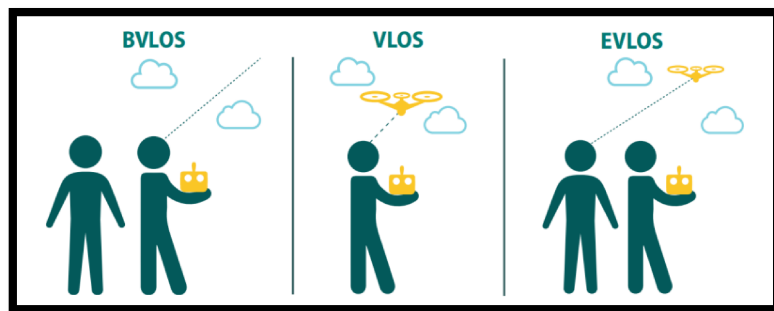
A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) estabelece uma classificação para essas aeronaves: as RPAs propriamente ditas, destinadas a uso comercial e integradas aos sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo; os aeromodelos, voltados exclusivamente para recreação; e os sistemas autônomos, que operam sem intervenção humana após a decolagem. Quanto aos modos de operação, observam-se: o controle remoto tradicional, onde todas as decisões são tomadas por um operador humano; o sistema supervisionado, que combina autonomia de voo com possibilidade de intervenção; e o controle totalmente autônomo, no qual a aeronave gerencia integralmente todas as fases do voo (ULRICH e NOBRE, 2019). Essa diversidade de configurações reflete o rápido desenvolvimento tecnológico do setor e sua adaptação a diferentes necessidades operacionais.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) estabelece critérios técnicos para classificação das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) considerando seu Peso Máximo de Decolagem (PMD), dividindo-as em três categorias distintas. A Classe 1 compreende aeronaves com PMD superior a 150 kg, enquanto a Classe 2 abrange aquelas entre 25 kg e 150 kg. Já a Classe 3 inclui os equipamentos mais leves, com 25 kg ou menos. Esta mesma classificação se aplica aos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), que englobam não apenas a aeronave em si, mas todo o conjunto operacional composto pelos enlaces de comunicação, a Estação de Pilotagem Remota (RPS) - onde estão instalados os instrumentos de controle de voo e atua o piloto remoto - além de outros componentes necessários para a operação (ANAC, 2017).

No que diz respeito às modalidades operacionais, a regulamentação brasileira diferencia três tipos principais de acordo com as condições de visibilidade. A Operação VLOS (*Visual*

Line-Of-Sight) ocorre quando o piloto mantém contato visual direto e contínuo com a aeronave, sem auxílio de dispositivos ópticos e em condições meteorológicas adequadas. Já a Operação EVLOS (*Extended Visual Line-Of-Sight*) se configura em situações onde o piloto remoto não consegue manter visualização direta permanente da aeronave, ainda que sem utilização de equipamentos auxiliares. Por fim, a Operação BVLOS (*Beyond Visual Line-Of-Sight*) caracteriza-se pela impossibilidade de manutenção do contato visual direto entre piloto e aeronave durante a operação (BRASIL, 2015). Na Figura 1 as três modalidades de operação com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) estão ilustradas, conforme regulamentação brasileira.

Figura 1: Tipos de Operações com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA).



Fonte: ANAC (2017).

No contexto brasileiro, a operação desses equipamentos segue normas rigorosas de segurança. Independentemente da classe do drone, a idade mínima para atuar como piloto remoto ou observador é de 18 anos, sendo permitida a operação de apenas um sistema de RPA por vez. Além disso, as decolagens só podem ser realizadas quando houver autonomia suficiente para completar o voo com segurança, considerando as condições meteorológicas e garantindo a capacidade de pouso no local previsto.

A ANAC também estabelece diretrizes para a proteção de terceiros, determinando que as operações devem ocorrer a uma distância mínima de 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas. Essa exigência pode ser flexibilizada mediante consentimento prévio dos indivíduos próximos ou quando existam barreiras físicas de proteção.

Dessa forma, a regulamentação brasileira busca fomentar o uso responsável dessa tecnologia, garantindo sua aplicação eficiente em diversos setores, desde o monitoramento de rodovias até operações comerciais, sempre priorizando a segurança e a conformidade com as normas aeronáuticas (BORGES, 2025; PEY, 2022).

A categorização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) não obedece a um padrão internacional unificado, apresentando variações significativas entre diferentes jurisdições. Conforme demonstra Bispo (2013), países como Reino Unido, Estados Unidos e Austrália, além de blocos regionais como a União Europeia, desenvolveram sistemas classificatórios próprios, adaptados às suas necessidades operacionais e contextos regulatórios específicos.

Martins (2017) aponta as complexidades envolvidas na classificação desses equipamentos, dada a variedade de parâmetros que podem ser considerados. Sob o critério de funcionalidade, por exemplo, as RPAs podem ser organizadas em categorias como: alvo, reconhecimento e monitoramento, combate, logística, e pesquisa e desenvolvimento. Contudo, o mesmo autor observa que a classificação baseada em características físicas (tamanho e capacidade operacional) ainda predomina, apesar de suas limitações evidentes.

A complexidade classificatória aumenta quando um mesmo sistema operacional integra diferentes modelos de RPAs para cumprir múltiplos objetivos, gerando desafios conceituais. Martins (2017) enfatiza que esses sistemas de classificação estão em permanente transformação, evoluindo em paralelo aos avanços tecnológicos do setor. O surgimento de sistemas mais sofisticados e multifuncionais demanda constante adaptação dos critérios categorizadores, evidenciando o caráter dinâmico deste segmento da aviação moderna.

Esta ausência de padronização global reflete não apenas a versatilidade de aplicações das RPAs, mas também o ritmo acelerado de inovação tecnológica no campo, exigindo flexibilidade dos sistemas classificatórios para incorporar novos desenvolvimentos técnicos e operacionais.

O mercado atual de RPAs concentra-se em dois modelos principais: as RPAs de asa fixa e os modelos multirotores. As aeronaves de asa fixa, cujo desenho aerodinâmico remete a pequenas aeronaves convencionais (Figura 2), destacam-se por sua eficiência em voos prolongados. Seu sistema de lançamento frequentemente emprega catapultas, enquanto os procedimentos de pouso podem ocorrer tanto de forma linear quanto mediante o auxílio de paraquedas. A principal vantagem deste modelo reside em sua significativa autonomia de voo - que pode alcançar até 120 minutos contínuos - tornando-o particularmente adequado para mapeamento de grandes áreas, conforme recomendações do IBAPE/MG (2019).

Figura 2: Exemplo De Modelo De RPA Com Asa Fixa.



Fonte: Delair (2020).

Os modelos multirotores, os quais operam sob o princípio aerodinâmico similar ao de helicópteros (Figura 3), consolidaram-se como a opção mais versátil e popular no mercado atual. Sua capacidade de decolagem e pouso verticais, aliada à habilidade de pairar estaticamente no ar, torna-os ideais para aplicações que demandam precisão e estabilidade na captação de imagens - desde produções cinematográficas até monitoramento detalhado de áreas

específicas.

Figura 3: Exemplo De Modelo De RPA Com O Sistema De Multirotores.



Fonte: DJI (2021).

Estes sistemas podem incorporar de três a oito rotores independentes, cada um acionado por um motor dedicado. Contudo, essa arquitetura mecânica complexa gera maior consumo energético quando comparada às aeronaves de asa fixa, resultando em tempos de voo geralmente mais curtos.

Além desses dois tipos, há o modelo híbrido (Figura 4), uma inovadora convergência entre os sistemas de asa fixa e multirotores. Esta configuração combina estruturalmente asas fixas com sistemas rotativos, permitindo a união das principais vantagens operacionais de ambos os conceitos: a eficiência aerodinâmica e autonomia dos modelos de asa fixa com a versatilidade e capacidade de voo estacionário dos multirotores. A arquitetura híbrida possibilita decolagens e pousos verticais característicos dos multirotores, enquanto durante o voo de cruzeiro aproveita a sustentação das asas fixas para otimizar o consumo energético.



Figura 4: Configuração Híbrida De RPA Combinando Sistemas De Asa Fixa E Multirotores.



Fonte: Souza (2018).

No Quadro 1 é apresentada uma análise comparativa entre as configurações, destacando suas respectivas vantagens operacionais e limitações técnicas. A distinção entre modelos permite a seleção da plataforma mais adequada às especificidades de cada missão, seja priorizando autonomia e alcance (asa fixa) ou versatilidade e precisão (multirotores).

Quadro 1 - Características Técnicas e Operacionais Comparativas entre RPAs de Asa Fixa e Multirotores.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS	ASA FIXA	MULTIROTOR
		
Modo de decolagem	Lançamento Horizontal	Decolagem Vertical
Modo de Pouso	Aterrissagem horizontal ou por paraquedas	Pouso Vertical
Áreas de atuação	Mais indicados para áreas extensas e sem obstáculos	Utilizados em pequenas áreas, que exigem melhor mobilidade.
Autonomia de Voo	Fornece maior autonomia	Tempo de voo menor devido ao número de motores
Velocidade	Alcança maiores velocidades	Velocidade menor
Modelo indicado para voos em ambiente urbano	Não	Sim

Fonte: Adaptado de IBAPE/MG (2019).

2.2 Normas e regulamentação

Por se enquadrarem no âmbito da aviação civil, os drones estão sujeitos a uma complexa estrutura regulatória que envolve normas internacionais e legislações nacionais específicas. A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), agência vinculada à ONU, estabelece em seu artigo 8º da Convenção de Chicago (1944) que aeronaves não tripuladas só podem operar em territórios dos Estados signatários mediante autorização expressa, cabendo a cada país implantar mecanismos de controle que garantam a segurança do espaço aéreo compartilhado (DECEA, 2021). Este marco regulatório internacional serve como base para os ordenamentos jurídicos nacionais, que devem adaptar essas diretrizes às suas particularidades operacionais.

No caso brasileiro, a regulação dos drones é compartilhada por três entidades distintas, seguindo o modelo de agências reguladoras especializadas característico da administração pública nacional (AFONSO, 2006). A ANATEL assume a competência sobre os aspectos de telecomunicações, responsável pela homologação dos sistemas de comunicação embarcados. A ANAC, como autoridade máxima da aviação civil, fiscaliza as aeronaves e a infraestrutura aeroportuária. Já o DECEA tem a atribuição de gerenciar o espaço aéreo e o controle de tráfego. Essa divisão de competências (SANTOS, 2016) reflete a natureza multifacetada dos drones, que aliam características de equipamentos de telecomunicações com aeronaves convencionais.

O DECEA adota uma abordagem educativa na regulamentação deste setor emergente, reconhecendo que muitos operadores ainda desconhecem aspectos fundamentais como

procedimentos de voo, normas de tráfego aéreo e meteorologia aeronáutica (SANTOS, 2016). Sua principal norma, a ICA 100-40 (em vigor desde 2020), complementa o Código Brasileiro de Aeronáutica (Lei nº 7.565/1986) e os Manuais do Comando da Aeronáutica, estabelecendo os parâmetros para operação segura no espaço aéreo nacional. Paralelamente, a ANAC regulamenta os requisitos técnicos através do RBAC-E nº 94, atualizado pelas Resoluções nº 419/2017 e nº 622/2021, além de instruções suplementares que detalham especificações operacionais.

A operação legal de drones, mesmo para fins recreativos, exige o cumprimento simultâneo de exigências das três agências: homologação pela ANATEL das radiofrequências utilizadas; autorização do DECEA para operação no espaço aéreo (com variações conforme classe e características da aeronave); e certificação adequada pela ANAC, que oferece diferentes modalidades como o CAVE para voos experimentais, AEV para autorizações especiais, e CAER para aeronavegabilidade de RPAs (ANAC, 2017; DECEA, 2021). Este arcabouço regulatório complexo reflete tanto os desafios técnicos da integração segura dessas aeronaves no espaço aéreo quanto o caráter inovador desta tecnologia, que demanda constante atualização normativa.

2.3 Aerofotogrametria por meio de drones

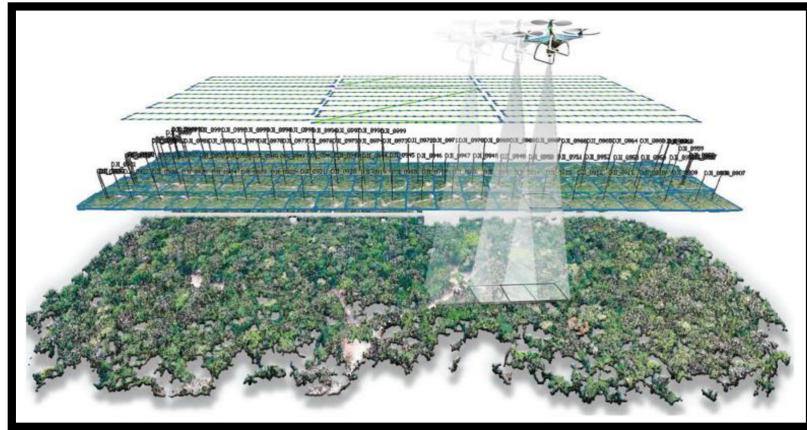
A origem do termo "fotogrametria" remonta ao grego antigo, combinando três radicais essenciais: "photos" (luz), "gramma" (registro/descrição) e "metron" (medida). Esta tríade linguística revela a natureza essencial da disciplina - a medição e representação através da luz registrada. A Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS) consagrou uma definição abrangente, caracterizando-a como um campo multidisciplinar que engloba arte, ciência e tecnologia para extração de dados confiáveis a partir de sistemas de imageamento não invasivos, capazes de registrar, mensurar, analisar e representar características da superfície terrestre e seu ambiente (GONÇALVES, 2020).

Coelho e Brito (2007) conceituam a fotogrametria como processo de reconstrução espacial, onde se transita do plano bidimensional das imagens para a representação tridimensional da realidade física. Esta transformação dimensional baseia-se na interpretação de padrões de energia eletromagnética capturados remotamente, sem qualquer contato físico com os objetos estudados. Os autores destacam a dualidade inerente ao método - enquanto opera em um sistema fotográfico plano (espaço-imagem), seu propósito final é reconstituir fielmente a complexidade volumétrica do mundo real (espaço-objeto).

O advento das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) transformou os métodos tradicionais de imageamento aéreo, inaugurando uma nova era para a aerofotogrametria. Também denominada fotogrametria aérea (Figura 5), essa técnica constitui um dos principais ramos da fotogrametria e baseia-se na obtenção de registros fotográficos a partir de plataformas

aéreas com o objetivo de extrair informações geoespaciais precisas (ALBUQUERQUE, 2022; RAMALHO, 2022). Essa metodologia permite não apenas a elaboração de mapas e cartas topográficas com elevado grau de acurácia, mas também a geração de produtos cartográficos voltados para diferentes aplicações.

Figura 5: Aerofotogrametria com Drones.



Fonte: Gonçalves (2020).

A revolução tecnológica trazida pelas RPAs não se restringe à plataforma de captura. Ela engloba avanços integrados em processamento digital de imagens, reconhecimento de padrões e automação de processos, os quais vêm redefinindo os paradigmas da Fotogrametria Digital contemporânea (SILVA, 2015). A incorporação de técnicas oriundas da ciência da computação e da inteligência artificial tem elevado substancialmente a precisão e a eficiência dos sistemas fotogramétricos digitais, permitindo desde a correção automatizada de distorções até a geração de modelos tridimensionais com níveis de detalhamento sem precedentes.

Essa convergência tecnológica tem possibilitado a transição de processos analógicos complexos para fluxos de trabalho digitais integrados, nos quais a aquisição, o processamento e a análise de dados ocorrem em cadeias automatizadas com mínima intervenção humana. Como resultado, a aerofotogrametria com drones tem se consolidado como uma ferramenta poderosa e acessível, capaz de atender com excelência às crescentes demandas por dados espaciais de alta qualidade em diversos setores (SILVA, 2015).

Desenvolvida originalmente em 1903, a aerofotogrametria mantém-se relevante no cenário atual como ferramenta fundamental para estudos territoriais e análises profissionais especializadas (LONGHITANO, 2010). Tal longevidade é explicada devido a sua capacidade de fornecer uma visão abrangente e em escala adequada da superfície terrestre e marítima.

Ao longo de mais de um século de evolução, a fotogrametria aérea consolidou-se como elemento essencial para a produção cartográfica oficial, sendo amplamente adotada por institutos geográficos e agências governamentais em todo o mundo. Nas últimas décadas, seu campo de aplicação expandiu-se para várias áreas do conhecimento, desde o monitoramento ambiental até o planejamento urbano.

A trajetória tecnológica da aerofotogrametria remonta aos primórdios do século XX, quando os primeiros registros de imagens aéreas eram obtidos mediante o uso de balões

dirigíveis. Conforme documentado por Hórus (2017), este método pioneiro foi sucessivamente aprimorado com a adoção de plataformas mais sofisticadas - inicialmente aviões e helicópteros tripulados, e posteriormente satélites e drones, marcando assim fases evolutivas nesta disciplina.

No contexto das aeronaves tripuladas, o processo de aquisição de imagens exigia meticuloso planejamento prévio. O plano de voo (Figura 6), elemento fundamental da operação, era elaborado mediante análise exaustiva dos recursos cartográficos disponíveis da área alvo. Na Figura 6 pode-se ver que a execução do levantamento seguia então um padrão sistemático, com a aeronave percorrendo linhas paralelas cuidadosamente calculadas para garantir a cobertura fotográfica integral da região de interesse.

Figura 6: Plano De Voo.



Fonte: Gonçalves (2020).

Do ponto de vista técnico, cada imagem capturada apresentava sobreposição planejada de 30% a 40% na direção transversal ao voo, e de 60% a 80% no sentido longitudinal. Esta redundância controlada, embora essencial para garantir a continuidade e qualidade do mosaico fotogramétrico, demandava múltiplas passagens sobre a mesma área, resultando em operações prolongadas e dispendiosas (HÓRUS, 2018). Tal característica, somada aos custos operacionais inerentes às aeronaves tripuladas, tornou este método cada vez menos competitivo frente às alternativas tecnológicas emergentes, o que explica a transição observada na fotogrametria aérea nas últimas décadas.

2.4 Aplicações de Drones na Engenharia de Transportes e Infraestrutura Viária

Com o avanço contínuo das tecnologias embarcadas, os drones têm se consolidado como ferramentas eficazes para diversas finalidades no setor de transportes, sendo cada vez mais utilizados por órgãos públicos responsáveis pelo planejamento, gestão e fiscalização da infraestrutura viária. No Brasil, por exemplo, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) tem empregado essas aeronaves não tripuladas em atividades de

mapeamento e levantamento aerofotogramétrico. Um caso emblemático foi a utilização de drones no levantamento do trecho da BR-230 entre os municípios de Medicilândia e Placas, no Pará. Os resultados e benefícios dessa aplicação foram apresentados durante o 2º Seminário Nacional de Desapropriação e Reassentamento (DNIT, 2019).

Dentre as principais vantagens observadas na substituição da topografia convencional pelo uso de drones no cadastro fundiário inicial da BR-230, destacam-se a agilidade na coleta de dados, a abrangência da área mapeada, a precisão dos produtos gerados e a significativa redução dos custos operacionais. O uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) acelerou a execução do levantamento, garantindo o cumprimento dos prazos e assegurando a qualidade e a segurança das informações obtidas. A capacidade de cobertura aérea total permitiu identificar elementos que poderiam ser negligenciados por métodos tradicionais, como nascentes, culturas agrícolas e edificações. Além disso, a simplicidade logística e a redução de grandes equipes em campo contribuíram para tornar o processo mais econômico e eficiente.

As aplicações dos drones no contexto da engenharia de transportes não se limitam ao levantamento topográfico. Entre outros usos, destacam-se o monitoramento das condições ambientais no entorno das rodovias, o controle de movimentação de massas de terra, a inspeção de pavimentos e estruturas, o mapeamento de áreas críticas, o monitoramento de acidentes e operações de resgate, além de atividades voltadas à segurança viária e à manutenção da infraestrutura (JUCÁ, 2022; PEY, 2022; BORGES, 2025).

Nos Estados Unidos, o potencial dos drones vem sendo estudado por diversos *Departments of Transportation* (DOTs), que têm buscado entender como integrar essa tecnologia às suas rotinas operacionais. Karan et al. (2014), com o objetivo de investigar as reais possibilidades de uso dos drones por agências públicas do setor, realizaram entrevistas com profissionais de diferentes divisões dos departamentos de transportes estaduais. O estudo resultou na elaboração de uma matriz que apresenta os requisitos técnicos e operacionais necessários à aplicação de drones em distintas frentes de trabalho dos DOTs, contribuindo para orientar futuras implantações de maneira estratégica e eficiente.

A literatura técnica também evidencia o uso crescente de drones em inspeções de obras de infraestrutura. Zhang (2008) discute, por exemplo, o potencial dessa tecnologia na avaliação de rodovias não pavimentadas, cuja inspeção, tradicionalmente, depende de observações visuais em campo, sem uma análise aprofundada da gravidade dos danos. Nesse sentido, o uso de drones permite capturar imagens de alta resolução que possibilitam uma caracterização mais precisa das patologias viárias.

Complementando esse cenário, Melo (2016) destaca que os drones são capazes de produzir ortoimagens detalhadas a partir das quais se pode realizar, por meio de algoritmos e modelagens tridimensionais, a medição automatizada dos defeitos presentes na via. Essa abordagem aumenta a eficiência na detecção e no diagnóstico de falhas, representando uma alternativa moderna, econômica e segura frente aos métodos tradicionais de inspeção.

O emprego de drones tem se consolidado como uma tecnologia disruptiva no âmbito da segurança pública, oferecendo capacidades avançadas de vigilância, reconhecimento e aquisição de alvos em tempo real, reduzindo a exposição de pessoal e otimizando a tomada de decisão por meio de imagens de alta resolução e sensores especializados. Conforme destacado por Pey (2022), a utilização sistematizada de drones contribui significativamente para a eficácia operacional das instituições de segurança, agregando celeridade, segurança e eficiência nas ações de inteligência.

De acordo com Zaman, Abdelaty e Yamany (2025), a expansão contínua dos sistemas de infraestrutura de transporte tem aumentado a demanda pelo uso de drones na avaliação de infraestruturas urbanas, graças ao seu potencial para coleta eficiente de dados e pós-processamento avançado. Técnicas de *Structure-From-Motion* (SfM) e aplicações de software especializado facilitam significativamente o processamento das informações coletadas.

Contudo, para que todo esse potencial seja aproveitado, é essencial que as aplicações sejam efetivamente adotadas na prática. Um estudo realizado com 27 Departamentos de Transporte (DOTs) e a Administração Federal de Rodovias (FHWA) mostrou que 25 agências já utilizam drones na avaliação de estradas ou rodovias, e 23 no caso de pontes, confirmando sua aplicação predominante nestes componentes da infraestrutura. Os principais benefícios incluem segurança, relação custo-benefício e eficiência temporal (avaliações entre 3,95 e 4,28), enquanto condições climáticas, regulamentações e restrições de espaço aéreo figuram como os maiores desafios. Os respondentes destacaram ainda a necessidade de maior autonomia de voo, melhor automação e ferramentas de dados mais avançadas, sublinhando a importância de superar barreiras técnicas, regulatórias e de privacidade para uma integração otimizada dos drones na gestão de infraestruturas de transporte.

Segundo Villarino et al. (2025), a Engenharia Civil tem sido revolucionada pela integração de drones, os quais introduzem novas metodologias de trabalho que ampliam as possibilidades de execução e gestão, minimizando a intervenção humana e, consequentemente, aumentando a segurança e reduzindo custos. Esta revisão abrangente destaca a aplicabilidade dos drones no monitoramento e gestão de infraestruturas civis, explorando sua conexão com sensores avançados, como câmaras de espectro visível (RGB), multiespectrais e hiperespectrais, em domínios críticos como inspeção de pontes, barragens, linhas de energia, usinas fotovoltaicas, estudos hidrológicos, avaliação viária, supervisão de taludes e operação de aterros sanitários.

O uso de drones tem se mostrado extremamente vantajoso na Engenharia de Transportes e Infraestrutura Viária, especialmente no monitoramento dinâmico do tráfego urbano, devido à sua versatilidade, mobilidade aérea, custo acessível e ampla cobertura visual. De acordo com Bai e Feng (2025), essas aeronaves não estão limitadas pela malha viária ou por congestionamentos, podendo acessar áreas de difícil alcance para sensores fixos e capturar dados abrangentes em tempo real, com baixa oclusão e alta resolução espacial, o que as torna

essenciais para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Os autores propuseram um framework inovador de roteamento dinâmico para drones, utilizando veículos terrestres de rotas pré-definidas — como ônibus — como estações de recarga móveis, permitindo missões de longa duração e ampliação da cobertura temporal e espacial sem interferir na operação do sistema de transporte. Esse modelo, formulado como um Problema de Orientação de Equipe em Arcos com Lucros Decrescentes (TAOP-DP, na sigla em inglês), incorpora prioridades dinâmicas que refletem a demanda de tráfego e o tempo desde a última inspeção em cada segmento da rede, otimizando a eficiência operacional e reduzindo custos. Dessa forma, os drones não apenas complementam, mas potencializam significativamente as capacidades de monitoramento e gestão da infraestrutura de transportes.

3. METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, optou-se por uma abordagem metodológica fundamentada em revisão sistemática da literatura. Tal estratégia foi realizada seguindo os princípios estabelecidos por Galvão e Ricarte (2020, p. 58), que conceituam esse método como uma abordagem científica estruturada em protocolos bem definidos, que tem como objetivo principal organizar e interpretar um extenso conjunto de documentos, identificando padrões e lacunas em um determinado campo de estudo. Sua principal característica é a reprodutibilidade, garantida pela transparência em todas as etapas do processo – desde a seleção das bases de dados e estratégias de busca até os critérios de inclusão e exclusão de artigos.

Nesta revisão sistemática, a metodologia baseou-se nos métodos adotados pelo Protocolo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que representa uma atualização do PRISMA 2009 (MOHER et al., 2009) e, consequentemente, uma evolução do Protocolo QUORUM, desenvolvido em 1996 (MARCONDES et al., 2022). Este último surgiu como um marco inicial na padronização de relatórios de meta-análises, tendo como propósito aperfeiçoar a qualidade e a transparência dos estudos realizados naquele período (MOHER et al., 2009).

Segundo Page et al. (2021), o PRISMA 2020 pode ser aplicado a revisões sistemáticas originais, atualizações de revisões anteriores ou ainda às chamadas revisões sistemáticas “vivas”, que são continuamente aprimoradas à medida que novas evidências se tornam disponíveis. O principal objetivo do protocolo é orientar o pesquisador na elaboração e execução da revisão sistemática, assegurando que o processo siga critérios de clareza, reprodutibilidade e transparência científica.

A estrutura do PRISMA 2020 inclui uma lista de verificação composta por 27 itens distribuídos em sete seções, algumas delas subdivididas em subitens (Quadro 2) (MARCONDES et al., 2022). Os itens que constituem a seção de Métodos foram a base para esta revisão sistemática.

Quadro 2: Lista de verificação de itens do PRISMA 2020, com foco nos métodos.

Fonte: Autor (2025).

Para garantir a qualidade e o foco dos estudos incluídos, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: (i) artigos publicados nos últimos 10 anos (2015 até 2025); (ii) publicações em periódicos revisados por pares; (iii) textos disponíveis em inglês, português ou espanhol; (iv) estudos com foco na aplicação de drones no contexto da engenharia de transportes ou gestão viária.

Foram excluídos: (i) trabalhos duplicados entre as bases; (ii) publicações sem acesso ao texto completo; (iii) estudos puramente teóricos ou com escopo limitado à modelagem matemática sem vínculo com aplicações práticas; e (iv) materiais não acadêmicos, como relatórios técnicos, notícias, blogs e revistas de divulgação. Essa abordagem metodológica assegurou a confiabilidade dos resultados obtidos e contribuiu para um mapeamento preciso das tendências, desafios e lacunas existentes na literatura atual sobre o tema.

Essa estratégia permitiu o levantamento criterioso e estruturado de informações a partir de bases de dados científicas de ampla relevância, como Scopus, Web of Science e a plataforma da editora Elsevier, reconhecidas por sua qualidade e abrangência internacional. Complementarmente, foram consultadas fontes secundárias como o Google Acadêmico, SciELO e repositórios universitários nacionais, com o intuito de ampliar a cobertura da pesquisa.

A estratégia de busca foi construída a partir da combinação de palavras-chave relevantes, utilizando operadores booleanos (AND, OR) para ampliar a abrangência dos resultados. Os descritores utilizados incluíram termos como: "drones e monitoramento de tráfego", "comportamento de usuários em rodovias", "segurança viária e VANTs", "aplicações de drones na engenharia de tráfego" e "regulamentação de RPAs no espaço aéreo". Esses descritores foram combinados de forma estratégica para abarcar tanto os aspectos técnicos

quanto regulatórios, assegurando uma revisão sistemática ampla, atualizada e alinhada aos objetivos da pesquisa.

Para avaliar se um estudo atendeu aos critérios de inclusão da revisão e esteve fora do risco de viés, foram utilizados plataformas de automação e filtro dos artigos – baseados nos títulos e temáticas principais – como o *Microsoft Excel* e o *ChatGPT*.

Na definição de características para síntese dos estudos, a leitura dos artigos fizeram com que cada um fosse enquadrado em determinadas linhas temáticas do assunto principal – O Uso de drones para análise do comportamento de usuários em rodovias. A partir disso, as palavras-chave usadas na busca dos artigos também foram utilizados para categorizar cada estudo.

Assim, a metodologia adotada permitiu consolidar o referencial teórico necessário para embasar o estudo, bem como identificar as melhores práticas e tecnologias disponíveis para a análise do comportamento viário com o uso de drones. Os resultados obtidos nesta fase inicial serão fundamentais para orientar as etapas subsequentes da pesquisa, como a seleção de casos reais de aplicação e a avaliação da eficácia dessas tecnologias no contexto das rodovias brasileiras.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

O objetivo desta etapa do estudo foi não somente analisar os resultados alcançados nas pesquisas, mas sim identificar os principais focos temáticos das publicações científicas internacionais de alto impacto relacionadas ao uso de drones. Para isso, foram selecionados estudos publicados nos últimos dez anos, conforme sintetizado no Quadro 3.

Quadro 3 – Apresentação Da Literatura: principais publicações de 2015 a setembro/2025.

Autor/ano	País	Título da pesquisa	Aplicação	Objetivo
JURKOFISKY (2015)	Estados Unidos da América	Accuracy of SUAS photogrammetry for use in accident scene diagramming	Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a precisão métrica de diagramas de cenas de acidente gerados por fotogrametria com sistemas de drones de pequeno porte em comparação com métodos convencionais de medição. A pesquisa buscou determinar o impacto da resolução da câmera na qualidade dos resultados fotogramétricos e validar a eficácia dos drones como ferramenta confiável para investigação de acidentes, fornecendo dados quantitativos sobre sua precisão em relação às técnicas tradicionais.	Diagramação da cena do acidente
KIM (2016)	Índia	Classifying traffic accidents with unmanned aerial vehicle	Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um sistema de classificação automática de situações de trânsito pós-acidente baseado em imagens aéreas, capaz de auxiliar na tomada de decisões rápidas por órgãos de trânsito e equipes de emergência. A pesquisa busca preencher uma lacuna nos sistemas convencionais ao focar especificamente na análise de cenários após a ocorrência do acidente, utilizando técnicas de processamento de imagem e representação do conhecimento para categorizar automaticamente a gravidade e características do evento. O estudo visa validar a eficácia dessa abordagem na redução do tempo de resposta e na mitigação de impactos secundários, como congestionamentos prolongados ou novos acidentes em cadeia.	Classificação de acidentes de trânsito
NEJJARI et al. (2016)	Marrocos	Event traffic detection using heterogenous wireless sensors network	O estudo tem como objetivo principal desenvolver um sistema inteligente de detecção automática de acidentes de trânsito em rodovias, capaz de reduzir o tempo de resposta dos serviços de emergência através da integração de diversas tecnologias de sensoriamento. A proposta busca criar uma rede de monitoramento abrangente que combine dados de múltiplas fontes (aéreas, veiculares e terrestres) para identificar acidentes com maior precisão e rapidez.	Gestão de tráfego
SU et al. (2016)	Austrália	Developing an unmanned aerial vehicle-based rapid mapping system for traffic accident investigation	O estudo visa desenvolver e validar um sistema automatizado de mapeamento de cenários de acidentes utilizando drones, superando as limitações dos métodos tradicionais. A pesquisa foca na otimização de processos de calibração de câmeras, correção de distorções e retificação de imagens, com o intuito de produzir diagramas precisos em tempo reduzido. Além disso, busca estabelecer parâmetros operacionais ideais (como altitude de voo) que garantam a acurácia necessária para aplicações forenses, quantificando os erros associados às medições realizadas a partir das imagens aéreas processadas.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
STÁŇA et al. (2017)	República Tcheca	Comparison of utilization of conventional and advanced methods for traffic accidents scene documentation in the Czech Republic	Este trabalho teve como objetivo principal avaliar criticamente os métodos tradicionais de documentação de acidentes e desenvolver uma abordagem alternativa que superasse suas limitações em termos de precisão e eficiência. A pesquisa buscou validar uma metodologia integrada que combinasse tecnologias geodésicas com técnicas fotográficas avançadas, demonstrando seu potencial para melhorar a qualidade e a rapidez na coleta de evidências em cenários reais de acidentes.	Documentação de cenas de acidentes de trânsito

Continuação do Quadro 3 – Apresentação Da Literatura: principais publicações de 2015 a setembro/2025.

LIU et al. (2017)	China	UAV image mosaic for road traffic accident scene.	O trabalho tem como objetivo principal comparar o desempenho de quatro algoritmos de processamento de imagens — SIFT, SURF, FAST e Harris — na criação de mosaicos a partir de imagens aéreas capturadas por drones. A análise foca em identificar qual método oferece melhor eficiência, precisão e robustez para aplicações que demandam reconstrução panorâmica de áreas monitoradas, especialmente em contextos críticos como segurança e defesa.	Monitoramento de Segurança
RAJ et al. (2017)	Índia	Vision based accident vehicle identification and scene investigation	O estudo tem como objetivo desenvolver um sistema automatizado que utilize drones para auxiliar na investigação de acidentes rodoviários, combinando navegação por GPS, identificação visual de veículos e captura de evidências imagéticas. A proposta busca reduzir o tempo de resposta em campo, minimizar erros humanos na documentação e fornecer dados confiáveis para análises técnicas e periciais.	Investigação de Acidentes de Trânsito
PÉREZ et al. (2019)	Espanha	Accuracy and effectiveness of orthophotos obtained from low cost UASs video imagery for traffic accident scenes documentation	O estudo tem como objetivo principal desenvolver e validar uma metodologia acessível para documentação precisa de cenários de acidentes de trânsito, substituindo equipamentos caros e técnicas tradicionais por soluções baseadas em drones de baixo custo e fotogrametria. A pesquisa busca estabelecer parâmetros ótimos de captura e processamento de imagens que garantam precisão métrica adequada para fins periciais, comparando diferentes configurações de sobreposição de imagens e métodos de processamento.	Investigação de Acidentes de Trânsito
LIU et al. (2019)	China	Remote sensing and scene reconstruction of traffic accident based on unmanned aerial vehicle platform	O estudo tem como objetivo principal desenvolver e validar uma metodologia automatizada para reconstrução tridimensional de cenários de acidentes de trânsito utilizando drones. A abordagem combina técnicas avançadas de fotogrametria (como structure-from-motion e multi-view stereo) com pós-processamento de nuvens de pontos, buscando superar as limitações dos métodos tradicionais de documentação forense, que frequentemente dependem de medições manuais e registros bidimensionais.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
CAPPELLETTI et al. (2019)	Itália	Forensic engineering surveys with UAV photogrammetry and laser scanning techniques	O estudo busca demonstrar a eficácia de tecnologias emergentes, como fotogrametria por drones e laser scanning, na documentação forense de cenários de acidentes, comparando-as com métodos tradicionais em termos de velocidade, precisão e riqueza de detalhes. Além disso, avalia-se a viabilidade de implementação dessas técnicas em situações reais, considerando limitações operacionais e a confiabilidade dos dados gerados.	Investigação Forense de Acidentes
LIU et al. (2019)	República Tcheca	An approach of traffic accident scene reconstruction using unmanned aerial vehicle photogrammetry	Este estudo teve como objetivo principal desenvolver e validar uma metodologia inovadora para reconstrução de cenários de acidentes de trânsito utilizando drones, visando superar as limitações dos métodos convencionais em termos de tempo de operação e impacto no tráfego. A pesquisa buscou estabelecer um fluxo de trabalho integrado desde a captura de imagens até a geração de modelos tridimensionais, incorporando métricas objetivas para avaliação da qualidade dos resultados. Além disso, o trabalho procurou demonstrar a viabilidade técnica da abordagem proposta através de um experimento prático controlado, comparando seus resultados com os métodos tradicionais de investigação.	Reconstituição da cena do acidente em 3D (colisão entre carro e bicicleta)
ALMESHAL et al. (2020)	Kuwait	Accuracy assessment of small unmanned aerial vehicle for traffic accident photogrammetry in the extreme operating conditions of Kuwait	O estudo tem como objetivo principal avaliar sistematicamente a precisão e confiabilidade de drones acessíveis na reconstrução 3D de cenas de acidente sob diversas condições ambientais adversas, preenchendo uma lacuna importante na literatura existente que tradicionalmente focava apenas em condições operacionais ideais.	Monitoramento de tráfego

Continuação do Quadro 3 – Apresentação Da Literatura: principais publicações de 2015 a setembro/2025.

AMIN et al. (2020)	Malásia	Reconstruction of 3D accident scene from multirotor UAV platform	Este trabalho buscou desenvolver e validar uma metodologia acessível para reconstrução tridimensional de cenários de acidentes de trânsito em países em desenvolvimento, utilizando tecnologias de fotogrametria por drones. O estudo focou em demonstrar como técnicas de planejamento de voo (POI e waypoints) podem produzir modelos precisos mesmo com equipamentos de baixo custo, avaliando criticamente a qualidade geométrica e textural dos resultados. A pesquisa também visou estabelecer um fluxo de trabalho padronizado que possa ser replicado por órgãos públicos com recursos limitados, contribuindo para a modernização dos processos de investigação de acidentes nestes contextos.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
OUTAY et al. (2020)	Emirados Árabes Unidos	Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges	O estudo tem como objetivo principal analisar criticamente as aplicações emergentes de drones em três áreas estratégicas dos sistemas de transporte urbano, com foco especial nos avanços tecnológicos em processamento de imagens e seus impactos na gestão da mobilidade. Além disso, busca identificar os principais desafios para a adoção em escala dessa tecnologia no contexto das Cidades Inteligentes (Smart Cities).	Gestão de Tráfego Inteligente
ŠKORPUT et al. (2020)	Bósnia e Herzegovina	Applying Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in traffic investigation process	O estudo tem como objetivo principal demonstrar como as tecnologias digitais, em particular a fotogrametria por drones, podem revolucionar o processo de investigação de acidentes de trânsito. A pesquisa busca desenvolver uma metodologia que permita documentar de forma rápida e precisa todos os elementos relevantes de um acidente - incluindo posição dos veículos, marcas no pavimento e danos à infraestrutura - através da criação de modelos tridimensionais fiéis à realidade. O trabalho visa superar as limitações dos métodos tradicionais de investigação, oferecendo uma solução que atenda simultaneamente às necessidades de agilidade na liberação da via e de rigor na coleta de evidências.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
DAMYANOV (2020)	Bulgária	Use of modern software solutions and systems for analysis and reconstruction of road accidents	O objetivo central deste trabalho é avaliar a eficácia da fotogrametria como ferramenta para investigação e reconstrução de acidentes rodoviários, destacando suas vantagens em relação aos métodos tradicionais. A pesquisa busca demonstrar como a combinação de drones e processamento digital de imagens pode otimizar o fluxo de trabalho pericial, desde a captura de dados em campo até a geração de modelos tridimensionais para análise. Além disso, o estudo visa quantificar os benefícios dessa abordagem em termos de tempo, custo e precisão, fornecendo subsídios para sua adoção em larga escala por órgãos de trânsito e equipes forenses.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
PÁDUA et al. (2020)	Portugal	Digital reconstitution of road traffic accidents: A flexible methodology relying on UAV surveying and complementary strategies to support multiple scenarios	O estudo teve como objetivo principal desenvolver e validar uma metodologia alternativa para reconstituição de acidentes de trânsito que resolvesse o conflito entre a qualidade da coleta de dados e a agilidade na liberação da via. A pesquisa focou especificamente em demonstrar como drones acessíveis podem oferecer uma solução prática para esse desafio, mantendo o rigor técnico necessário para investigações periciais enquanto reduz significativamente o tempo de interdição das vias. O trabalho buscou estabelecer um protocolo replicável que pudesse ser adotado por autoridades de trânsito em diferentes contextos.	Reconstrução tridimensional da cena acidental em condições normais, sob iluminação adversa e na presença de obstáculos
KHAN et al. (2021)	Emirados Árabes Unidos	Development of Medidrone: A drone based emergency service system for Saudi Arabian healthcare	O estudo tem como objetivo principal desenvolver e propor um sistema alternativo ao modelo tradicional de atendimento de emergências, que seja capaz de reduzir significativamente o tempo de resposta a acidentes rodoviários. A pesquisa busca integrar tecnologias móveis e aéreas não tripuladas para criar um fluxo de atendimento mais eficiente, onde os primeiros socorros possam ser enviados rapidamente via drones, independentemente das condições do tráfego. O trabalho foca especificamente no projeto de uma solução tecnológica que conecte solicitantes de ajuda via aplicativo móvel com uma rede de drones equipados com kits de emergência.	Prestação de primeiros socorros

Continuação do Quadro 3 – Apresentação Da Literatura: principais publicações de 2015 a setembro/2025.

HNG et al. (2021)	Tailândia	Relative velocity model to locate traffic accident with aerial cameras and YOLOv4	O objetivo central deste trabalho é desenvolver e validar um sistema integrado que combine a mobilidade aérea dos drones com técnicas avançadas de processamento de imagem para reduzir drasticamente o tempo de resposta em emergências médicas causadas por acidentes de trânsito. A pesquisa busca resolver dois problemas críticos: a identificação imediata da localização exata do acidente em meio a congestionamentos e a transmissão de informações visuais em tempo real que permitam aos serviços de emergência antecipar suas ações. O estudo foca especificamente na otimização do fluxo de trabalho desde a detecção do incidente até o preparo da equipe médica, utilizando inteligência artificial para análise rápida e precisa das condições da cena.	Investigação de Acidentes de Trânsito
FENG-HUI et al. (2021)	China	Road traffic accident scene detection and mapping system based on aerial photography	O principal objetivo deste estudo é desenvolver e validar um algoritmo avançado de detecção de alvos em imagens aéreas de acidentes de trânsito, combinando as vantagens das redes Resnet e SSD para superar as limitações das técnicas convencionais. A pesquisa busca aprimorar a precisão na identificação de elementos-chave (como veículos, marcas no asfalto e pontos de impacto) em fotografias obtidas por drones, mesmo quando esses alvos apresentam baixa resolução ou variações de escala. Além disso, o trabalho visa integrar os resultados do algoritmo a sistemas de mapeamento automatizado, facilitando a reconstrução digital ou manual da cena do acidente com maior fidelidade e eficiência.	Detecção de acidentes
GUPTA et al. (2021)	Estados Unidos da América	Advances of UAVs toward Future Transportation: The State-of-the-Art, Challenges, and Opportunities	O estudo tem como objetivo principal mapear os avanços tecnológicos dos drones e seu potencial de integração em Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT). Ele busca consolidar o conhecimento atual sobre aplicações emergentes de drones no setor, identificar desafios operacionais e regulatórios, e apontar direções futuras para pesquisa e desenvolvimento.	Planejamento Urbano e Mobilidade
ALKINANI et al. (2021)	Arábia Saudita	5G and IoT based reporting and accident detection (RAD) system to deliver first aid box using unmanned aerial vehicle	Este estudo tem como objetivo principal desenvolver um sistema inteligente de baixo custo para detecção automática de acidentes e acionamento rápido de serviços de emergência, aproveitando recursos já disponíveis em smartphones e integrando-os com tecnologias emergentes como drones e redes 5G. A pesquisa busca superar as limitações das soluções existentes, oferecendo uma alternativa acessível e universalmente compatível que possa reduzir drasticamente o tempo entre a ocorrência do acidente e o início do atendimento médico. O trabalho foca especialmente na validação da eficácia do sistema em termos de precisão na identificação de colisões e agilidade no acionamento da cadeia de socorro.	Prestação de primeiros socorros
CHEN et al. (2021)	China	SUAV image mosaic based on rectification for use in traffic accident scene diagramming	O estudo tem como objetivo principal desenvolver um sistema eficiente para documentação de acidentes de trânsito, combinando a agilidade dos drones com técnicas avançadas de processamento de imagens. A pesquisa busca superar as limitações dos métodos tradicionais de mapeamento, oferecendo uma solução que: (1) reduz significativamente o tempo de permanência no local do acidente; (2) mantém alta precisão nas medições; e (3) preserva integralmente as evidências por meio de uma representação panorâmica fiel da cena. O trabalho foca especialmente na validação da cadeia de processamento de imagens, desde a captura até a geração do mapa final.	Diagramação de cena de acidente
ALAM VALLES et al. (2021)	Canadá	Object Detection Caused by Vehicle Accidents Using UAV and Deep Learning Techniques	O processo de limpeza de detritos na estrada pode ser aprimorado utilizando drones, Deep Learning e detecção de objetos para otimizar a operação e reabrir as vias ao tráfego. Detritos comuns são itens soltos que voam de veículos após um acidente. O objetivo deste trabalho é detectar detritos na estrada usando um drone para minimizar o tempo do procedimento de limpeza. A API de detecção de objetos, com os modelos pré-treinados SSD e Faster R-CNN, é utilizada para a detecção. Os gráficos de precisão, a matriz de avaliação e a pontuação da caixa de detecção determinam o modelo eficiente para a detecção de detritos.	Redução do tempo de interdição de vias

Continuação do Quadro 3 – Apresentação Da Literatura: principais publicações de 2015 a

setembro/2025

WANG et al. (2021)	China	Object Detection Caused by Vehicle Accidents Using UAV and Deep Learning Techniques	O objetivo principal deste estudo é mapear e sintetizar o conhecimento acadêmico existente sobre o uso de drones no gerenciamento de acidentes rodoviários, identificando lacunas e tendências na literatura. A pesquisa busca responder questões essenciais sobre como as aplicações dos drones, as soluções propostas, os desafios enfrentados e as oportunidades futuras neste campo emergente. Ao realizar a primeira revisão sistemática dedicada exclusivamente a este tema, o trabalho fornece uma base sólida para pesquisas futuras e orientar o desenvolvimento de políticas e práticas inovadoras na área de segurança viária.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
WANG et al. (2022)	China	Reconstruction of a real-world car-to-pedestrian collision using geomatics techniques and numerical simulations	O estudo tem como objetivo principal desenvolver e validar uma metodologia abrangente para reconstrução de acidentes de trânsito, unindo técnicas modernas de captura de dados geomáticos com simulações numéricas avançadas. A pesquisa busca superar as limitações dos métodos convencionais ao propor um fluxo de trabalho integrado que combina: (1) documentação tridimensional precisa da cena do acidente; (2) modelagem cinemática do evento de colisão; e (3) análise preditiva de lesões corporais. O trabalho visa estabelecer um padrão metodológico que garanta maior confiabilidade técnica aos laudos periciais, reduzindo a subjetividade inerente aos processos manuais.	Reconstrução Tridimensional de Cenários de Acidentes
KOSHE et al. (2022)	Índia	Road accident analysis using structure from motion and machine learning	Este estudo teve como objetivo principal explorar o potencial das técnicas de Machine Learning (ML - Aprendizado de Máquina) na análise multivariada de fatores associados a acidentes de trânsito, utilizando dados autorreportados. Buscou-se superar as limitações das abordagens estatísticas tradicionais ao: (1) identificar relações complexas e não lineares entre variáveis psicossociais, hábitos de direção e características contextuais; (2) desenvolver modelos preditivos capazes de hierarquizar fatores de risco; e (3) extrair padrões comportamentais específicos que possam orientar intervenções personalizadas. A pesquisa também visou demonstrar a utilidade de métodos interpretativos como SHAP (SHapley Additive exPlanations - Explicações Aditivas de Shapley) para tornar os modelos de ML mais transparentes em aplicações de segurança viária.	Análise de acidentes rodoviários
CHEN et al. (2023)	China	Analyzing differences of highway lane-changing behavior using vehicle trajectory data	O estudo teve como objetivo principal analisar variações no comportamento de troca de faixa em vários cenários rodoviários, considerando fatores como número de faixas, direção da manobra, tipo de veículo e limites de velocidade. A pesquisa desenvolveu um modelo mais preciso para a dinâmica microscópica do tráfego, superando limitações das abordagens tradicionais.	Modelagem de fluxo de tráfego rodoviário
BERGHAUS et al. (2024)	Alemanha	Vehicle trajectory dataset from drone videos including off-ramp and congested traffic – Analysis of data quality, traffic flow, and accident risk	O estudo teve como objetivo principal criar e validar um conjunto de dados públicos de trajetórias veiculares em rodovias, documentando toda a cadeia de processamento - desde a captura por drones até a extração das trajetórias. A pesquisa buscou estabelecer um padrão de transparência metodológica para facilitar a reprodução e comparação de estudos, além de demonstrar a precisão alcançável com técnicas de visão computacional em vídeos aéreos. Uma inovação foi a validação cruzada com fontes de dados independentes (laços indutivos e sensores móveis), permitindo quantificar com rigor a acurácia das medições.	Conjunto de dados de trajetória do veículo
FONOD et al. (2025)	França	Advanced computer vision for extracting georeferenced vehicle trajectories from drone imagery	O trabalho teve como objetivo principal desenvolver e validar uma metodologia robusta para captura e processamento de dados de tráfego em ambientes urbanos complexos utilizando drones em alta altitude, com foco especial na precisão da extração de trajetórias e na capacidade de integrar múltiplas perspectivas aéreas. A pesquisa buscou estabelecer novos padrões de qualidade e reprodutibilidade na pesquisa de mobilidade urbana, disponibilizando publicamente tanto os conjuntos de dados completos quanto o código-fonte do sistema de processamento.	Monitoramento de tráfego
ESPEDALER-CLAPÉS et al. (2025)	França	An accurate safety and congestion monitoring framework with a swarm of drones	O estudo teve como objetivo principal desenvolver e validar um framework integrado para análise de segurança viária utilizando drones, combinando coleta de dados aéreos com técnicas avançadas de processamento de imagem e métricas de segurança consolidadas. A pesquisa buscou demonstrar como a visão aérea e a análise cinemática detalhada podem revelar padrões de risco não detectáveis por métodos tradicionais, além de estabelecer correlações quantitativas entre comportamento de direção e eventos críticos. O trabalho também visou testar a viabilidade operacional do uso de múltiplos drones (enxame) em ambientes urbanos complexos.	Monitoramento de tráfego

A partir da análise do Quadro 3, observa-se que as pesquisas selecionadas por este estudo envolvendo drones foram direcionadas, majoritariamente, para aplicações no contexto da engenharia de transportes, com ênfase em áreas como monitoramento viário, gestão de acidentes, inspeção de infraestrutura e levantamento aerofotogramétrico. É notável que muitos dos estudos selecionados se concentram em explorar o potencial dos drones como ferramentas de apoio à tomada de decisão, destacando suas contribuições para a eficiência, precisão e segurança nos processos de coleta e análise de dados geoespaciais.

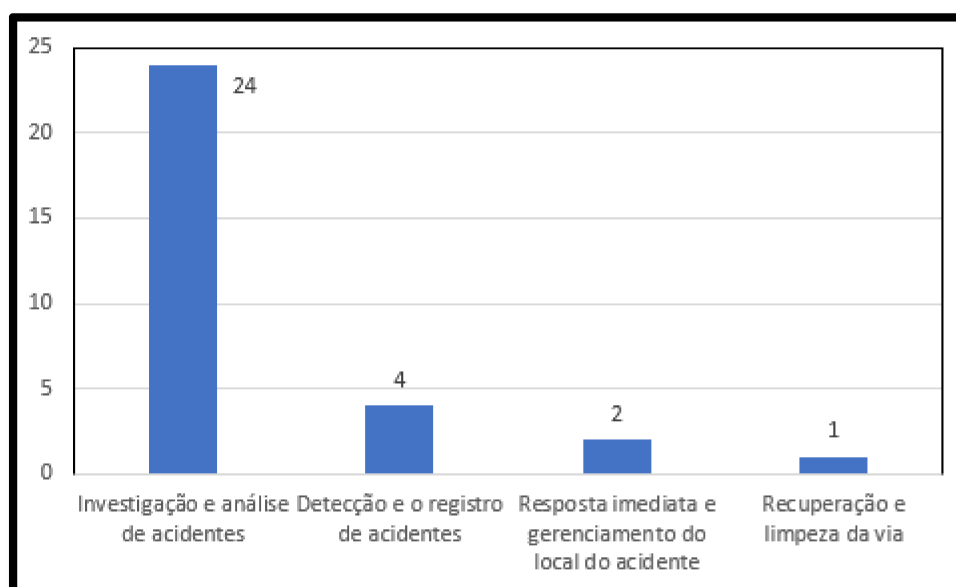
Além disso, evidencia-se uma tendência crescente de integrar os drones a sistemas inteligentes e tecnologias emergentes, como visão computacional, inteligência artificial e modelagens tridimensionais. Tal direcionamento revela não apenas o amadurecimento da área, mas também o reconhecimento da versatilidade e do valor estratégico dessa tecnologia em diferentes etapas do planejamento, operação e manutenção da infraestrutura viária.

4.1 Mapeamento das Aplicações de Drones na Gestão de Acidentes em Rodovias: Componentes, Contextos e Tecnologias

No Quadro 1 está apresentada uma categorização detalhada das aplicações de drones nos diferentes estudos abordados, relacionados à recuperação, análise e mitigação de acidentes em rodovias. As informações foram organizadas quanto ao componente abordado, contexto de aplicação, tecnologias envolvidas e abordagens teóricas utilizadas, permitindo uma compreensão mais aprofundada da implementação prática dessas soluções.

O Gráfico 1 apresenta os resultados quanto às categorias de temas encontrados no estudo.

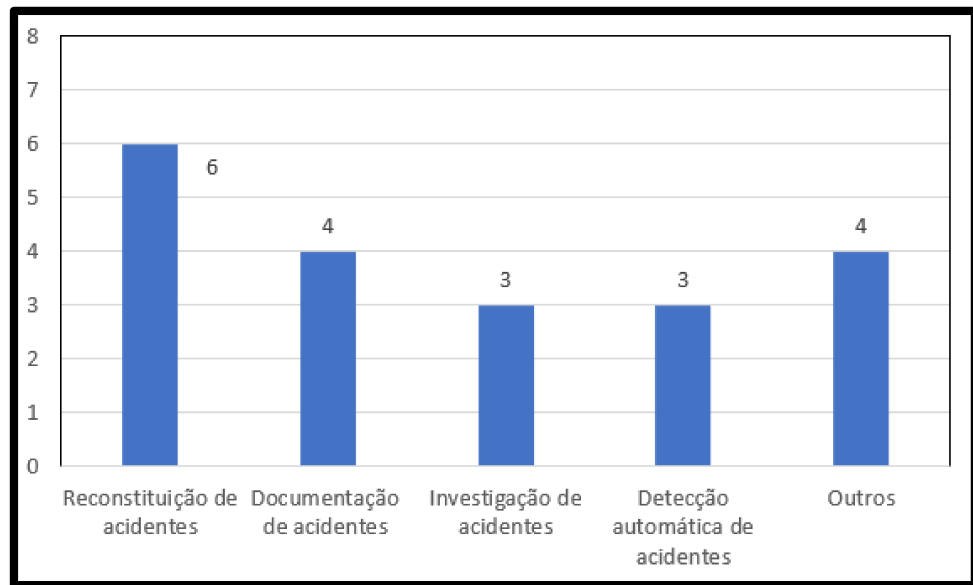
Gráfico 1 – Categorização dos temas dos artigos encontrados no estudo.



Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 2 apresenta as diferentes abordagens dos estudos relacionados à investigação e análise de acidentes.

Gráfico 2 – Categorização das abordagens acerca do tema investigação e análise de acidentes.



Fonte: Autor (2025).

Destaca-se, ainda, a tendência de integração dos drones com tecnologias emergentes da Indústria 4.0, como Inteligência Artificial e Sistemas Ciberfísicos. Em relação às abordagens teóricas adotadas, a maioria dos trabalhos propôs algoritmos, modelos computacionais, sistemas integrados e metodologias operacionais. Contudo, ressalta-se que a maior parte das soluções foi testada em ambientes simulados, sendo limitada a quantidade de estudos validados por meio de aplicações em cenários reais.

4.2 Aplicações e Limitações de Drones nos Processos de Recuperação, Investigação e Mitigação de Acidentes Rodoviários

A revisão sistemática da literatura demonstra que a utilização de drones apresenta vantagens significativas nas etapas de Recuperação, Análise e Mitigação de acidentes rodoviários. Na fase de detecção e notificação de ocorrências, esses equipamentos permitem sobrevoar áreas críticas e coletar dados em tempo real, transmitindo informações para centrais de operações e reduzindo o tempo de avaliação por equipes de socorro, o que potencializa a eficiência no gerenciamento de emergências (NEJJARI et al., 2016; HNG et al., 2021). Durante o atendimento inicial, a capacidade de navegação precisa para coordenadas específicas, evitando congestionamentos, possibilita a obtenção de informações complementares que elevam as chances de salvamento de vidas (KHAN et al., 2021).

Na investigação técnica, a fotogrametria realizada por drones viabiliza a reconstrução tridimensional de cenários acidentais, substituindo métodos tradicionais de medição e aprimorando os procedimentos periciais (LIU et al., 2017; SU et al., 2016). Essa abordagem permite documentar rapidamente toda a área do sinistro, reduzindo o tempo de interdição viária

e coletando parâmetros acidentais com maior precisão que os métodos convencionais (ŠKORPUT et al., 2020). Adicionalmente, minimiza a exposição física de profissionais envolvidos na perícia, reduzindo riscos ocupacionais (PÁDUA et al., 2020). Na etapa de recuperação pós-acidente, os drones agilizam a localização de detritos e a remoção de materiais perigosos, garantindo segurança operacional aos trabalhadores (ALAM e VALLES, 2021). Contudo, a operacionalização dessa tecnologia enfrenta limitações, incluindo restrições legais para voo em determinadas áreas (PÉREZ et al., 2019), vulnerabilidade a condições meteorológicas adversas e obstáculos físicos que podem comprometer a qualidade dos dados coletados (LIU et al., 2019).

A modelagem tridimensional suscita preocupações quanto à proteção de dados sensíveis e à complexidade no processamento de grandes volumes de informação (WANG et al., 2024), enquanto a detecção automática de acidentes ainda enfrenta desafios técnicos relacionados à resolução de imagens e interferências ambientais (FENG-HUI et al., 2021), exigindo desenvolvimento contínuo de sensores e algoritmos para superar essas limitações.

4.3 Avanços Tecnológicos na Análise de Acidentes Viários com Drones: Uma Perspectiva Sistêmica

Diversos estudos recentes têm demonstrado o potencial dos drones como ferramentas eficazes na reconstrução tridimensional de acidentes de trânsito e na análise do comportamento viário. No contexto de reconstruções em condições normais de tráfego, Jurkofsky (2015) demonstrou a viabilidade da utilização de drones acoplados a softwares de processamento de imagens para capturar imagens aéreas e gerar modelos precisos da cena, validando a acurácia do método fotogramétrico para fins periciais. De forma complementar, Su et al. (2016) desenvolveram um sistema que integra drones, câmeras e softwares específicos para mapear de forma ágil a cena do acidente por meio da retificação e processamento de imagens. Na mesma linha, Liu et al. (2017) propuseram um algoritmo baseado em mosaico de imagens capturadas por drones, permitindo medições inteligentes de distâncias, com correções automatizadas de distorções ópticas e geométricas.

Avançando na modelagem do terreno, Liu et al. (2019) apresentaram uma metodologia para obtenção de modelos digitais de superfície e elevação a partir das imagens capturadas por drones. Pérez et al. (2019), por sua vez, introduziram um método para criação de ortofotos de alta precisão, que consistia na seleção criteriosa de imagens extraídas de vídeos em alta resolução, com posterior ajuste do bloco fotogramétrico via GNSS, acessibilizando o processo, tornando-o menos dependente de equipamentos sofisticados. Damyanov (2019) realizou experimentos com drones e softwares 3D para demonstrar a robustez da fotogrametria como técnica de apoio à investigação pericial. Škorput et al. (2020) utilizaram drones e ferramentas 3D para gerar nuvens de pontos e ortofotos, gerando reconstruções visuais detalhadas das cenas.

Outros autores, como Amin et al. (2020) e Pádua et al. (2020), sistematizaram metodologias em quatro etapas, abrangendo o planejamento, aquisição de dados (com diferentes planos de voo), calibração de câmeras, processamento fotogramétrico (nuvem densa, malhas, texturização, modelos 3D) e análise de acurácia. Chen et al. (2020) propuseram a retificação de imagens por homografia plana, seguida por técnicas de correspondência de pontos e fusão de imagens, para gerar visões panorâmicas contínuas da cena. Wang et al. (2021) combinaram dados obtidos por drones e escaneamento a laser tridimensional para gerar modelos 3D fotorrealistas, enquanto Koshe et al. (2022) integraram machine learning à videogrametria, aplicando técnicas de *Structure from Motion* (SfM) para classificar imagens de acidentes e gerar nuvens de pontos de forma automatizada. Saveliev et al. (2022) também empregaram Aprendizagem Profunda (Deep Learning) em conjunto com drones para desenvolver um sistema de reconstrução automática de cenas com alta precisão.

A literatura também apresenta comparações entre métodos tradicionais e novas tecnologias. Stáňa et al. (2017) contrastaram abordagens convencionais com métodos modernos baseados em drones e GNSS, enquanto Cappelletti et al. (2019) compararam a eficácia entre fotogrametria aérea e escaneamento a laser terrestre. Almeshal et al. (2020) validaram a acurácia da fotogrametria aérea em cenários adversos, como variações de luz e temperatura, mantendo-se dentro de limites toleráveis.

No campo da análise comportamental, Kim (2016) elaborou uma metodologia para classificar cenas pós-acidente com base em imagens aéreas, através da segmentação de objetos e identificação de padrões. Raj et al. (2017) desenvolveram algoritmos para detectar veículos em cenários de colisão, avaliando o desempenho de técnicas de nuvem de pontos e fusão de imagens.

Algumas iniciativas avançaram em direção à automação da detecção de acidentes. Nejjari et al. (2016) integraram drones, redes de sensores sem fio e smartphones para detecção em tempo real. Feng-Hui et al. (2021) propuseram um algoritmo com fusão de dados para minimizar redundâncias e melhorar a precisão. Hng et al. (2021) utilizaram drones aliados a algoritmos de visão computacional no Matrix Laboratory (MATLAB) para identificar automaticamente áreas de ocorrência de acidentes.

Voltadas ao suporte emergencial, Khan et al. (2021) propuseram um sistema que combina drones com um aplicativo móvel, visando atender áreas remotas. Alkinani et al. (2021) desenvolveram uma solução baseada em Internet das Coisas (IoT), 5G e drones, com foco na redução do tempo de resposta. No contexto de remoção de detritos pós-acidente, Alam e Valles (2021) integraram drones com algoritmos de Deep Learning para detecção e otimização da limpeza da via.

O estudo de Chen et al. (2023) empregou 6.506 trajetórias do banco HighD para analisar o comportamento de mudança de faixa, identificando com precisão os pontos de início e término das manobras, com erro inferior a 4%. Trajetórias do banco HighD referem-se ao conjunto de

dados de movimentos veiculares registrados em rodovias alemãs, capturados por drones em alta altitude, que compõem o Highway Drone Dataset (HighD). Esse banco de dados é amplamente utilizado em pesquisas de tráfego e segurança viária por oferecer informações precisas e em alta resolução sobre o comportamento de veículos em condições reais. Os dados revelaram que o tempo médio de troca variava entre 2,88 e 7,32 segundos, com velocidades entre 18,83 e 43,30 m/s. Fatores como número de faixas, tipo de veículo e direção da manobra apresentaram influência estatisticamente significativa, destacando-se que veículos menores executam a manobra com maior agilidade e que mudanças para a esquerda ocorrem mais rapidamente.

Berghaus et al. (2024) publicaram uma base de dados com 8.648 trajetórias de veículos em rodovias alemãs, captadas por drones e processadas via YOLOv5 e calibração tridimensional. A análise comparativa com sensores terrestres revelou variações médias de 0,45 m/s em velocidade e 0,3 m/s² em aceleração, confirmando a confiabilidade da abordagem aérea para estudos de fluxo e risco viário.

Espedaler-Clapés et al. (2025) propuseram uma metodologia inovadora para análise de segurança viária com drones, utilizando métricas como Tempo para Colisão (TTC) e Tempo de Invasão Pós-Ocupação (PET) em cruzamentos com semáforos. As imagens em 4K e os algoritmos avançados permitiram identificar zonas de risco com elevada precisão, sendo recomendadas melhorias para lidar com oclusões e detecção de diferentes modais.

Por fim, Fonod et al. (2025) desenvolveram uma estrutura de extração de trajetórias georreferenciadas com base em imagens aéreas, superando limitações de cobertura e resolução típicas dos sensores terrestres. O método foi validado com 700.000 trajetórias e 300.000 instâncias classificadas, obtidas por drones em Songdo (Coreia do Sul), estabelecendo novo paradigma para o monitoramento urbano automatizado por visão computacional.

4.4 Drones na Fiscalização Rodoviária Brasileira: Avanços, Desafios e Perspectivas para uma Segurança Viária Estratégica

O emprego de drones pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) representa um avanço significativo na fiscalização e monitoramento do comportamento de usuários em rodovias brasileiras, conforme demonstrado pelas operações recentes na BR-262 (MG) e nas rodovias catarinenses (BR-282 e BR-101). A tecnologia tem se mostrado uma ferramenta eficaz para coibir infrações graves, como ultrapassagens irregulares, uso de celular ao volante e circulação inadequada de caminhões na faixa da esquerda, fatores frequentemente associados a acidentes graves. A capacidade dos drones de capturar imagens com zoom de até sete vezes e operar em altitudes entre 10 e 20 metros proporciona uma visão privilegiada, ampliando a eficácia da fiscalização sem expor os agentes a riscos desnecessários.

No entanto, embora a iniciativa seja promissora, sua implementação ainda enfrenta desafios. A dependência de condições climáticas favoráveis, a necessidade de capacitação

especializada dos operadores e a adequação às normas da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) são obstáculos que podem limitar a escalabilidade do projeto. Além disso, a estratégia de registrar infrações para autuação posterior, em vez de abordagens imediatas, pode reduzir o efeito dissuasório em tempo real, crucial para mudanças comportamentais dos condutores. Outro ponto crítico é a ausência de dados públicos consolidados sobre o impacto dessas operações na redução de acidentes, o que dificulta a avaliação objetiva da eficácia da tecnologia além do aspecto punitivo.

A médio e longo prazo, a expansão do uso de drones pela PRF, aliada a outras tecnologias como câmeras fixas, pode transformar a gestão da segurança viária no país. Contudo, é essencial que essa adoção seja acompanhada de transparência quanto aos resultados, investimento em infraestrutura de suporte e integração com políticas educativas para motoristas. A iniciativa reflete um passo importante na modernização da fiscalização, mas seu sucesso dependerá da superação de barreiras técnicas e operacionais, bem como da garantia de que a tecnologia seja utilizada de forma ética e proporcional (BRASIL, 2024).

O estudo comparativo entre o emprego de drones pela Polícia Rodoviária Federal e as experiências internacionais mapeadas na revisão sistemática da literatura revela defasagens relevantes nos âmbitos tecnológico e metodológico. Enquanto sistemas rodoviários avançados já incorporam essas aeronaves não tripuladas em processos sofisticados de reconstrução acidentária, modelagem 3D e simulações preditivas, o cenário brasileiro permanece restrito a fiscalizações básicas de infrações visíveis, como ultrapassagens proibidas e uso indevido de celulares.

Embora represente um avanço na modernização da fiscalização, a atual utilização pelos órgãos brasileiros apresenta limitações marcantes. O caráter essencialmente punitivo das operações contrasta com as abordagens integradas encontradas em outros países, onde os drones são parte de sistemas inteligentes de monitoramento contínuo, combinando visão computacional, análise de padrões de tráfego e resposta automatizada a incidentes.

A ausência de dados sistematizados sobre a eficácia operacional dessas ações no Brasil agrava o problema, impedindo uma avaliação objetiva de seu impacto na redução de acidentes e melhoria da segurança viária. Esta carência de métricas de desempenho reflete um dos principais desafios identificados na literatura especializada: a necessidade de validação empírica em condições reais de tráfego.

O desenvolvimento dessa tecnologia no país exige superação de obstáculos críticos em três dimensões: regulatória (adequação às normas da ANAC e integração com outros sistemas de monitoramento), operacional (capacitação de equipes e manutenção de equipamentos) e gerencial (transparência na divulgação de resultados e integração com políticas educativas). A experiência internacional demonstra que o potencial máximo dos drones na segurança viária apenas é alcançado quando combinado com outras tecnologias emergentes e inserido em uma estratégia abrangente de gestão do tráfego.

O cenário brasileiro, ainda em fase embrionária, apresenta amplo potencial de desenvolvimento. A incorporação de práticas internacionais consolidadas – devidamente adaptadas às particularidades locais – pode transformar os drones em ferramentas estratégicas, indo além da fiscalização para atuar na prevenção ativa de acidentes e no planejamento rodoviário integrado. No entanto, esse avanço demanda investimentos sustentáveis, cooperação interinstitucional e a padronização de protocolos técnicos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A análise apresentada reitera a capacidade transformadora na análise do comportamento de usuários em rodovias, especialmente na gestão de acidentes rodoviários, abrangendo desde a detecção inicial até a reconstrução tridimensional de cenas, resposta emergencial e otimização da limpeza pós-acidente. A literatura consultada corrobora a eficácia desses equipamentos na otimização de procedimentos, no aprimoramento da acurácia pericial e na mitigação de riscos operacionais para os profissionais envolvidos, contribuindo ademais para a atenuação de congestionamentos.

Não obstante, a plena implementação dessa tecnologia enfrenta obstáculos substanciais. Dentre eles, destacam-se as limitações operacionais impostas por condições climáticas adversas e restrições de voo, bem como as questões regulatórias e éticas atinentes à privacidade de dados e à necessidade de normatização por órgãos competentes, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Soma-se a isso a dependência de tecnologias complementares — a exemplo da Inteligência Artificial, sensores avançados, Internet das Coisas (IoT) e 5G — e a carência de validação em larga escala, uma vez que a maioria das soluções tem sido avaliada em ambientes simulados.

Em âmbito internacional, a aplicação de drones já se encontra consolidada em sistemas inteligentes de monitoramento, reconstrução 3D e simulações preditivas. Contrariamente, no Brasil, o uso dessa tecnologia ainda se mostra incipiente, majoritariamente restrito à fiscalização punitiva, com escassa integração a estratégias de prevenção ou a análises acidentológicas aprofundadas.

Para que o potencial integral dos drones seja explorado, são imperativos: investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento de algoritmos robustos e sensores adaptáveis; a elaboração de um marco regulatório claro que harmonize inovação, segurança e privacidade; a capacitação técnica de equipes e a integração sinérgica com outras tecnologias, como câmeras fixas e análise de big data; e a promoção da transparência e a definição de métricas de eficácia para mensurar o impacto real na redução de acidentes.

A literatura demonstra que, além de acelerar a resposta a incidentes, os drones representam um recurso estratégico para compreender os fatores humanos que precedem os acidentes. Ao permitir a observação direta e não invasiva do comportamento dos usuários, essas

aeronaves favorecem o desenvolvimento de políticas preventivas baseadas em evidências, com potencial de reduzir significativamente a incidência de colisões e infrações.

Diante dos desafios e lacunas identificados, recomenda-se que pesquisas acadêmicas futuras explorem temas estratégicos para o aprimoramento do uso de drones na segurança viária. Uma linha de pesquisa prioritária seria o desenvolvimento e validação de modelos preditivos de acidentes rodoviários utilizando dados de drones e inteligência artificial, com ênfase na criação e teste de algoritmos capazes de antecipar áreas de risco e padrões de acidentes. Paralelamente, torna-se fundamental realizar uma análise comparativa dos marcos regulatórios internacionais sobre o uso de drones na segurança viária, visando propor um modelo adequado ao contexto brasileiro que considere as particularidades legais e operacionais nacionais.

Outra frente de pesquisa relevante seria avaliar os ganhos operacionais da integração entre drones, IoT e redes 5G no atendimento a acidentes rodoviários, examinando como essa convergência tecnológica pode otimizar o tempo de resposta das equipes de emergência. Adicionalmente, estudos empíricos sobre a aplicação de drones na reconstrução tridimensional de cenas de acidente no Brasil poderiam gerar evidências concretas sobre os benefícios e limitações desta tecnologia para fins periciais. Por fim, a elaboração de um protocolo abrangente de capacitação técnica para equipes de resgate e perícia se mostra essencial para garantir o uso adequado e eficiente dos drones em situações reais de acidentes. Estas propostas de pesquisa representam contribuições acadêmicas relevantes para o desenvolvimento de soluções práticas no campo da segurança viária.

REFERÊNCIAS

AFONSO, C. W. **Agências reguladoras e os limites de seus poder**. Cadernos EBAPE.BR, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 1-5, 1 jan. 2006.

ALAM, H.; VALLES, D. Debris **Object Detection Caused by Vehicle Accidents Using UAV and Deep Learning Techniques**. In: IEEE ANNUAL INFORMATION TECHNOLOGY, ELECTRONICS AND MOBILE COMMUNICATION CONFERENCE (IEMCON), 12., 2021, Vancouver, BC, Canada. **Anais [...]**. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2021. p. 1034-1039.

ALBUQUERQUE, Rafael Walter de. **Aplicações de aeronaves remotamente pilotadas e fotogrametria para avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração florestal**. 2022. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

ALBUQUERQUE, Thayná Avelino de. **Novas tecnologias na inspeção predial: uso de aeronave remotamente pilotada (rpa)**. 2021. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

ALMESHAL, A. M.; ALENEZI, M. R.; ALSHATTI, A. K. **Accuracy assessment of small unmanned aerial vehicle for traffic accident photogrammetry in the extreme operating conditions of Kuwait**. *Information*, v. 11, n. 9, p. 442, Sep. 2020.

ALKINANI, M. H.; ALMAZROI, A. A.; JHANJHI, N. Z.; KHAN, N. A. **5G and IoT based reporting and accident detection (RAD) system to deliver first aid box using unmanned aerial vehicle**. *Sensors*, v. 21, n. 20, p. 6905, out. 2021.

AMIN, M.; ABDULLAH, S.; MUKTI, S. N. A.; MOHD ZAIDI, M. H. A.; TAHAR, K. N. **Reconstruction of 3D accident scene from multirotor UAV platform**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, v. XLIII-B2-2020, p. 451-458, ago. 2020.

ANAC. RBAC-E n. 94. **Regulamento brasileiro da aviação civil especial - requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil**. 2017. 26 p.

ANAC. **Regras Vigentes**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/regras-de-todos-os-orgaos-brasileiros-sobre-operacao-de-drones>. Acesso em: 17 jul. 2025.

ANAC. **Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017**. Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. [S. l.]: ANAC, maio 2017.

ANAC. **Requisitos Gerais para Aeronaves não Tripuladas de Uso Civil RBAC-E no 94**. Agência Nacional de Aviação Civil. RBAC-E no 94/2017. Rio de Janeiro. 2017, p. 5.

ANAC. **RBAC-E Nº 94, de 2021: Requisitos Gerais Para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil**. Brasília, DF, 2021.

BAI, Yumeng; FENG, Yiheng. **A Dynamic Unmanned Aerial Vehicle Routing Framework for Urban Traffic Monitoring**. arXiv preprint arXiv:2501.09249, 2025.

BERGHAUS, M.; LAMBERTY, S.; EHLERS, J.; KALLÓ, E.; OESER, M. **Vehicle trajectory dataset from drone videos including off-ramp and congested traffic – Analysis of data**

quality, traffic flow, and accident risk. Communications in Transportation Research, v. 4, p. 100133, 2024. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772424724000167>. Accessed on: 20 jul. 2025.

BORGES, Paulo Henrique Costa. **Uso de RPA como ferramenta auxiliar na inspeção de segurança viária: avaliação do impacto de escolha dos parâmetros de voo.** 2025. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5131>

BRASIL. Polícia Rodoviária Federal. **PRF fiscaliza ultrapassagens irregulares com a utilização de drone na BR-262.** [Brasília, DF]: PRF, 2 set. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/noticias/estaduais/minas-gerais/2024/setembro/prf-fiscaliza-ultrapassagens-irregulares-com-a-utilizacao-de-drone-na-br-262>. Acesso em: 21 jul. 2025.

BRASIL. Polícia Rodoviária Federal. **PRF inicia fiscalização com drones nas rodovias catarinenses.** [Brasília, DF]: PRF, 30 ago. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br/noticias/estaduais/santa-catarina/2024/agosto/prf-inicia-fiscalizacao-com-drones-nas-rodovias-catarinenses>. Acesso em: 21 jul. 2025.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro. **ICA 100-40.** Rio de Janeiro, 2015, p. 20.

BRASIL. Comando DA Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. **ICA 100-40.** Rio de Janeiro, 2023a.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. **RBAC-E nº 94 Emenda nº 03.** 2023b.

CAPPELLETTI, C.; BONIARDI, M.; CASAROLI, A.; DE GAETANI, C. I.; PASSONI, D.; PINTO, L. **Forensic engineering surveys with UAV photogrammetry and laser scanning techniques.** In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 2019, [S. l.]. v. XLII-2/W9, p. 227-234, jan. 2019.

CHEN, Q.; LI, D.; HUANG, B. **SUAV image mosaic based on rectification for use in traffic accident scene diagramming.** In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE OF SAFE PRODUCTION AND INFORMATIZATION (IICSPI), 3., 2020, Chongqing City, China. Anais [...]. Chongqing City, China: IEEE, 2020. p. 430-433, fev. 2021.

CHEN, Shuyi; PIAO, Lianhua; ZANG, Xiaodong; LUO, Qiang; LI, Jiahao; YANG, Junheng; RONG, Jian. **Analyzing differences of highway lane-changing behavior using vehicle trajectory data.** Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 624, p. 128980, 2023. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437123005356>. Accessed on: 20 jul. 2025.

COELHO, L; BRITO, J. **Fotogrametria digital.** Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: 2007.

DAMYANOV, I. S. **Use of modern software solutions and systems for analysis and reconstruction of road accidents.** In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "TECHSYS 2020" – ENGINEERING, TECHNOLOGIES AND SYSTEMS, 9., 2020, Plovdiv, Bulgária. Anais [...]. Plovdiv, Bulgária: AIP Publishing, 2020. p. 012043.

DA SILVA, Daniel Carneiro. **Evolução da fotogrametria no Brasil.** Revista Brasileira de

Geomática, v. 3, n. 2, p. 81-96, 2015. DOI: 10.3895/rbgeo.v3n2.5467

DECEA. **Dúvidas Frequentes: relação de dúvidas frequentes**. 2021. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/>. Acesso em: 17 jul. 2025.

DELAIR. **Delair UX11: o drone de mapeamento mais inteligente**. 2020. Disponível em <<https://delair.aero/delair-commercial-drones/professional-mapping-drone-delair-x11/>>. Acesso em 01 out. 2025.

DJI. **Phantom 4 PRO v2.0**. 2021. Disponível em <<https://www.dji.com/br/phantom-4-pro-v2>>. Acesso em 01 out. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA TERRESTRE (DNIT). **Seminário nacional de desapropriação e reassentamento**, 2., 2019.

ELKHRACHY, I. **Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry**. Alexandria Engineering Journal, v. 60, p. 5579–5590, 2021.

ESPEDALER-CLAPÉS, J. J.; FONOD, R.; BARMPOUNAKIS, E.; GEROLIMINIS, N. **An accurate safety and congestion monitoring framework with a swarm of drones**. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, v. 32, p. 101490, 2025. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198225001691>. Accessed on: [20 jul. 2025].

FENG-HUI, W.; LING-YI, L.; YONG-TAO, L.; SHUN, T.; LANG, W. **Road traffic accident scene detection and mapping system based on aerial photography**. International Journal of Crashworthiness, v. 26, n. 5, p. 537-548, 2021.

FILHO, F. **PRISMA como metodologia para Revisão Sistemática**. (2020). Disponível em: <https://medium.com/dados-e-saude/prisma-como-metodologia-para-revis%C3%A3o-sistem%C3%A1tica-b3f55b4ebc5c>. Acesso em: 20 jul. 2025.

FONOD, R.; CHO, H.; YEO, H.; GEROLIMINIS, N. **Advanced computer vision for extracting georeferenced vehicle trajectories from drone imagery**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 178, p. 105205, 2025. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X25002098>. Accessed on: 20 jul. 2025.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. **Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação**. LOGEION: Filosofia da informação, Rio de Janeiro, v. 6 n. 1, p.57-73, set.2019/fev. 2020.

GIORDAN, D. et al. **The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 79, p. 3437–3481, 2020.

GOHARI, A. et. al. **Drones for road accident management: a systematic review**. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Malaysia, 2017, 12 p. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3321142

GONÇALVES, L.G.D. (2020). **Aerofotogrametria aplicada ao acompanhamento de canteiro de obras**. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 100p

GUPTA, A.; AFRIN, T.; SCULLY, E.; YODO, N. **Advances of UAVs toward Future Transportation: The State-of-the-Art, Challenges, and Opportunities**. Future Transportation, v. 1, n. 1, p. 19, 2021.

HÓRUS. **Aerofotogrametria com drones conceitos básicos**. Florianópolis – SC: Hórus, 2018.

HÓRUS. **Guia prático para drones de mapeamento**. Florianópolis – SC. HÓRUS, 2017.

HNG, T. J. *et al.* **Relative velocity model to locate traffic accident with aerial cameras and YOLOv4**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY AND ELECTRICAL ENGINEERING (ICITEE), 13., 2021, Chiang Mai. **Anais [...]**. Chiang Mai, Tailândia: IEEE, 2021. p. 238-243.

IBAPE. **Prática recomendada de inspeção predial, vistoria cautelar e perícias de engenharia com uso de vants**. Minas Gerais, 2019.

JUCÁ, Tatiana Renata Pereira; OLIVEIRA, Janes Cleiton Alves de; ZANONI, Vanda Alice Garcia. **Uso do drone como tecnologia disruptiva na inspeção de fachadas**. In: PATRIMÔNIO 4.0, 3., 2022, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: LASUS FAU, 2022. Disponível em: <https://www.patrimonio40.tec.br/anais>. Acesso em: 25 Agosto 2025.

JURKOFISKY, D. A. **Accuracy of SUAS photogrammetry for use in accident scene diagramming**. *SAE International Journal of Transportation Safety*, v. 3, n. 2, p. 136-152, jul. 2015.

KARAN, E.; CHRISTMANN, C.; GHEISARI, M.; IRIZARRY, J.; JOHNSON, E. **A comprehensive matrix of unmanned aerial systems requirements for potential applications within a department of transportation**. In: Construction Research Congress, p. 964-973, 2014. Proceedings...

KHAN, N. A.; AHMAD, M.; ALAM, S.; SIDDIQI, A. M. U.; AHAMAD, D.; KHALID, M. N. **Development of Medidrone: A drone based emergency service system for Saudi Arabian healthcare**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND KNOWLEDGE ECONOMY (ICCIKE), 2021, Dubai, Emirados Árabes Unidos. **Anais [...]**. Dubai, Emirados Árabes Unidos: IEEE, 2021. p. 407-412.

KIM, N. V. **Classifying traffic accidents with unmanned aerial vehicle**. *Indian Journal of Science and Technology*, v. 9, n. 27, p. 97701, jul. 2016.

KOSHE, S.; KUMAR, S.; SHAH, D.; JUSTIN, J. **Road accident analysis using structure from motion and machine learning**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR CONVERGENCE IN TECHNOLOGY (I2CT), 7., 2022, Mumbai, Índia. **Anais [...]**. Mumbai, Índia: IEEE, 2022. p. 1-5.

Kujawski, A., & Nürnberg, M. (2023). **Analysis of the Potential Use of Unmanned Aerial Vehicles and Image Processing Methods to Support Road and Parking Space Management in Urban Transport**. *Sustainability*, 15(4), 3285. <https://doi.org/10.3390/su15043285>

LIU, Y.; BAI, B.; ZHANG, C. **UAV image mosaic for road traffic accident scene**. In: YOUTH ACADEMIC ANNUAL CONFERENCE OF CHINESE ASSOCIATION OF AUTOMATION (YAC), 32., 2017, Hefei, China. **Anais [...]**. Hefei, China: IEEE, 2017. p. 1048-1052.

LIU, X.; GUAN, Z.; FAN, Q.; CHEN, Q.; GAO, T. **Remote sensing and scene reconstruction of traffic accident based on unmanned aerial vehicle platform**. In: COTA INTERNATIONAL CONFERENCE OF TRANSPORTATION PROFESSIONALS, 19., 2019, Nanjing, China. **Anais [...]**. Nanjing, China: [s. n.], 2019. p. 3331-3342.

LIU, X.; ZOU, H.; NIU, W.; SONG, Y.; HE, W. **An approach of traffic accident scene**

reconstruction using unmanned aerial vehicle photogrammetry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SENSORS, SIGNAL AND IMAGE PROCESSING, 2., 2019, Praga, República Tcheca. **Proceedings** [...]. Praga, República Tcheca: ACM, 2019. p. 31-34.

LONGHITANO, G. A. (2010). **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 163p.

MARCONDES, R.; SILVA, S. L. R. (2022). **O PROTOCOLO PRISMA 2020 COMO UMA POSSIBILIDADE DE ROTEIRO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA EM ENSINO DE CIÊNCIAS.** Artigo, Revista Brasileira de Pós-graduação (RBPG), Brasília, v. 18, n. 39, p. 1-19, jul./dez., 2022.

MARTINS, M. **Viabilidade do uso de veículos aéreos não tripulados pela polícia militar de Santa Catarina no 19º BPM.** Monografia (Bacharel em Tecnologia da Informação e Comunicação). Universidade Federal de Santa Catarina. Araranguá. 2017.

MELO JÚNIOR, C. M. (2016). **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 376 p.

MOHER, D. et al. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement.** Plos Medicine, v. 6, n. 7, p. 1-6, 2009. DOI: <<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>>. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1000097#s5>>. Acesso em: 01 out. 2025.

NEJJARI, F.; BENHLIMA, L.; BAH, S. **Event traffic detection using heterogenous wireless sensors network.** In: IEEE/ACS INTERNATIONAL CONFERENCE OF COMPUTER SYSTEMS AND APPLICATIONS (AICCSA), 13., 2016, Agadir, Morocco. **Anais** [...]. Agadir, Morocco: IEEE, 2016. p. 1-6.

NEX, F.; REMONDINO, F. **UAV for 3D mapping applications: A review.** Applied Geomatics, v. 6, p. 1–15, 2014.

OLIVEIRA, M. R. **Development of unmanned aerial vehicle technology in the Brazilian market.** 2021. 198 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

OUTAY, F.; MENGASH, H. A.; ADNAN, M. **Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges.** Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 141, p. 116–129, 2020.

PÁDUA, L.; SOUSA, J.; VANKO, J.; HRUŠKA, J.; ADÃO, T.; PERES, E.; SOUSA, A.; SOUSA, J. J. **Digital reconstitution of road traffic accidents: A flexible methodology relying on UAV surveying and complementary strategies to support multiple scenarios.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 6, p. 1868, mar. 2020.

PAGE, M. J. et al. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** BMJ, 372, n. 71, p. 1-9, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n71>. Disponível em: <<https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>>. Acesso em: 01 out. 2025.

PÉREZ, J. A.; GONÇALVES, G. R.; RANGEL, J. M. G.; ORTEGA, P. F. **Accuracy and effectiveness of orthophotos obtained from low cost UASs video imagery for traffic accident scenes documentation.** *Advances in Engineering Software*, v. 132, p. 47-54, jun. 2019.

PEY, J. (2022). **ESTUDO SOBRE EMPREGO DE DRONES EM OPERAÇÕES DE INTELIGÊNCIA DE SEGURANÇA PÚBLICA.** Dissertação de Mestrado Profissional, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 76 p.

RAJ, C. V.; SREE, B. N.; MADHAVAN, R. **Vision based accident vehicle identification and scene investigation.** *In: IEEE REGION 10 SYMPOSIUM (TENSYP)*, 2017, Cochin. *Anais [...]*. Cochin, India: IEEE, 2017. p. 1-5.

RAMALHO, Breno da Silva. **Procedimentos metodológicos para atualização de informações geoespaciais por meio de sensores imageadores embarcados em sistema aéreo remotamente pilotado.** 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

SANTOS, M. O. **Veículos aéreos não tripulados e sua inserção em espaço aéreo não segregado.** *Vértiges*, Campos dos Goytacazes/RJ, ano 2016, v. 18, ed. 3, p. 173-188, 16 fev. 2016.

SHAKHATREH, H. et al. **Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges.** *IEEE Access*, v. 7, p. 48572–48634, 2019.

SILVA, I. **Geomatics Applied to Civil Engineering State of the Art.** *In: GHOSH, J.; SILVA, I. (Eds.). Applications of Geomatics in Civil Engineering.* Singapore: Springer, 2020. p. 31–46.

SOUZA, J. P. C. **Pouso autônomo de VANTs baseado em rede neural artificial supervisionada por lógica fuzzy.** 2018. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018. 139p. Disponível em: . Acesso em: 02 out. 2025.

ŠKORPUT, P.; MANDŽUKA, S.; GREGURIĆ, M.; VRANČIĆ, M. T. **Applying Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in traffic investigation process.** *In: NEW TECHNOLOGIES, DEVELOPMENT AND APPLICATION II*, 2020, Sarajevo, Bosnia e Herzegovina. *Anais [...]*. Sarajevo, Bosnia e Herzegovina: Springer, 2020. p. 401-405.

STÁŇA, I.; TOKAŘ, S.; BUCSUHÁZY, K.; BILÍK, M. **Comparison of utilization of conventional and advanced methods for traffic accidents scene documentation in the Czech Republic.** *Procedia Engineering*, v. 187, p. 471-476, maio 2017.

SU, S.; LIU, W.; LI, K.; YANG, G.; FENG, C.; MING, J.; LIU, G.; LIU, S.; YIN, Z. **Developing an unmanned aerial vehicle-based rapid mapping system for traffic accident investigation.** *Australian Journal of Forensic Sciences*, v. 48, n. 4, p. 454-468, 2016.

TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria.** Departamento de cartografia, UFMG, 2000.

ULRICH, Pedro Henrique; NOBRE, Jeferson Campos. **Análise do Estado da Arte em Segurança Cibernética com Drones.** *Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação*, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 2-10, 2019.

VALLE, Vivian Lima López; CORCOVADO, João Miguel França. **Regulação do uso comercial de drones no espaço aéreo urbano e sua logística para transporte de objetos nas smart cities.** *International Journal of Digital Law*, Belo Horizonte, ano 2, n. 2, p. 185-200, maio/ago. 2021. DOI: 10.47975/IJDL.valle.v.2.n.2

VILLARINO, Alberto et al. UAV Applications for Monitoring and Management of Civil Infrastructures. **Infrastructures**, v. 10, n. 5, p. 106, 2025.

WANG, J.; LI, Z.; ZOU, D.; CHEN, Y. **Reconstruction of a real-world car-to-pedestrian collision using geomatics techniques and numerical simulations**. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, v. 91, p. 102433, out. 2022.

WANG, X.; FAN, Y.; GONG, B.; WEI, R. **Research in traffic accident analysis based on multi-source data fusion**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMPUTING, AUTOMATION AND SYSTEMS (ICICAS), 2021, Chongqing, China. **Anais [...]**. Chongqing, China: IEEE, 2021. p. 264-270.

ZAMAN, Ahmad Akib Uz; ABDELATY, Ahmed; YAMANY, Mohamed S. Applications of UAV Technologies in Assessment of Transportation Infrastructure Systems. **CivilEng**, v. 6, n. 2, p. 32, 2025.

ZHANG, C. **Development of a UAV-based remote sensing system for unpaved road condition assessment**. In: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Portland, Oregon, 2008. Proceedings...