

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA – IG
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

MÁRCIA GONÇALVES VIEIRA

**FOTOGRAMETRIA APLICADA A AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA: UM
ESTUDO DE CASO DA RODOVIA MG-414.**

Monte Carmelo

2024

MÁRCIA GONÇALVES VIEIRA

**FOTOGRAMETRIA APLICADA A AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA: UM
ESTUDO DE CASO DA RODOVIA MG-414**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Área de concentração: Fotogrametria

Orientadora: Prof^a. Dra. Luciany Oliveira Seabra

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo B. A. Gallis

Monte Carmelo

2024

MÁRCIA GONÇALVES VIEIRA

**FOTOGRAMETRIA APLICADA A AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA: UM
ESTUDO DE CASO DA RODOVIA MG-414**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
de Agrimensura e Cartográfica.

Área de concentração: Fotogrametria

Monte Carmelo, 09 de setembro de 2024

Banca Examinadora:

Profª. Dra. Luciany Oliveira Seabra (Orientadora)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Profº. Dr. Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis (Coorientador)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Profª. Dra. Luziane Ribeiro Indjai (Membro convidado)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Dedico este trabalho ao meu filho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a ele toda honra e toda glória.

Agradeço ao meu pai, Nicásio Vieira (em memória) por tudo que me ensinou e pelo seu esforço em minha criação.

Agradeço a minha mãe, Marta Gonçalves e ao seu esposo Vital, por todo apoio e incentivo que me deram.

Agradeço ao meu irmão, Marcelo G. O. Vieira, por todo o apoio e por ser o meu maior exemplo na educação e dedicação aos estudos.

Agradeço ao meu esposo, Fernando, pelo companheirismo, apoio, incentivo, e também aos meus sogros.

Agradeço em especial a minha orientadora Prof^ª. Dra. Luciany Oliveira Seabra pela paciência e empenho nos momentos de escrita e revisão deste trabalho.

Agradeço a todo o corpo docente do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFU campus Araras, pelos ensinamentos ao longo desses anos, e em especial aos professores Fernando Santil, Luziane Ribeiro, Ricardo Barbosa, Rodrigo Gallis e também ao professor Victor Sobreira, cada um de vocês me ajudou muito em determinados momentos do curso.

Agradeço a minha grande amiga Gisamara por trilhar comigo as dificuldades do curso e ao meus amigos, Victor Hugo e Caio pela ajuda.

Agradeço ao meu grande amigo Fabian, sem você este trabalho não seria possível.

Por fim agradeço ao meu filho Vitor Vieira, por toda a compreensão nos momentos que estive ausente e por dar razão e sentido a minha vida.

“Conhecimento não é poder até que seja aplicado”

(Dale Carnegie)

RESUMO

Auditoria de Segurança Viária (ASV) é um método preventivo que visa reduzir o índice de acidentes de trânsito. A ocorrência dos acidentes envolve quatro principais fatores: falhas humanas, problemas veiculares, problemas ambientais e deficiências viárias. A auditoria de segurança viária é realizada por meio de listas de verificação (*checklists*) e avaliação das condições físicas das vias e do ambiente. O uso de técnicas oriundas da fotogrametria pode facilitar a realização das avaliações e a identificação mais precisa dos locais auditados, tornando o processo mais preciso. Este trabalho apresenta o estudo de caso da rodovia MG-414 com aplicação de técnicas de fotogrametria na ASV por meio de um aerolevante usando uma aeronave remotamente pilotada.

Palavras-chave: Fotogrametria. Segurança Viária. Rodovia.

ABSTRACT

Road Safety Audit (ASV) is a preventive method that aims to reduce the rate of traffic accidents. The occurrence of accidents involves four main factors: human error, vehicle problems, environmental problems and road deficiencies. The road safety audit is carried out through checklists and assessment of the physical conditions of the roads and the environment. The use of photogrammetry techniques can facilitate assessments and more precise identification of audited locations, making the process more precise. This work presents the case study of the MG-414 highway with the application of photogrammetry techniques in the ASV through an aerial survey using a remotely piloted aircraft.

Keywords: Photogrammetry. Road Safety. Highway.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1–Mapa de localização da área de estudo.	14
Figura 2– Phantom 4.	15
Figura 3–GNSS RTK Topomap T500.....	16
Figura 4 – Fluxograma da metodologia.....	17
Figura 5 – Plano de voo.....	20
Figura 6 – Pontos de controle.	21
Figura 7 – Processamento das imagens.....	22
Figura 8 – Ortofoto processada seção 1.....	23
Figura 9 – Ortofoto processada seção 2.....	23
Figura 10 – Ortofoto processada seção 3.....	24
Figura 11– Ortofoto processada seção 4.....	24
Figura 12 – Vegetação lindeira trecho MG-414.....	27
Figura 13 – Ultrapassagem.	28
Figura 14 – Faixa auxiliar e de conversão.....	30
Figura 15 – Ausência de ciclovias.....	31
Figura 16 – Deficiências no pavimento.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1–Planilha de inspeção	11
Quadro 2 – Lista de verificação.....	19
Quadro 3 – Itens da lista de verificação aptos a análise com fotogrametria aérea	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMET	Associação Brasileira de Medicina de Tráfego
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
ASP	American Society Of Photogrammetry
ASV	Auditoria de Segurança Viária
AUSTROADS	Association of the Australian and New Zealand transport agencies
BEIDOU	Sistema de Navegação por Satélite China
CMSO	Semicondutor de óxido metálico complementar
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DJI	Shenzhen Dji Sciences and Technologies Ltd.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ESRI	Environmental Systems Research Institute Inc.
GALILEO	Sistema de Navegação por Satélite da União Europeia
GCP	Ground Control Points
GLONASS	Sistema de Navegação por Satélite Russo
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISP	Índice de Segurança Potencial
LASER	Laboratório De Sensoriamento Remoto
MDT	Modelo Digital do Terreno
MOF	Mudança Obrigatória de Faixa
RMS	Root Mean Square
RTK	Real Time Kinematic
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SV	Segurança Viária
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	DESENVOLVIMENTO	6
2.1	Objetivo Geral	6
2.2	Objetivo Específico	6
2.3	Justificativa	6
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1	Infraestrutura de Transporte Rodoviário	7
3.1.1	Manutenção e conservação de rodovias	7
3.2	Segurança Viária	8
3.2.1	Acidentalidade viária	9
3.2.2	Auditoria de Segurança Viária	10
3.3	Fotogrametria	12
4	MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1	Área de estudo	13
4.2	Material	14
4.2.1	Phantom 4	14
4.2.2	GNSS RTK Topomap T500	15
4.2.3	DroneDeploy	16
4.2.4	ArcGis Desktop	16
4.2.5	Metashape Agisoft	17
4.3	Métodos	17
4.3.1	Definição da área de estudo	17
4.3.2	Escolha do <i>checklist</i>	18
4.3.3	Planejamento de campo	19
4.3.4	Planejamento de voo	20
4.3.5	Pontos de apoio	20
4.3.6	Aerolevantamento	21

4.3.7 Processamento dos dados	21
4.3.8 Ortofoto	22
4.3.9 Análise dos dados	25
5 RESULTADOS	25
5.1 - Geral	26
5.2 Alinhamento e seção transversal	28
5.3 Interseções	29
5.4 Faixa auxiliar e faixa de conversão	29
5.5 Tráfego não motorizado	30
5.6 Pavimentos	31
5.7 Usuários da via	32
6 CONCLUSÃO	33

1 INTRODUÇÃO

As rodovias desempenham um papel essencial na infraestrutura de transporte, conectando regiões e fomentando o desenvolvimento econômico (Hoel; Garber; Sadek, 2011). No entanto, o uso intensivo das rodovias brasileiras traz desafios significativos no que diz respeito a segurança viária (SV). Como apontado na pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022a), muitas rodovias brasileiras apresentam condições precárias de manutenção, caracterizadas por buracos, falta de sinalização apropriada e problemas estruturais, contribuindo para ocorrência de acidentes.

Os acidentes de trânsito em rodovias são uma preocupação global, pois acarretam perdas humanas e econômicas consideráveis. De acordo com informações da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2018), aproximadamente 1,35 milhão de pessoas perdem a vida anualmente em acidentes de trânsito em todo o mundo, e milhões de outras sofrem lesões.

Diante dessa realidade a busca por estratégias eficazes para reduzir a incidência ou a gravidade desses acidentes é fundamental. A segurança viária, como campo de estudo e prática, concentra-se na análise e na mitigação dos fatores que contribuem para os acidentes de trânsito. Nesse contexto surgem as Auditorias de Segurança Viária (ASV) como ferramenta para avaliar e melhorar as condições de segurança nas estradas. Segundo AUSTROADS (1994 apud Nodari, 2003), a Auditoria de Segurança Viária é um exame formal de segurança de um projeto de uma rodovia, existente ou futura, onde o examinador devidamente qualificado analisa e relata o potencial de acidentes e o desempenho de segurança do projeto.

A ASV é uma ferramenta proativa que visa identificar riscos, falhas no pavimento, na geometria, falta de proteção lateral em taludes íngremes, deficiências de drenagem e sinalização com foco na prevenção de acidentes. Um dos desafios comuns pode ser a coleta precisa periódica de dados, principalmente pela falta de recursos humanos e financeiros. Tradicionalmente esse processo tem sido conduzido por meio de inspeções visuais e manuais que podem ser demoradas e suscetíveis a erros humanos (Nodari; Lindau, 2001).

Com o avanço das tecnologias aplicadas a área de geomática, a fotogrametria surgiu como uma alternativa promissora que pode melhorar a qualidade e a eficiência da auditoria de segurança viária, como pode ser verificado nos estudos de Sales (2017) e Silva (2022).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Objetivo Geral

Identificar condições inseguras e fatores que causam os sinistros de trânsito por meio de técnicas da fotogrametria aplicadas na auditoria em segurança viária da rodovia MG-414.

2.2 Objetivo Específico

- Identificar fatores de risco de acidentes visando a segurança nas rodovias;
- Propor recomendações para melhoria da segurança viária no trecho em estudo.

2.3 Justificativa

A segurança viária é uma preocupação global que afeta diretamente a qualidade de vida e o bem-estar das pessoas. Estima-se que aproximadamente 40 mil pessoas morrem por ano em decorrência de acidentes de trânsito no Brasil (IPEA, 2023). Além das perdas humanas irreparáveis, são diversos os impactos sociais e econômicos associados a esses eventos, os custos estimados referentes aos acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras geraram um valor de R\$ 12,92 bilhões apenas para o ano de 2022, sendo a maioria destes custos (1,69 bilhão) no Estado de Minas Gerais (CNT, 2023).

Diante dessa realidade, torna-se cada vez mais imperativo buscar por soluções eficazes e inovadoras para a melhoria das condições das rodovias. Uma infraestrutura de transportes de qualidade é primordial para o desenvolvimento da economia. Boas estradas reduzem o custo de transportes e, portanto, o preço final dos produtos, tornando-os acessíveis ao consumidor e mais competitivos.

A manutenção das rodovias torna-se um desafio constante e complexo, pois depende de recursos humanos e de investimentos. Nesse cenário a auditoria de segurança viária se destaca como uma ferramenta essencial para a identificação e mitigação de riscos nas rodovias, com o objetivo de prevenir acidentes e promover a segurança dos usuários. No entanto, as abordagens tradicionais de auditoria muitas vezes enfrentam desafios relacionados a coleta de dados, precisão na análise e abrangência das avaliações (Nodari; Lindau, 2001).

Nesse contexto, a fotogrametria pode se destacar nas auditorias de segurança viária pela sua capacidade de capturar informações detalhadas e precisas a partir de imagens, importante ferramenta para aprimorar as avaliações. O uso de aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), permite a obtenção de imagens de alta resolução e informações geoespaciais essenciais. Ao incorporar ARPs, não apenas aceleramos o processo de inspeção, mas também é possível aprimorar consideravelmente a precisão e a abrangência das avaliações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Infraestrutura de Transporte Rodoviário

Uma infraestrutura é a base necessária para o desenvolvimento das atividades socioeconômicas de um país. Conforme Hoel, Garber e Sadek (2011, p. 01), a finalidade do transporte é “fornecer um mecanismo para troca de bens, de informações, deslocamento de pessoas, e para apoiar o desenvolvimento econômico da sociedade”. Assim, a infraestrutura de transporte rodoviário requer um conjunto de atividades relacionadas à concepção, planejamento, operação e construção de rodovias.

A construção e manutenção de rodovias que permitam uma boa qualidade no ir e vir das pessoas, são importantes para o desenvolvimento do país, e está diretamente ligado à economia, produção de bens e serviços, gera empregos, bem como o acesso a serviços essenciais como saúde e educação (Hoel; Garber; Sadek, 2011).

De acordo com a pesquisa realizada pela CNT, em 2022, o uso das vias para transporte rodoviário de cargas corresponde a 65,0% e o transporte de passageiros a 95,0%. Assim, o desenvolvimento da infraestrutura de rodovias, tanto a construção quanto a manutenção promovem o crescimento econômico, proporciona aumento da produtividade e escoamento de insumos e melhora a qualidade de vida (Fabiano, 2015).

As rodovias são classificadas conforme sua função, características físicas e estruturais, localização, hierarquia, jurisdição (Pimenta et al., 2017). No que se refere aos elementos técnicos que caracterizam uma rodovia destacam-se: acostamento, alinhamento horizontal, alinhamento vertical, bordas da pista, capacidade, abaulamento, dispositivos de drenagem, eixo, faixa de rolamento, perfil, greide, talude, seção transversal, superlargura, superelevação, entre outros (Pinto, 2020).

Dentre as características físicas das rodovias, Nodari (2003) indica como exemplos a presença de buracos, resistência a derrapagem, formação de espelho d'água, desnível entre faixa de rolamento e acostamento, curvas horizontais, superlargura, iluminação artificial, elementos de vibração para avisos ao volante, sinalização, acostamento, entre outros. Para preservar a integridade das características físicas de uma rodovia é necessário a manutenção visando a conservação da infraestrutura e a segurança viária.

3.1.1 Manutenção e conservação de rodovias

Para Brasil (2023), a manutenção de rodovias é uma atividade contínua, e possui objetivo de preservar a infraestrutura viária. A manutenção da infraestrutura rodoviária se estende em todos os seus elementos, tais como na pavimentação, na sinalização, em estruturas,

elementos de drenagem. A responsabilidade de construção e manutenção da infraestrutura compete ao órgão com jurisdição sobre a via ao nível federal, estadual ou municipal. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) é responsável pela manutenção das rodovias federais, o Departamento de Estradas de Rodagem (DER) é responsável pelas estradas estaduais, já as estradas municipais são de responsabilidade das prefeituras municipais.

A manutenção e conservação permanente viabiliza o tráfego de meios de transportes e segurança nas rodovias. Dessa maneira, as atividades constantes nas rodovias permitem melhorar o escoamento de produtos e serviços, transporte de insumos, segurança e qualidade de vida da população que utiliza as rodovias, impactando indiretamente na economia e geração de empregos. São exemplos de atividades de manutenção os serviços de tapa-buracos, roçadas em faixa de domínio, limpeza de sistema de drenagem, aplicação de massa asfáltica e recomposição da sinalização horizontal (DER, 2023).

Conforme o Manual de Conservação Rodoviária DNIT (2005), as consequências ligadas ao mau estado das vias geram reflexos econômicos negativos, como: desaceleração do desenvolvimento econômico, aumento do consumo de combustíveis, aumento de acidentes e no tempo de viagem de bens e serviços, ocasionando o aumento de custos para os usuários de determinada via de transporte. Assim, são classificados em cinco os grupos de intervenção da via: (1) conservação corretiva rotineira, procedimento para reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento da rodovia; (2) conservação preventiva periódica, realizada ao longo do ano para evitar surgimento ou agravamento de defeitos; (3) conservação de emergência, operação que corrige algum defeito ocasionado por catástrofes, evento extraordinário, acidentes, entre outros; (4) restauração, a qual restabelece na íntegra uma via em seu estado original; e (5) melhoramento de rodovia, a qual é um conjunto de operações responsáveis por apresentar características novas na via.

Além de promover o desenvolvimento econômico e social, a manutenção e conservações das vias de transporte contribuem para prevenção de acidentes, bem como para a segurança viária daqueles que utilizam determinado trecho da rodovia.

3.2 Segurança Viária

A Segurança Viária (SV), de acordo com o Manual de Segurança Viária do DER-SP (2023) “pode ser explicada a partir das características da via que contribuem para garantir a integridade física de seus usuários e dos bens materiais ao seu redor”. Dessa maneira, a Segurança Viária envolve a análise da ocorrência de acidentes e consequências que ocorrem em uma via (DER, 2023, p. 35).

Segundo o Ministério dos Transportes, segurança viária é um conjunto de métodos, ações e normas existentes necessários para a circulação segura de pessoas e veículos nas ruas e rodovias, com a finalidade de prevenir e reduzir o risco de acidentes (Brasil, 2023).

Ferraz et al. (2012), definem que a SV é inversamente proporcional ao desenvolvimento econômico de um país, uma vez que quanto menor a economia de um país, maiores as incidências de acidentes e infrações em vias. Fatores como falta de cultura de segurança no trânsito, vias mal planejadas, veículos velhos e sem manutenção, má fiscalização, entre outros, são elementos que contribuem para o aumento da ocorrência de acidentes.

Conforme Dias (2004), a SV é a relação de diversos fatores que se interagem entre si, como uso do solo ao redor da via, condições das vias de transporte (asfalto, sinalização, entre outros), atitudes dos condutores e fatores climáticos. Nesse processo, um banco de dados colabora para o cadastro de ocorrências nas vias, auxiliando no estudo da segurança.

De acordo com Nodari (2003), o gerenciamento da SV é classificado de duas formas, sendo a primeira em iniciativas corretivas, como análise de pontos críticos, e a segunda em preventivas, como auditoria de segurança viária e análise de conflito de tráfego. Ambas as classificações buscam a melhoria da SV, uma vez que auxiliam no desenvolvimento e melhoramento dos componentes que influenciam em acidentes de trânsito, dentre eles: humano, ambiental e veicular.

O estudo da SV possui interesse de todas as esferas governamentais. O impacto negativo que acidentes viários causam nos cofres públicos ultrapassam a casa dos bilhões. Dessa forma, entender os tipos de acidentes e como são causados é de grande importância para o melhoramento das vias de transporte, assim como melhorar o desenvolvimento econômico e social do país (Ferraz et al., 2012).

3.2.1 Acidentalidade viária

Acidentes de trânsito são, em muitas vezes, previsíveis e evitáveis. Na maioria dos acidentes têm-se poucos fatores de riscos envolvidos, os quais por meio de políticas públicas e um banco de dados adequado de informações, podem ser minimizados ou evitados (Ferraz et al. 2012).

A acidentalidade é responsável pelo estudo de acidentes viários, onde por meio de uma união de informações e ocorrências de trânsito, busca-se a adoção de medidas para reduzir ou eliminar o risco de acidentes (DER-SP, 2023). Dessa forma, o risco de acidente está sempre relacionado ao deslocamento de veículos em uma dada via, tendo como base quatro fatores,

sendo eles: quantidade de tráfego dos usuários da via, probabilidade de acidente devido ao tráfego, probabilidade de ferimento devido ao acidente, e resultado dos ferimentos.

Os acidentes podem ser classificados por diversos tipos, a maioria está relacionado as condições da via e do tráfego, assim como também, comportamento de usuários e falhas mecânicas (DER-SP, 2023). Conforme DER-SP (2023), os tipos de acidentes em uma via de transporte são: atropelamento, tombamento, capotamento, choque, colisão, engavetamento e queda.

A literatura sobre a acidentalidade viária apresenta várias definições em relação ao que é acidente viário, conforme o Manual de Segurança Viária do DER-SP (2023), “acidente viário é um evento não intencional e inesperado que ocorre em vias abertas à circulação e seus entornos e envolve um ou mais veículos, podendo ser entre veículos, entre veículos e pedestres ou entre veículos e obstáculos fixos presentes ao longo da via”.

Em 2020 a Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT) modificou o termo “acidente de trânsito” por “sinistro de trânsito”. Essa alteração visa trazer uma nomenclatura mais apropriada para qualificar eventos no tráfego (ABRAMET,2021).

3.2.2 Auditoria de Segurança Viária

De acordo com DER-SP (2023), “a Auditoria de Segurança Viária (ASV) tem como objetivo identificar e eliminar os elementos de risco presentes no sistema viário que contribuem para a ocorrência ou para a severidade dos acidentes, antes que eles ocorram”.

Nodari e Lindau (2001, p. 01), definem que a “Auditoria de Segurança Viária tem o objetivo de diminuir a probabilidade de ocorrência de acidentes de trânsito por meio da realização de vistorias periódicas com foco na questão de segurança.” O produto dessa auditoria é um relatório que destaca os problemas de segurança relacionados a via e ao ambiente viário em questão, seja em características físicas ou operacionais.

Ferraz et al. (2012) afirmam que a ASV é a análise da segurança do trânsito de uma via, podendo verificar a relação entre vias e interseções, sistemas de sinalização, tráfego. Seu objetivo principal é garantir aos sistemas viários condições adequadas a segurança. Seus principais benefícios são: redução do número de acidentes, redução da severidade dos acidentes, redução de custos associados a acidentes, aumento da consciência sobre segurança viária entre autoridades e técnicos.

AUSTROADS (1994 apud Nodari 2003), afirma que a ASV é um mecanismo para estudar a relação entre o potencial de acidentes e o seu desempenho em segurança de um projeto viário. Além disso, seu objetivo é identificar deficiências nas condições de segurança dos

usuários da via, podendo ou não propor soluções para os possíveis problemas. Esse estudo pode estar presente em todas as etapas de um projeto viário, ou seja, desde a viabilidade do projeto até em vias em operação (Nodari, 2003).

Alguns aspectos devem ser levados em considerações para a execução de uma ASV, como uma lista de verificação de elementos (*checklist*), equipe de profissionais que não estejam relacionados com a projeção/operação da via e foco exclusivo na segurança dos usuários da via (Ferraz et al., 2012). Para esse *checklist*, conforme Nodari (2003), diversos elementos são analisados, como: traçado da via, estrutura do pavimento, sinalização, entornos da via.

A justificativa da utilização de um *checklist* na ASV é devido a muitos estudos na área formularem elementos de verificação inerentes a segurança viária, apresentando uma relação concreta com a ocorrência de acidentes. Assim, Nodari (2003), propôs um Índice de Segurança Potencial (ISP) baseados em diversos autores.

Quanto à inspeção em campo, Nodari (2003) apresenta uma planilha de inspeção de campo para a determinação do ISP com 34 características a serem avaliadas numa rodovia. . As categorias que compõem o ISP estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1–Planilha de inspeção.

características	
superfície pav.	1 Buracos na pista
	2 Resistência à derrapagem
	3 Formação de espelhos d' água
	4 Eliminação cascalho solto na pista
	5 Desnível entre faixa e acostamento
curva	6 Suavização de curvas horizontais
	7 Adoção de superlargura
	8 Adoção de superelevação
	9 Incidência de curvas
interf.	10 Combinação entre alinhamento horizontal e vertical
	11 Faixas adicionais e canalizações
sinalização V e H	12 Iluminação artificial nas interseções
	13 Linhas demarcadoras das faixas de rolamento
	14 Uso de tachas refletivas nas linhas
	15 Credibilidade da sinalização vertical e horizontal
	16 Quantidade adequada de placas de sinalização
	17 Uso de balizadores
	18 Legibilidade e conspicuidade da sinalização vertical
elem. longit.	19 Suavização de rampas
	20 Oportunidades de ultrapassagem
	21 Distâncias de visibilidade
seção transversal	22 Larguras das faixas e acostamentos
	23 Pavimentação dos acostamentos
	24 Taludes laterais suaves
	25 Largura da faixa e acostamentos em pontes
usu. vuln.	26 Tráfego de ciclistas/pedestres
	27 Travessias para pedestres
laterais	28 Presença de elementos perigosos na lateral da via
	29 Acessos a propriedade e comércio lindeiro
	30 Localização e layout de pontos de ônibus
	31 Quantidade de outdoors comerciais
geral	32 Transição entre ambientes rural/urbano
	33 Compatibilidade entre velocidade regulamentada e diretriz
	34 Proteção contra a invasão de animais de grande porte

Fonte: Nodari (2003).

No Quadro 1 são identificadas os seguintes temas: tópicos gerais, alinhamento e seção transversal, interseção em nível, interseções em mais de um nível, faixas auxiliares e de conservação, tráfego não motorizado, sinalização e iluminação, objetos físicos, semáforos, delineamento, pavimento, condições ambientais, usuários da via e acessos e adjacências.

3.3 Fotogrametria

De acordo com *American Society of Photogrammetry* ASP (1966 apud por Temba 2000, p. 02), a fotogrametria “é a arte, ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética registrados”. Brito e Coelho (2007, p. 11), expressam que, por consenso geral, a fotogrametria é “ciência e tecnologia de se obter informação confiável por meio de imagens adquiridas de sensores”.

Brito e Coelho (2007, p. 16) definem que o objetivo principal da fotogrametria é “a reconstrução de um espaço tridimensional, chamado espaço-objeto, a partir de um conjunto não vazio de imagens bidimensionais, chamado de espaço-imagem”. Dessa maneira, por meio de pontos de controle do terreno (espaço-objeto), é possível transformar um sistema de coordenadas fotográficas (bidimensional), obtidos por métodos de calibração, em um sistema de coordenadas tridimensionais, que são representadas por coordenadas no terreno (Brito; Coelho, 2007).

Para Temba (2000), a fotogrametria é dividida em duas grandes áreas, sendo fotogrametria interpretativa e fotogrametria métrica. A primeira busca reconhecer, identificar e dar significado a objetos contidos na imagem; já a segunda consiste na obtenção de medidas e outras fontes de informação, como: distâncias, ângulos, áreas, volumes.

Para obtenção de feições a partir de imagens, o aparelho imageador, chamado de câmera ou câmara, pode estar acoplado em qualquer plataforma, sendo terrestre, orbital ou aérea, onde esta a mais envolvida na geomática (Brito e Coelho, 2007). Historicamente, a obtenção de fotografias aéreas para análise de dados da superfície terrestre era feita por câmeras embarcadas em pombos ou balões, onde posteriormente, foi possível implantar câmeras em aviões (Trombeta et al., 2019).

Atualmente, a fotogrametria aérea tem sido empregada a partir de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), permitindo um ganho no tempo em relação à execução de um projeto aerofotogramétrico e diminuição de despesas em relação à utilização de aeronaves tripuladas, onde se dependia de grandes sensores fotográficos, filtros, aeronaves tripuladas, entre outros fatores (Trombeta et al., 2019). Dessa forma, por meio da fotogrametria pode-se

gerar diversos produtos, como o mapeamento da superfície terrestre, geração de modelos digitais do terreno, modelagem numérica de falhas e deformações em estruturas, reconhecimento de feições, entre outros (Brito e Coelho, 2007).

Conforme IBGE (2023), o levantamento aerofotogramétrico “é um dos métodos utilizados para o mapeamento da superfície terrestre”. Dessa maneira, as aplicações de um levantamento fotogramétrico são inúmeras, dentre elas: levantamento topográfico planialtimétrico cadastral, levantamento de medidas em edificações, vetorização de feições para obtenção de informações qualitativas e quantitativas, possibilidade de realizar acompanhamento da execução e inspeção de obras de engenharia (Silva et al., 2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consistiu em realizar uma ASV em um trecho da rodovia estadual MG-414 em operação utilizando a fotogrametria com imagens obtidas por meio de uma aeronave remotamente pilotada (ARP).

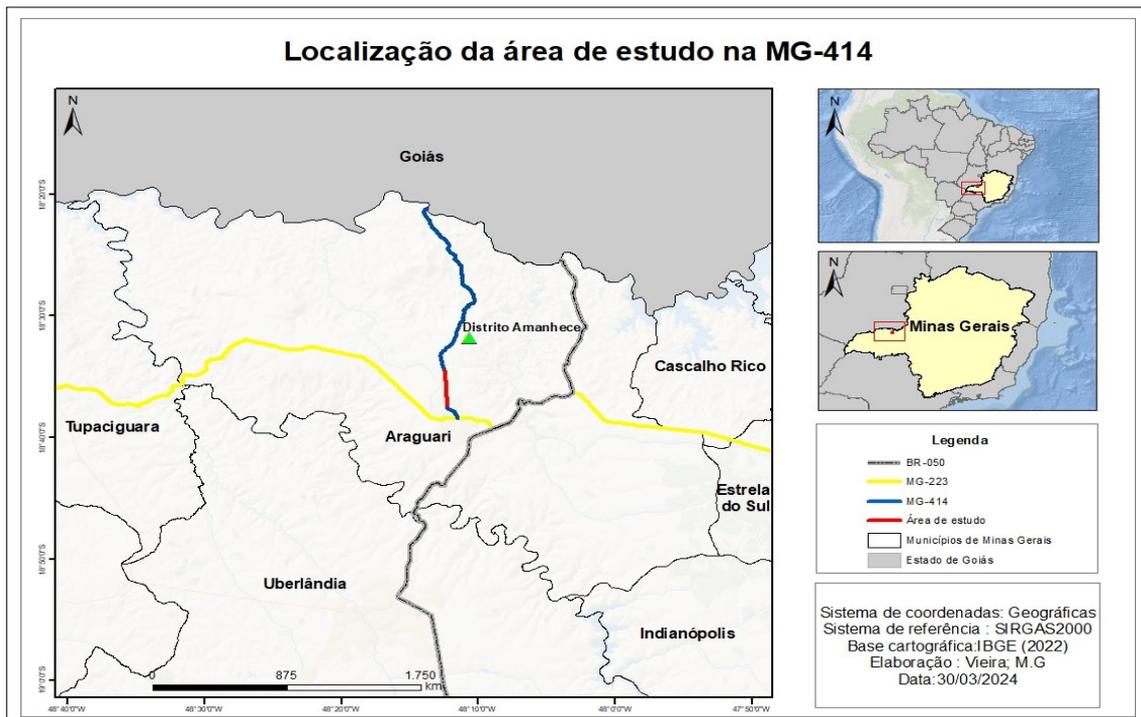
Os materiais e métodos foram definidos visando uma avaliação minuciosa das condições do trecho rodoviário em estudo, foi possível identificar quais itens presentes na lista de verificação (checklists) são compatíveis para o uso adequado das técnicas de fotogrametria, com a finalidade de identificar características físicas precárias com riscos para a ocorrência de sinistros de trânsito na rodovia em estudo.

4.1 Área de estudo

De acordo com o DER-MG, a rodovia estadual MG-414 estabelece a conexão entre os municípios de Araguari, em Minas Gerais, e Anhanguera, em Goiás, passando pelo Distrito de Amanhece, percorrendo uma extensão de 37,7 quilômetros. Essa rodovia desempenha um papel importante para o transporte e desenvolvimento da produção do agronegócio localizada ao longo de sua extensão. A região é caracterizada por atividades como a suinocultura, avicultura, extração de argila para olarias, bem como a oferta de areia para o setor da construção civil (Agência Minas, 2023).

A área de estudo refere-se a um segmento de 4 quilômetros de rodovia pavimentada de pista simples, entre o município de Araguari-MG, e o Distrito de Amanhece-MG, conforme Figura 1.

Figura 1–Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: A autora (2024).

4.2 Material

Para a realização deste trabalho foi utilizado o seguinte material: ARP *Phantom 4*, GNSS RTK Topomap T500, *software* de planejamento de voo *Drone Deploy*, *software* de processamento SIG *ArcGis*, e *software* de processamento de imagens *Metashape Agisoft*.

4.2.1 Phantom 4

Segundo a fabricante (DJI, 2023), a ARP *Phantom 4* (Figura 2) possui um sensor CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) de 1" (uma polegada) capaz de gravar vídeos em 4K de resolução a 60 quadros por segundo e fotos em 20 MP (vinte megapixels). O tempo de voo estimado é de 30 minutos com alcance de aproximadamente 5 km. Conta com sistema de detecção de obstáculos e navegação pelas constelações de satélite Global Positioning System (GPS) e Global Navigational Satellite System (GLONASS).

Figura 2– Phantom 4.



Fonte: A autora (2024).

4.2.2 GNSS RTK Topomap T500

Segundo o site da fabricante, o equipamento GNSS RTK Topomap T500, (Figura 3) rastreia constelações de satélite variadas, como GLONAS, GPS, GALILEO, BEIDOU. Permite gravação de dados RTK e estático ao mesmo tempo, e sua precisão no RTK horizontal: $8\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$; Vertical: $15\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$.

Figura 3–GNSS RTK Topomap T500.



Fonte: A autora (2024)

4.2.3 DroneDeploy

DroneDeploy é um *software* de voo automatizado disponível tanto em plataforma como para dispositivos móveis. É um aplicativo completo com capacidade para realizar planejamento e a execução do voo, além do processamento de dados.

4.2.4 ArcGis Desktop

O *ArcGIS Desktop* é um software utilizado para Sistema de Informação Geográfica (SIG). Ele permite visualizar, editar, gerenciar, analisar e compartilhar dados no contexto da localização, oferecendo ferramentas avançadas para ciência de dados, análises espaciais, sensoriamento remoto, coleta de dados e gestão dessas informações em banco de dados. Isso facilita a criação de mapas temáticos e a execução de diversas tarefas relacionadas ao campo da geoinformação (ESRI,2024).

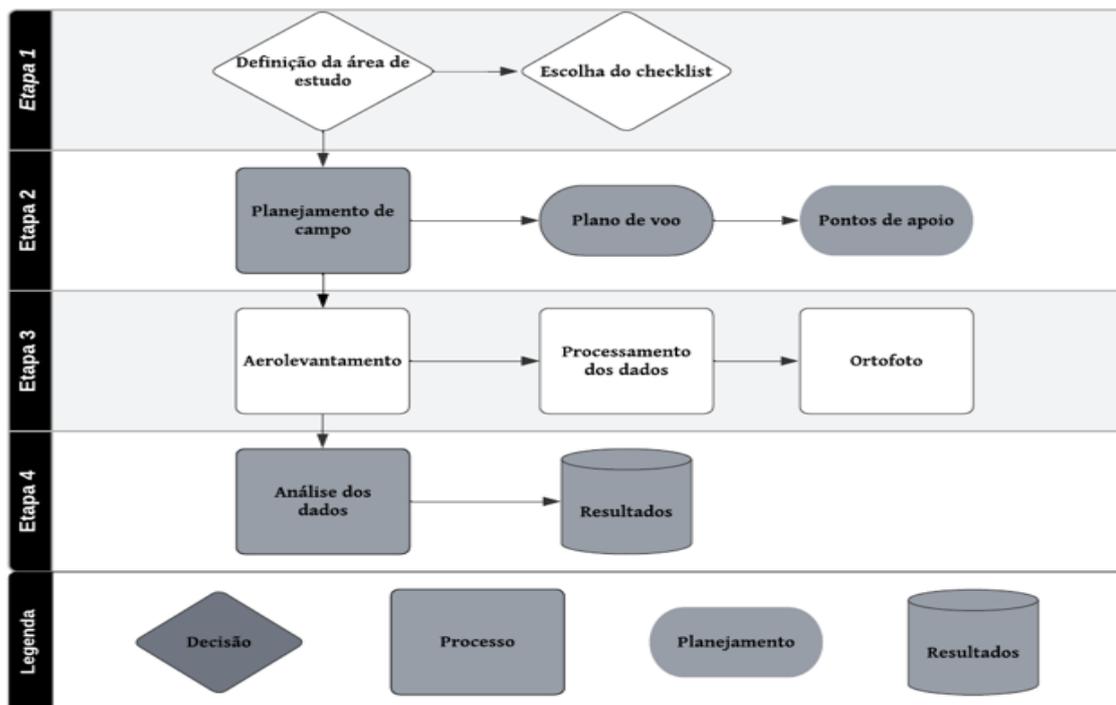
4.2.5 Metashape Agisoft

O *Metashape Agisoft* é um software utilizado para processamento fotogramétrico de imagens digitais. Ele é capaz de receber informações de imagens "brutas" e transformá-las em dados tridimensionais. Esses dados podem ser aplicados em softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG), além de permitir a obtenção de medidas indiretas de objetos (AGISOFT,2024)

4.3 Métodos

Este trabalho foi dividido em quatro etapas conforme o fluxograma da metodologia da Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: A autora (2024).

4.3.1 Definição da área de estudo

O ponto de partida deste trabalho foi a definição da área de estudo e a delimitação do trecho da MG- 414 que foi realizado o aerolevanteamento, do km 8 ao km 12, localizado entre a cidade de Araguari e o Distrito de Amanhece, no estado de Minas Gerais. A definição da extensão do trecho de 4 km foi baseada nos custos financeiros acerca da captura das imagens com o uso de ARPs.

4.3.2 Escolha do *checklist*

A escolha do *checklist* foi baseada no estudo de Nodari (2003), que fez uma revisão da literatura sobre o tema e apresentou os *checklists* de países como Nova Zelândia e Canadá, como resultado foram listados 297 itens organizados dentro de macro-categorias. O *checklist* escolhido foi adaptado para o caso específico de rodovia brasileira, estadual, pavimentada de pista simples.

Assim, a lista de verificação abrangeu parâmetros, tais como a existência de irregularidades no pavimento, desníveis, existência e condição da sinalização, existência de acostamento. Foram considerados os possíveis elementos ou fatores de riscos passíveis de verificação utilizados na avaliação de Auditoria de Segurança Viária. Assim, esse trabalho foi baseado num *checklist* de 27 itens, dentre os quais estão agrupados em 7 subcategorias, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Lista de verificação

Lista de verificação rodovia MG-414			
	Critério	Subcritério	Desdobramento
1	Geral	Paisagem lateral	As áreas livres de obstáculos e as distâncias de visibilidade serão provavelmente restringidas com o desenvolvimento lindeiro?
		Obras temporárias	As obras temporárias são adequadamente sinalizadas?
			O local é livre de equipamentos de construção e manutenção não mais necessários?
			Existem placas ou controladores de tráfego não mais necessários?
2	Alinhamento e seção transversal	Ultrapassagem	São providas oportunidades adequadas de ultrapassagem?
			Faixas de ultrapassagem
		Larguras	As faixas de tráfego e os leitos carroçáveis, incluindo pontes são adequados?
		Acostamento	A largura é apropriada para comportar todos os tipos de veículos e usuários da via (Ex: veículos de emergência e/ou veículos quebrados)?
			Existem faixas sonorizadas longitudinais onde justificável ?
		Legibilidade pelos motoristas	Existem locais que podem confundir os usuários (Ex: marcações antigas) ?
			O alinhamento da via é claramente definido?
			Existem áreas pavimentadas não utilizadas sendo removidas ou tratadas?
3	Interseções	Controle: marcações	As marcações no pavimento são visíveis durante os períodos do dia?
		Controle: placas	Checar a localização e quantidade de placas
	Checar placas faltando/redundantes/quebradas		
	Desenho	O desenho dos meios-fios, ilhas e divisórias são satisfatórios ?	
		A largura das faixas é adequada para todas classes de veículos ?	
		Existem características a montante ou a jusante que possam afetar a segurança (vias de auto tráfego)?	
4	Faixa auxiliar e faixa de conversão	Sinalização	As placas e marcações na via estão de acordo com os padrões?
5	Tráfego não motorizado	Caminhos	Existem caminhos e pontos de travessia adequados para ciclistas e pedestres?
6	Pavimento	Empoçamento	Superfície livre de formação de poças e/ou lâminas d'água que possam afetar a segurança?
		Pedregulhos soltos	O pavimento esta livre de pedregulhos soltos?
		Defeitos no pavimento	O pavimento é livre de defeitos (buracos, rugosidades, fendas) que possam resultar em problemas de segurança ?
		Acostamento	Condições do acostamento?
7	Usuários da via	Veículos lentos	Os acostamentos podem acomodar veículos lentos quando necessário?
			Existe sinalização apropriada a respeito dos veículos lentos ?
	Ciclistas e pedestres	Os acostamentos tem largura suficiente para veículos, ciclistas e pedestres onde necessário?	

Fonte: A autora (2024).

4.3.3 Planejamento de campo

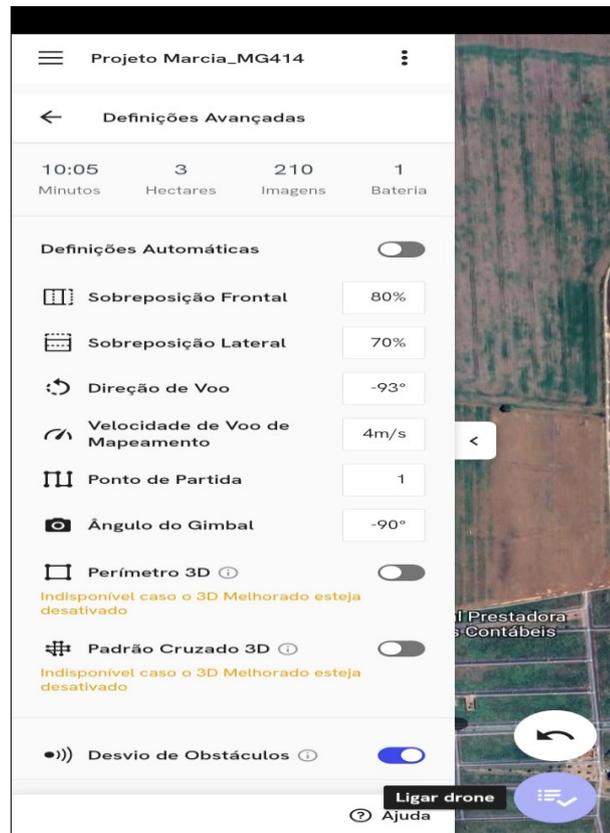
Durante a etapa de planejamento de campo, foi realizada uma visita de campo com a finalidade de explorar a área previamente designada para o estudo. Assim, foram observadas algumas características com base no *checklist* desenvolvido e também uma prévia localização dos pontos estratégicos onde foram coletadas coordenadas para os pontos de controle e pontos

de verificação, visando proporcionar acurácia na coleta e análise dos dados obtidos no aerolevanteamento.

4.3.4 Planejamento de voo

Em relação ao planejamento de voo, foram elaborados quatro planos de voo, os quais acompanharam o ângulo do segmento da área de estudo. A Figura 5 ilustra um desses planos.

Figura 5 – Plano de voo



Fonte: A autora (2024).

A Figura 5 foi elaborada por meio da plataforma *Drone Deploy*. Todos os planos de voo foram seccionados em 1000 m de extensão, com a altura de voo de 60 m, sobreposição frontal: 80%, sobreposição lateral: 70%, direção de voo: -93° , velocidade de voo: de 4m/s e angulação do gimbal: 90° .

4.3.5 Pontos de apoio

Com o uso dos receptores GNSS topomap T500 (base e rover) foram rastreados 12 pontos de controle e de verificação ao decorrer da rodovia, com um espaçamento de 300 metros

para garantir uma maior acurácia. Para fotoidentificação dos pontos coletados foram utilizados símbolos em “X” pintados no chão, visualizados conforme a Figura 6.

Figura 6 – Pontos de controle.



Fonte: A autora (2024).

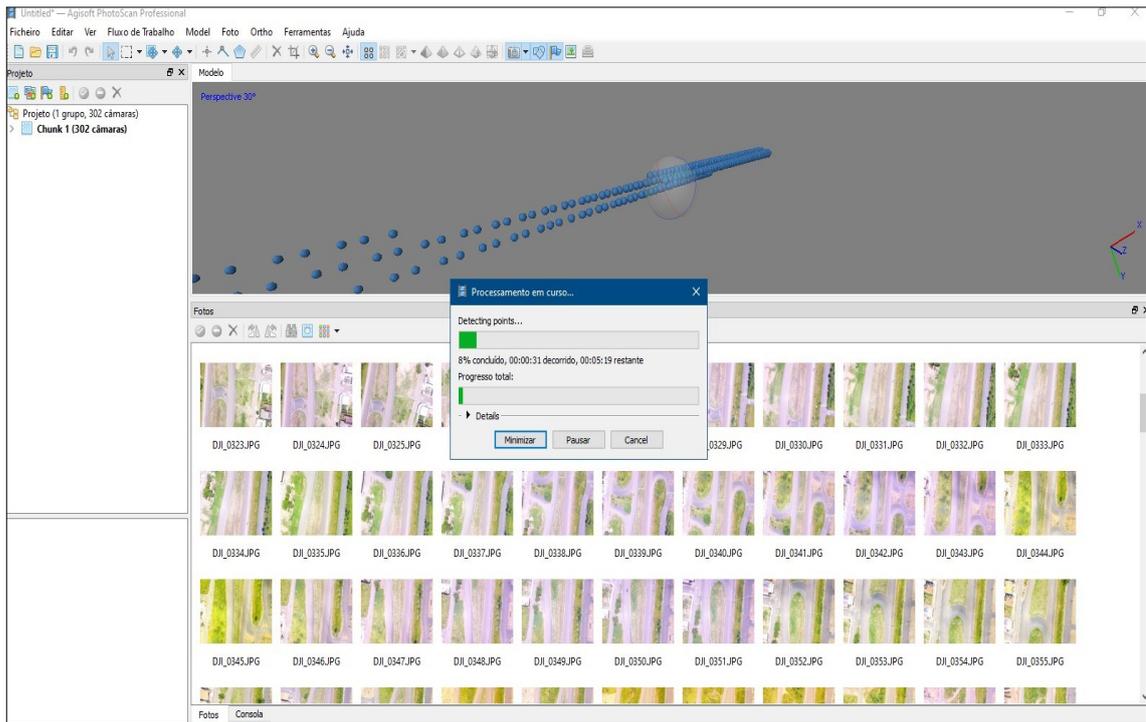
4.3.6 Aerolevanteamento

O aerolevanteamento foi realizado através da divisão da rodovia em trechos de 1000 metros, conforme citado anteriormente no item 4.3.4.

4.3.7 Processamento dos dados

Os dados provenientes do voo foram processados utilizando o *software Metashape Agisoft*, acessível no laboratório o Laboratório de Sensoriamento Remoto (LASER) da UFU. Nesse processo, 645 fotografias obtidas durante o voo foram importadas (Figura 7). Após a importação, as imagens foram alinhadas e utilizadas para gerar uma nuvem de pontos dispersos. Posteriormente, essa nuvem foi processada para criar uma malha tridimensional. Durante esse processo, foi possível importar e posicionar corretamente os 12 pontos de controle geográfico (GCPs) previamente definidos, garantindo a precisão das marcações nas fotografias.

Figura 7 – Processamento das imagens

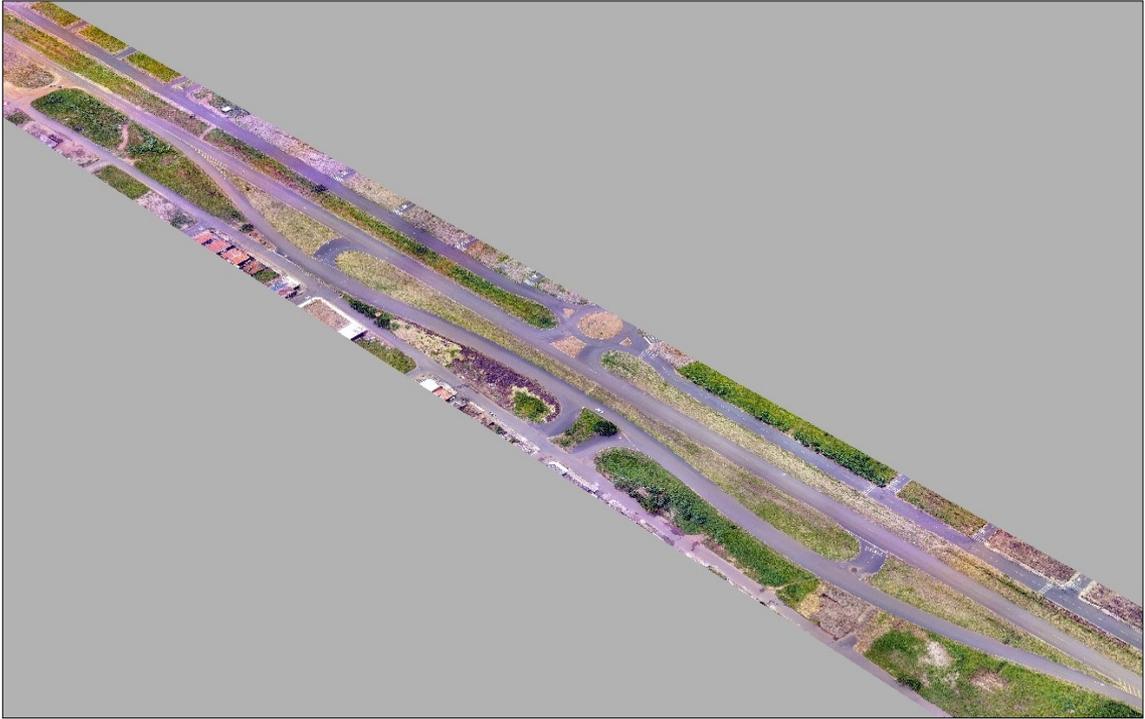


Fonte: A autora (2024)

4.3.8 Ortofoto

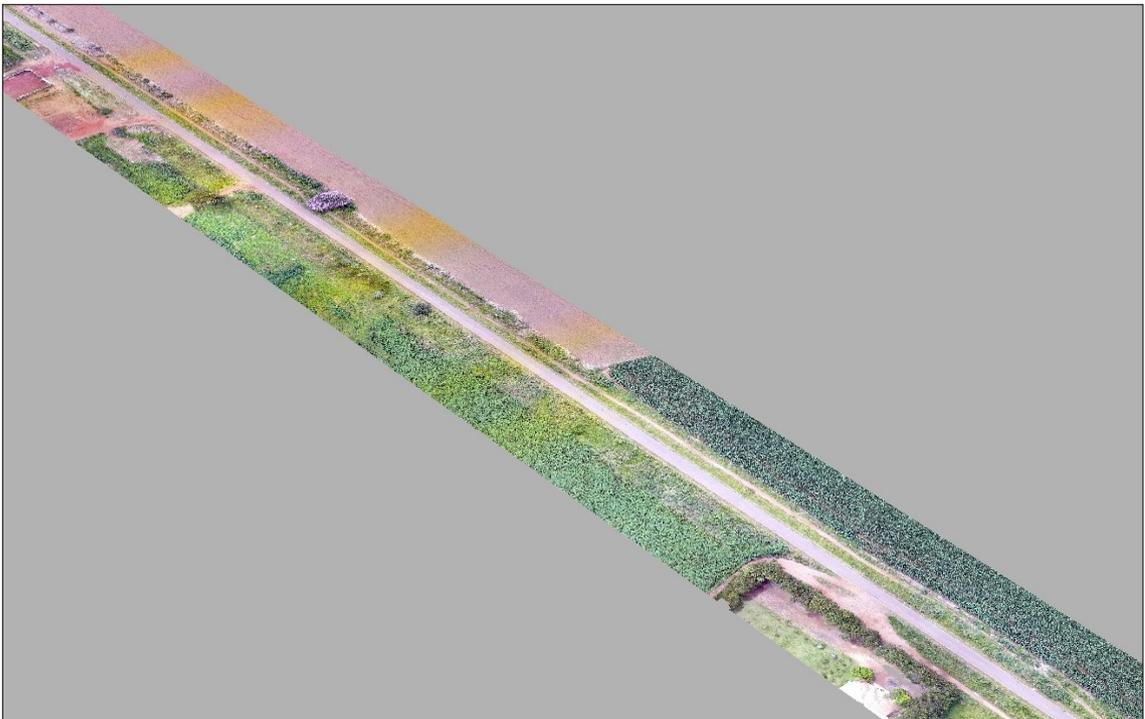
Após o processamento dos dados foi gerado uma imagem ortoretificada (Figuras 8,9,10,11) para vetorização das feições compreendidas pelo *checklist*.

Figura 8 – Ortofoto processada seção 1.



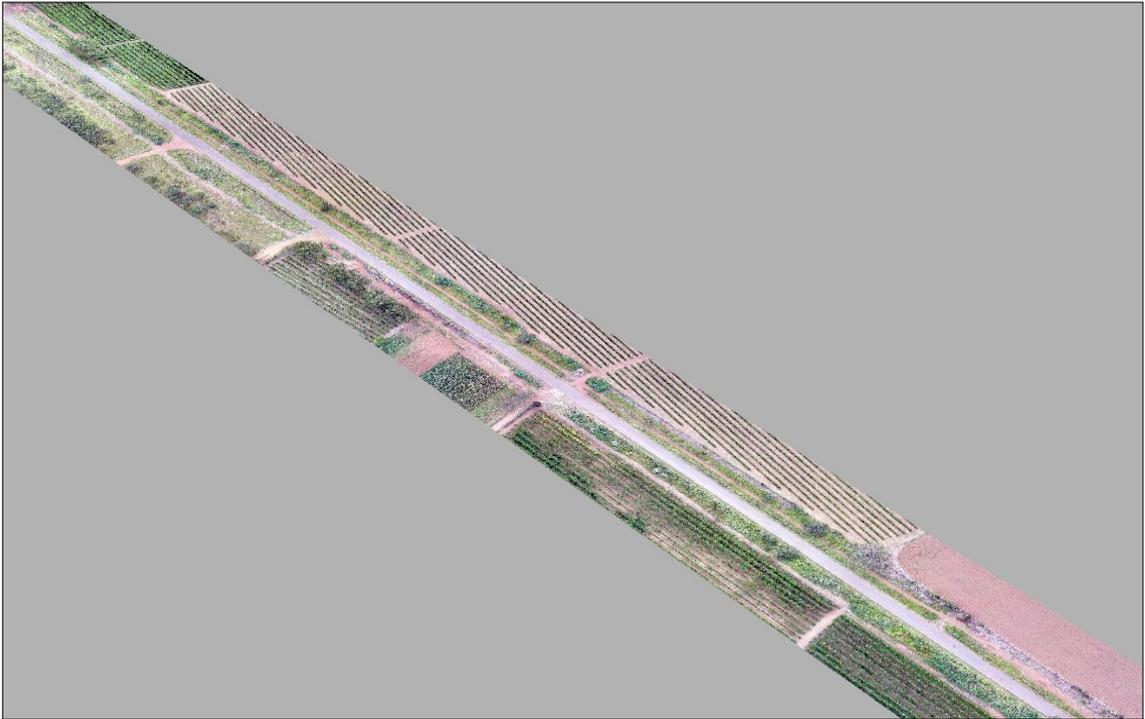
Fonte: A autora (2024).

Figura 9 – Ortofoto processada seção 2.



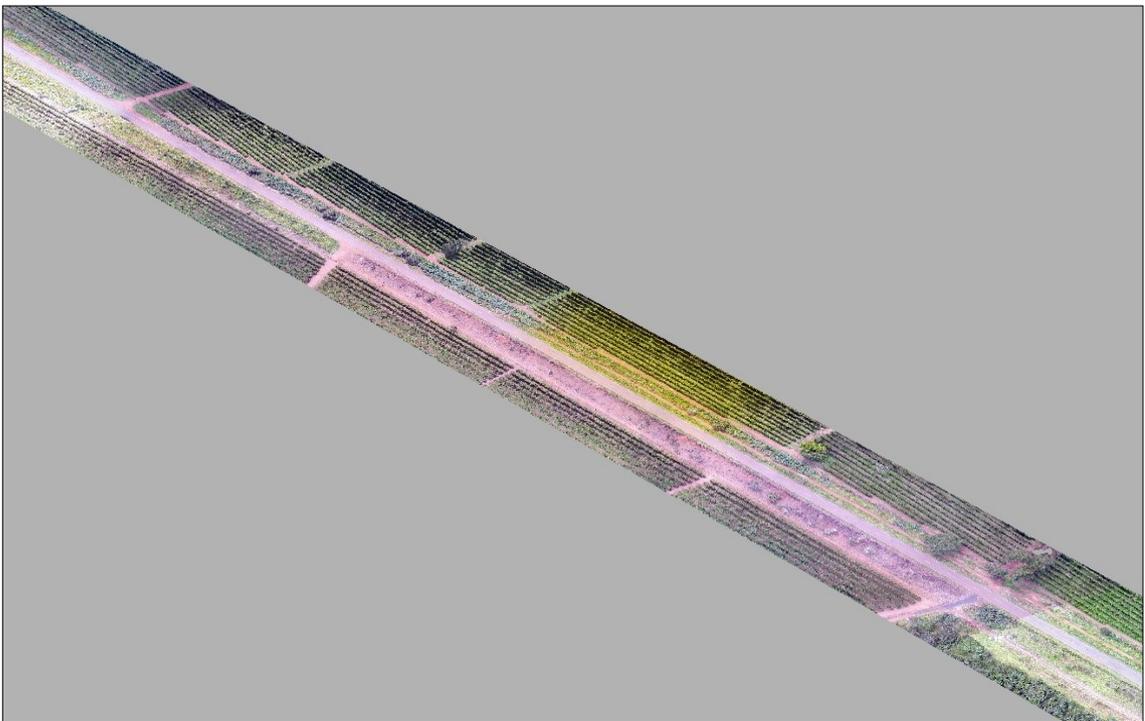
Fonte: A autora (2024).

Figura 10 – Ortofoto processada seção 3.



Fonte: A autora (2024).

Figura 11– Ortofoto processada seção 4.



Fonte: A autora (2024).

4.3.9 Análise dos dados

Realizada a vetorização das feições foi possível a análise de critérios quantitativos e qualitativos de segurança viária, sendo possível identificar as características físicas e deficiências na rodovia que implicam em riscos de sinistros de trânsito.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo foram considerados mediante uma análise da ortofoto gerada pelo aerolevantamento fotogramétrico. Utilizando o *software ArcGIS* foi possível gerar produtos cartográficos de alguns trechos da área de estudo com base nas observações feitas com base no *checklist* adaptados para a MG-414 que considerou sete critérios, geral, alinhamento e seção transversal, interseções, faixa auxiliar e de conversão, tráfego não motorizado, pavimento e usuários da via. As imagens obtidas possibilitaram a inspeção visual necessária para a ASV sendo no total 27 itens previstos para a checagem dentre os quais 7 não foram possíveis a verificação por aerofotogrametria, sendo os 20 restantes possíveis de serem vistoriados não havendo a necessidade de percorrer o trecho da área de estudo (Quadro 3).

Quadro 3 – Itens da lista de verificação aptos a análise com fotogrametria aérea.

Lista de verificação rodovia MG-414				
	Critério	Subcritério	Desdobramento	Apto a análise por Fotogrametria aérea
1	Geral	Paisagem lateral	As áreas livres de obstáculos e as distâncias de visibilidade serão provavelmente restringidas com o desenvolvimento lindeiro?	✓
		Obras temporárias	As obras temporários são adequadamente sinalizadas?	✗
			O local é livre de equipamentos de construção e manutenção não mais necessários?	✓
			Existem placas ou controladores de tráfego não mais necessários?	✓
2	Alinhamento e seção transversal	Ultrapassagem	São providas oportunidades adequadas de ultrapassagem?	✓
			Faixas de ultrapassagem	✓
		Larguras	As faixas de tráfego e os leitos carroçáveis, incluindo pontes são adequados?	✓
		Acostamento	A largura é apropriada para comportar todos os tipos de veículos e usuários da via (Ex: veículos de emergência e/ou veículos quebrados)?	✓
			Existem faixas sonorizadas longitudinais onde justificável ?	✗
		Legibilidade pelos motoristas	Existem locais que podem confundir os usuários (Ex: marcações antigas) ?	✓
			O alinhamento da via é claramente definido?	✓
			Existem áreas pavimentadas não utilizadas sendo removidas ou tratadas?	✓
3	Interseções	Controle: marcações	As marcações no pavimento são visíveis durante os períodos do dia?	✓
		Controle: placas	Checar a localização e quantidade de placas	✗
			Checar placas faltando/redundantes/quebradas	✗
		Desenho	O desenho dos meios-fios, ilhas e divisórias são satisfatórios ?	✓
			A largura das faixas é adequada para todas classes de veículos ?	✓
			Existem características a montante ou a jusante que possam afetar a segurança (vias de auto tráfego)?	✓
4	Faixa auxiliar e faixa de conversão	Sinalização	As placas e marcações na via estão de acordo com os padrões?	✗
5	Tráfego não motorizado	Caminhos	Existem caminhos e pontos de travessia adequados para ciclistas e pedestres?	✓
6	Pavimento	Empoçamento	Superfície livre de formação de poças e/ou lâminas d'água que possam afetar a segurança?	✗
		Pedregulhos soltos	O pavimento esta livre de pedregulhos soltos?	✓
		Defeitos no pavimento	O pavimento é livre de defeitos (buracos, rugosidades, fendas) que possam resultar em problemas de segurança ?	✓
		Acostamento	Condições do acostamento?	✓
7	Usuários da via	Veículos lentos	Os acostamentos podem acomodar veículos lentos quando necessário?	✓
			Existe sinalização apropriada a respeito dos veículos lentos ?	✗
		Ciclistas e pedestres	Os acostamentos tem largura suficiente para veículos, ciclistas e pedestres onde necessário?	✓

Fonte: A autora (2024).

5.1 - Geral

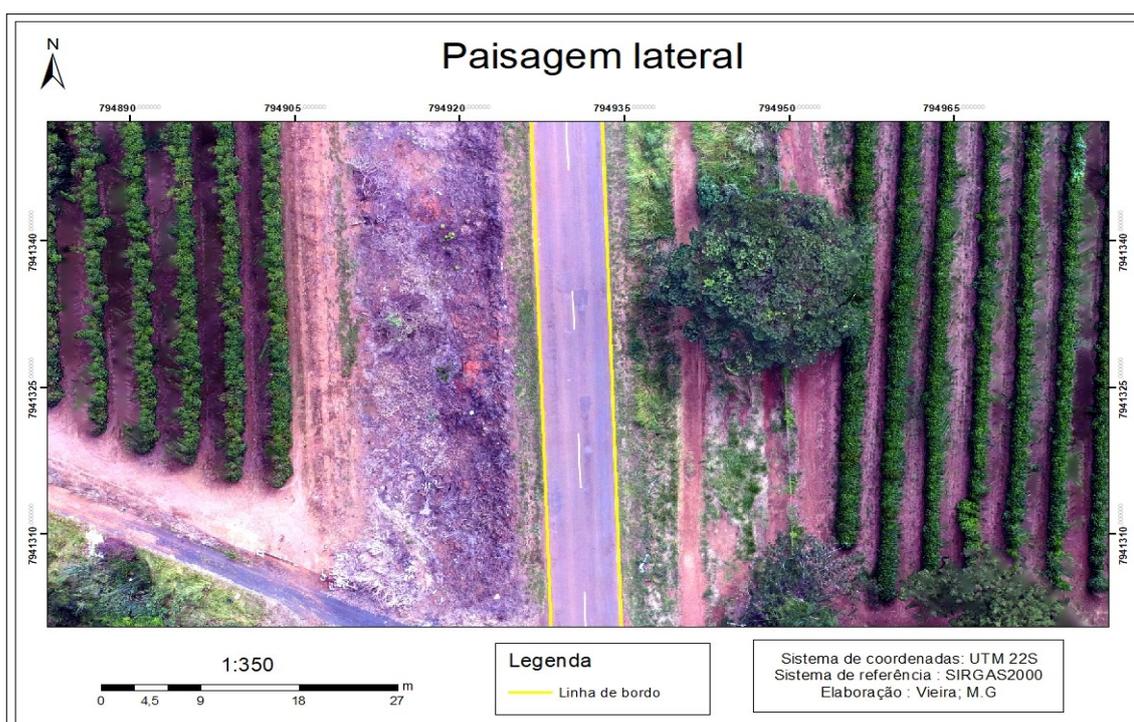
No primeiro critério do checklist foram verificados dois subcritérios relacionados a paisagem lateral e obras temporárias. No caso da paisagem lateral foi feita a análise da vegetação lindeira à pista, pois se considera uma importante condição de visibilidade para os

usuários da rodovia na avaliação da segurança viária. Segundo o Manual de Conservação Rodoviária, a vegetação próxima à pista pode afetar a visibilidade dos motoristas, a drenagem da água da chuva, a segurança contra incêndios e até mesmo a estabilidade do solo adjacente (DNIT, 2005).

Ao analisar a ortofoto foi possível fazer uma inspeção visual da vegetação ao longo da pista. Foi observada a densidade da vegetação, e buscou-se identificar qualquer padrão que pudesse representar riscos para a segurança viária, como obstrução da visibilidade de sinalização vertical (placas de trânsito) horizontal (pinturas) ou outro dispositivo, ou mesmo dependendo do traçado geométrico implicando na visualização de outros veículos.

Foi verificado que não existe obstrução da pista no trecho em estudo conforme podemos verificar na Figura 12.

Figura 12 – Vegetação lindeira trecho MG-414.



Fonte: A autora (2024).

Em relação as obras temporárias também não foram constatados nenhum tipo de equipamento referente a manutenção da pista no trecho em estudo.

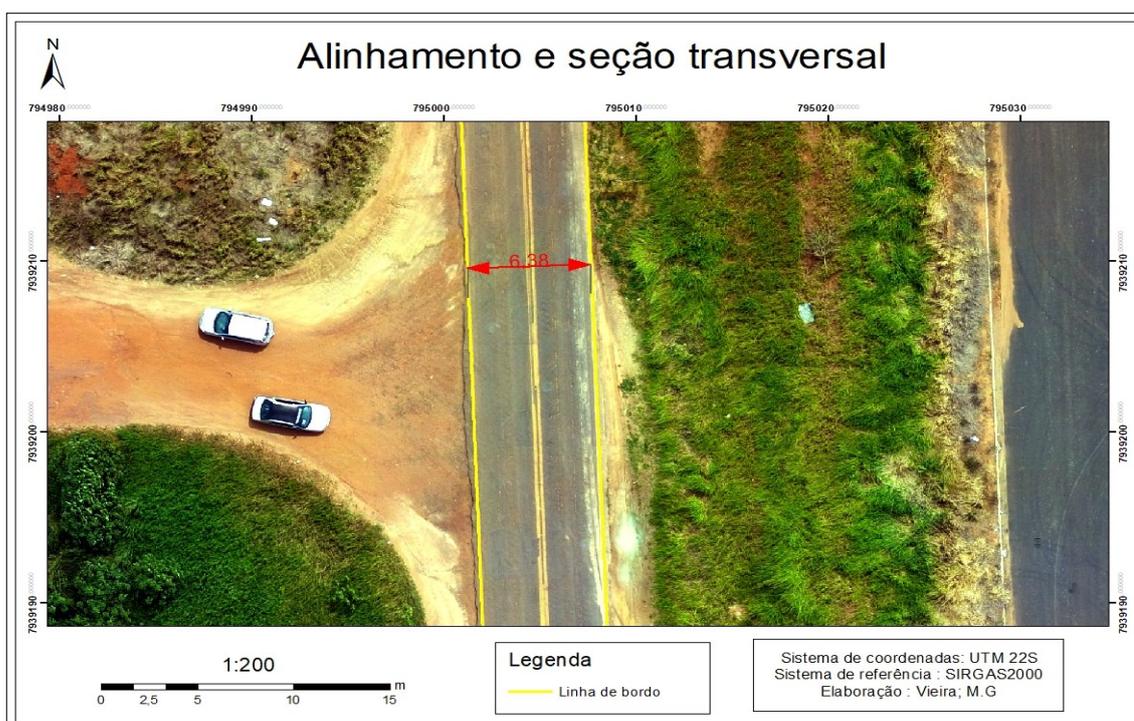
5.2 Alinhamento e seção transversal

Nessa categoria, alguns subitens necessitam dos projetos básicos da rodovia para uma análise, como o projeto geométrico e o projeto de drenagem.

Segundo o Manual de Sinalização Rodoviária, a linha dupla contínua é utilizada para separar os fluxos de tráfego, e assegura que as ultrapassagens sejam realizadas apenas em trechos onde a visibilidade e as condições da via permitam a execução segura dessa manobra. Este tipo de sinalização é crucial para garantir a segurança nas manobras de ultrapassagem, especialmente em rodovias de pista simples (DNIT, 2010).

Conforme Figura 13 podemos verificar a presença da linha contínua aplicada sobre o eixo da pista de rolamento visando delimitar o espaço reservado para a circulação de cada um dos fluxos de veículos e regulamentar a proibição de ultrapassagem, nos dois sentidos de circulação. Também foi possível através da ortofoto verificar a largura das faixas, alinhamento da via, a existência de marcações antigas que pudessem confundir o motorista, verificou-se também a ausência de espaço lateral, indicando a falta de delimitação clara do acostamento. O acostamento pode ser pavimentado ou não, assim em algumas partes do trecho foi possível que há o espaço para o acostamento com leito natural e em outras a presença da vegetação densa não possibilita paradas emergenciais no acostamento.

Figura 13 – Ultrapassagem.



Fonte: A autora (2024).

5.3 Interseções

Na categoria interseções foram verificados os sub-itens relacionados ao controle de sinalização e desenho da rodovia. Para que o desenho dos meios-fios, ilhas e divisórias seja considerado satisfatório, é essencial que estas estruturas sigam as diretrizes estabelecidas para garantir a segurança e a fluidez do tráfego. Os meios-fios e as ilhas devem ser visíveis e bem posicionados para orientar o fluxo de veículos e pedestres. Além disso, a sinalização horizontal deve ser clara e visível, especialmente à noite, utilizando materiais retro-refletivos para melhorar a visibilidade (DNIT, 2010).

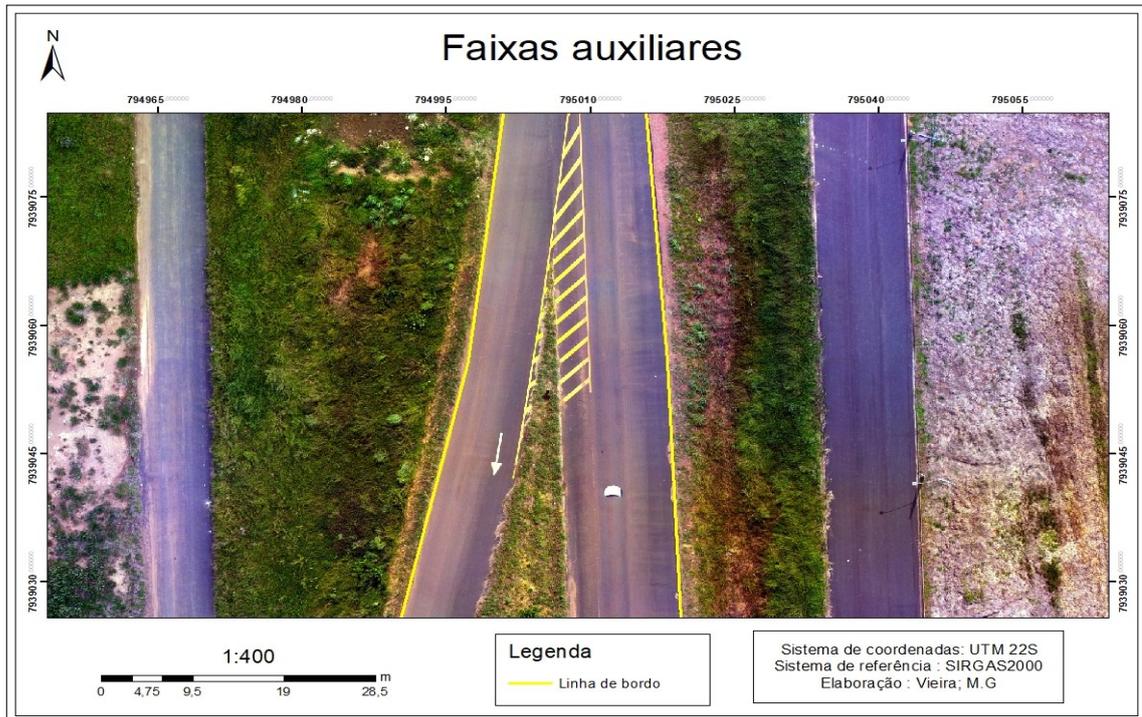
Analisando a ortofoto é possível verificar a presença de sinalização horizontal, o desenho dos meios-fios, largura das faixas, bem como os atributos que possam afetar a segurança, como curvas acentuadas, por exemplo, permitindo assim uma análise bem detalhada do trecho em estudo, porém como se trata de um voo sem inclinação não foi possível verificar o conteúdo e localização das placas.

5.4 Faixa auxiliar e faixa de conversão

As faixas auxiliares e de conversão são elementos fundamentais na sinalização horizontal de vias urbanas e rodoviárias, projetadas para orientar e organizar o fluxo de tráfego de forma segura e eficiente. Segundo o Manual de Sinalização Rodoviária, as faixas auxiliares são demarcadas para facilitar movimentos específicos, como entradas e saídas em acessos, enquanto as faixas de conversão são destinadas a direcionar veículos que realizam manobras de mudança de direção. A sinalização dessas faixas deve seguir rigorosamente os padrões estabelecidos, incluindo a utilização de setas indicativas de posicionamento e mudança obrigatória de faixa (MOF), que são essenciais para guiar os condutores sobre os movimentos permitidos e as transições entre as faixas. Além disso, essas marcações devem ser complementadas por placas de regulamentação e dispositivos de segurança, como tachões retrorrefletivos, para assegurar a visibilidade e a clareza da sinalização, principalmente em condições adversas e noturnas (DNIT, 2010). Dessa forma, a correta aplicação das faixas auxiliares e de conversão contribui significativamente para a redução de acidentes e a melhoria da fluidez do trânsito.

Através da análise da ortofoto não só é possível verificar a existência dessas faixas como também é possível verificar as dimensões dessas faixas caso necessário (Figura 14).

Figura 14 – Faixa auxiliar e de conversão.



Fonte: A autora (2024).

5.5 Tráfego não motorizado

O tráfego não motorizado em rodovias, que inclui pedestres e ciclistas, é um aspecto importante para a segurança viária e a organização do trânsito. Na área de estudo em questão, que liga uma cidade a um distrito, o trânsito de ciclistas e pedestres é comum, e ao analisar a ortofoto (Figura 15), nota-se a ausência de ciclovias e faixas destinadas a esses usuários. Embora o manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária não trate especificamente do tráfego não motorizado, ele estabelece diretrizes gerais para a sinalização e segurança viária, o que inclui a consideração das necessidades de todos os tipos de tráfego durante o planejamento e execução dos projetos (DER- MG, 2022). Esta regulamentação visa garantir a segurança dos usuários vulneráveis da via, promovendo um trânsito mais seguro e inclusivo. Dessa forma, a integração de medidas de segurança específicas para o tráfego não motorizado em rodovias é fundamental para a redução de acidentes e a promoção de um ambiente viário mais seguro para todos.

Figura 15 – Ausência de ciclovias.



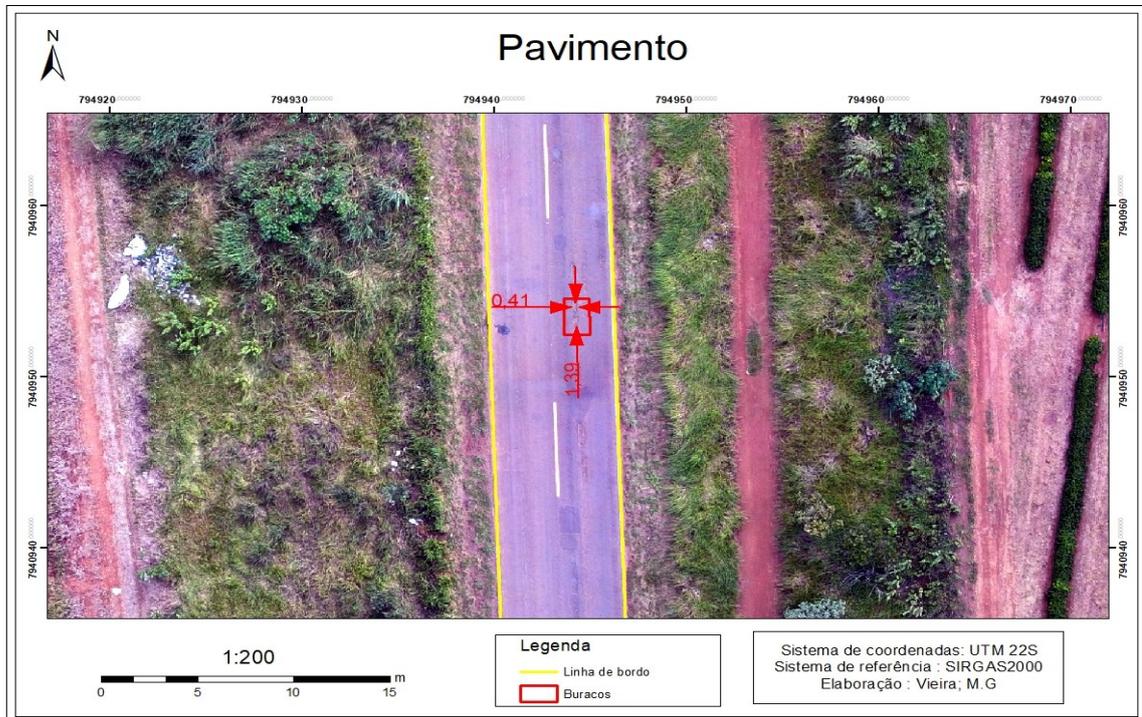
Fonte: A autora (2024).

5.6 Pavimentos

A manutenção e qualidade do pavimento são essenciais para a segurança das rodovias, pois afetam diretamente a aderência dos veículos e a prevenção de acidentes, o manual de conservação rodoviária destaca que a superfície do pavimento deve estar livre de pedregulhos soltos e defeitos, como buracos e fendas, que podem comprometer a segurança viária (DNIT, 2005). A ausência de poças e lâminas d'água também é enfatizada, pois essas condições podem causar derrapagens e perda de controle dos veículos. Dessa forma, a integridade e manutenção adequadas do pavimento são fundamentais para proporcionar um tráfego seguro e eficiente.

Podemos constatar a presença de defeitos no pavimento ao longo de todo o trecho analisado. A fotogrametria nos permitiu ainda mensurar a dimensão das fendas conforme podemos verificar na Figura 16.

Figura 16 – Deficiências no pavimento.



Fonte: A autora (2024).

5.7 Usuários da via

A sinalização viária desempenha um papel importante na segurança dos diversos usuários da via, incluindo veículos lentos, ciclistas e pedestres. Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume IV: Sinalização Horizontal, é essencial que os acostamentos ofereçam espaço adequado para acomodar veículos lentos quando necessário, embora o documento não detalhe especificamente essa aplicação. A sinalização apropriada para veículos lentos é indicada por meio de placas de regulamentação e advertência, que devem ser estrategicamente posicionadas para alertar os motoristas sobre a presença de tais veículos. Para ciclistas e pedestres, a largura dos acostamentos deve ser suficiente para garantir sua segurança, especialmente em trechos onde o tráfego de veículos motorizados é intenso (COTRAN, 2022). Através da análise da ortofoto, notou-se a ausência de espaço lateral adequado em alguns trechos da área de estudo, conforme verificado anteriormente no item 5.2 (alinhamento e seção transversal).

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal identificar condições inseguras na rodovia estadual MG-414 por meio de fotogrametria em uma Auditoria de Segurança Viária (ASV). Os resultados obtidos demonstraram que os métodos utilizados foram eficazes na identificação de fatores de risco, como defeitos no pavimento, ausência de sinalização adequada e falta de estrutura para o tráfego não motorizado. Através da ortofoto gerada, foi possível analisar 74% dos itens previstos no checklist, comprovando a utilidade da fotogrametria como uma ferramenta precisa e eficiente para a realização de ASV.

A metodologia aplicada mostrou-se válida, especialmente pela capacidade de capturar e analisar informações detalhadas da infraestrutura viária com rapidez e precisão. O uso de ARP permitiu uma cobertura abrangente da área de estudo, com alta resolução sendo o GSD (Ground Sample Distance) atribuído de 2,48 cm/pix, o que só seria possível pelos métodos tradicionais com repetidas visitas a campo, o que demandaria um alto custo para execução.

Os resultados alcançados confirmam a aplicabilidade da fotogrametria na identificação de deficiências viárias, o estudo ressaltou a necessidade de intervenções para melhorar as condições de segurança da rodovia MG-414, especialmente em relação ao pavimento, tráfego não motorizado e aos tipos de usuários da via.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a integração de outras tecnologias complementares como o uso de fotogrametria terrestre, e também a elaboração de um modelo digital do terreno (MDT), o que permitiria uma análise mais detalhada. Também seria interessante ampliar o estudo para outros trechos rodoviários, a fim de validar a eficácia do método em diferentes contextos viários. Por fim, espera-se que este trabalho contribua para uma reflexão mais ampla sobre o uso de novas tecnologias na promoção da segurança viária e a prevenção de sinistros de trânsito.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA MINAS. **DER-MG inicia obra de pavimentação da rodovia MG-414, no Triângulo Mineiro**. Belo Horizonte, 13 jun. 2023. Disponível em:

<https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/der-mg-inicia-obra-de-pavimentacao-da-rodovia-mg-414-no-triangulo-mineiro>. Acesso em: 25 set. 2023.

AGISOFT. **Metashape Agisoft**. 2024. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 29 mar. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MEDICINA DE TRÁFEGO (ABRAMET). **ABNT muda terminologia e adota a expressão sinistro de trânsito para qualificar incidentes no tráfego: Pesquisa de sinistros de trânsito — Terminologia**. 2021. Disponível em: <https://www.abramet.com.br/noticias/abnt-muda-terminologia-e-adota-a-expressao-sinistro-de-transito-para-qualificar-incidentes-no-trafego/>. Acesso em : 27 ago. 2024.

BRASIL. **Transporte terrestre: rodovias federais. Segurança Viária**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/rodovias-federais/seguranca-viaria>. Acesso em: 30 set. 2023.

BRITO, J. L. N. S; COELHO, L. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ , 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Acidentes e mortes nas rodovias federais custaram ao país quase R\$ 13 bilhões em 2022**. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/acidentes-e-mortes-nas-rodovias-federais-custaram-ao-pais-quase-13-bilhoes-em-2022>. Acesso em: 27 set. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Painel CNT de Acidentes Rodoviários - Principais dados – 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painelacidente>. Acesso em: 27 set. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias - 2022**. 2023. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 27 set. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual brasileiro de sinalização de trânsito (COTRAN)- Volume IV: Sinalização horizontal**. 2022. Disponível em: <https://www.der.mg.gov.br/institucional/legislacao/normas-tecnicas-deer#manuais.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2024.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DER). **Manual de Segurança Viária**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2023.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS (DER-MG). **Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia rodoviária -Volume IX: Projeto de sinalização e segurança viária**. 2022. Disponível em: <https://www.der.mg.gov.br/institucional/legislacao/normas-tecnicas-deer#manuais.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2024.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS (DER-MG). **Rede rodoviária**. 2023. Disponível em: <https://www.der.mg.gov.br/saiba-sobre/rede-rodoviaria/194-rodovias-estaduais>. Acesso em: 25 set. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Manual de conservação rodoviária**. 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/710_manual_de_conservacao_rodoviaria.pdf. Acesso em: 30 set. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **Manual de sinalização rodoviária**. 2010. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/regulamentacao-atual/743_manuaisinalizacaorodoviaria-30-04-2021.pdf. Acesso em: 30 set. 2023.

DIAS, G. S.C. **Auditoria de segurança viária**: uma contribuição para a avaliação da segurança dos pedestres nas travessias urbanas semaforizadas. 2004. 218 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004. Disponível em: https://ppec.ufba.br/app/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Gisnaia%20Camargo_0.pdf. Acesso em: 30 set. 2023.

DJI. **Phantom 4**: especificações técnicas. 2023. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4/info>. Acesso em: 25 set. 2023.

DRONEDEPLOY. **DroneDeploy**. 2024. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/> Acesso em: 29 ago. 2024.

ESRI. **About Arcgis**. 2024. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>. Acesso em: 29 mar 2024.

FABIANO, M. L. A. A importância do investimento e do planejamento em infraestrutura de transportes. **Revista de Economia Mackenzie**, [S. l.], v. 11, n. 3, 2015. Disponível em: <http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rem/article/view/5936>. Acesso em: 27 set. 2023.

FERRAZ, A. C. P. C. *et al.* **Segurança Viária**. São Carlos- Sp: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

FONTANA, A. M. **Segurança Viária**. 1. ed. São Paulo: Platos Soluções Educacionais, 2021. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786589965091/pageid/2>. Acesso em: 02 set. 2023.

HOEL, L. A.; GARBER, N. J.; SADEK, A. W. **Engenharia de infraestrutura de transporte**: uma integração multimodal. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2012. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522113934/pageid/5>. Acesso em: 02 set. 2023.

IBGE. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 5 set. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Balanco da 1º década de ação pela segurança no trânsito no Brasil e perspectivas para a 2º década.** Brasília, 2023.. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12250/1/NT-Balanco_Primeira_Publicacao_Preliminar.pdf Acesso em: 25 ago. 2024.

NODARI, C. T. **Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3675>. Acesso em: 8 out. 2023.

NODARI, C. T; LINDAU, L. A. **Auditoria da Segurança Viária.** Transportes, v. 9, n. 2, p. 48—66. 2001. . Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v9i2.170> . Acesso em: 8 out. 2023.

PIMENTA, C. R.T. *et al.* **Projeto Geométrico de Rodovias.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora , 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152212/>. Acesso em: 02 set. 2023.

PINTO, P. C. **Introdução a infraestrutura de transportes.** Mafra-Sc: Unc, 2020.

SILVA, M. R. **Fotogrametria aplicada em Auditoria de Segurança Viária.** 2022. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35928>. Acesso em: 11 set. 2023.

SILVA, L. S. *et al.* **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de vôo ao modelo 3d.** 1. ed. Brasília- Df: Universidade de Brasília, 2022. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/view/202/363/1929>. Acesso em: 31 out. 2023.

TEMBA, P. Fundamentos da fotogrametria. Belo Horizonte: UFMG, p. 22-31, 2000.

TOPOMAP. **GNSS RTK Topomap T500:** especificações técnicas. 2023. Disponível em: <https://topomap.com.br/index.php/component/virtuemart/gps-rtk>. Acesso em: 25 set. 2023.

TROMBETA, L. R. A. *et al.* **Geoprocessamento.** 1. ed. Porto Alegre: Sagah, 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786581492120/pageid/1>. Acesso em: 30 out. 2023.

World Health Organization – WHO, 2018. **Global status report on road safety 2018:** summary. Genebra: Organização Mundial da Saúde (OMS). . Disponível em: <https://irap.org/pt/2018/12/world-health-organisation-who-releases-the-global-status-report-on-road-safety-2018/> Acesso em: 29 out. 2023.