



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULO MERGULHÃO NUNES NETO

**AVALIAÇÃO DE DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL POR
MEIO DO ORTOMOSAICO**

Caruaru

2024

PAULO MERGULHÃO NUNES NETO

**AVALIAÇÃO DE DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL POR
MEIO DO ORTOMOSAICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estradas e Transportes

Orientador: Prof. MSc. Renato Mahon Macêdo

Caruaru

2024

AGRADECIMENTOS

A minha família, por se fazer sempre presente, oferecendo todo apoio necessário em cada momento.

Aos amigos que fiz ao longo do curso e aos colegas, pelo companheirismo e pelos bons momentos, especialmente a André Inácio, Carolinne Tabosa, Daysa Barbosa, João Pedro Costa, Melquisedeque Brito e Vinicius Lira.

Aos meus amigos que estiveram presentes, mesmo que à distância.

Aos professores, pelos conhecimentos compartilhados; e ao professor e orientador Renato Mahon, pela paciência e pelas orientações essenciais para a realização deste trabalho.

Aos meus supervisores e colegas de estágio, pelos ensinamentos e experiências fundamentais no meu desenvolvimento profissional.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GSD	Ground Sample Distance
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

Avaliação de defeitos na superfície de pavimento flexível por meio do ortomosaico

Assessment of defects in flexible pavement surface via orthomosaic

Paulo Mergulhão Nunes Neto¹

RESUMO

O sistema rodoviário brasileiro é predominantemente composto por pavimento flexível, sendo essencial no transporte de passageiros e cargas no país; e, como toda estrutura, está sujeito ao aparecimento de defeitos. Nos últimos anos, o uso de drones tem se destacado cada vez mais em diferentes áreas como uma ferramenta versátil para fins de mapeamento e inspeção. Com imagens de alta qualidade, estes dispositivos possibilitam a geração de diversos produtos fotogramétricos, como o ortomosaico georreferenciado, que fornecem informações precisas da região desejada. O presente trabalho analisa a viabilidade do ortomosaico como ferramenta na identificação dos defeitos que ocorrem na superfície de pavimentos flexíveis, definidos pela norma DNIT 005/2003. O estudo foi realizado por meio do método conhecido como fotogrametria aérea, no qual foi utilizado um drone para realizar a captura de imagens aéreas. As imagens foram processadas no software DroneDeploy, onde foi gerado o ortomosaico georreferenciado. A partir disso, os quantitativos dos defeitos identificados no ortomosaico foram levantados e comparados aos dados reais da área de estudo, obtidos por um levantamento de campo. O método aerofotogramétrico apresentou vantagens em relação à aquisição dos dados, demandando menos tempo e esforço quando comparado ao levantamento de campo. A análise comparativa entre os quantitativos apresentou resultados significativos para o ortomosaico, no qual foi possível identificar quase todos os tipos de defeitos observados em campo, com os seguintes percentuais de acerto: trincas isoladas longitudinais curtas (0%) e longas (100%), transversais curtas (0%) e longas (0%); trincas interligadas tipo couro de jacaré sem erosão acentuada (75%), e com erosão acentuada (29%); escorregamentos (100%); desgastes (43%); panelas (96%); remendos (140%). Apesar de algumas limitações, o ortomosaico demonstrou potencial como ferramenta para identificação dos defeitos observados em pavimentos flexíveis, com percentuais de acerto relevantes para boa parte dos tipos de defeitos identificados.

Palavras-chave: defeitos em pavimento flexível; drone; ortomosaico.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: paulo.mergulhao@ufpe.br

ABSTRACT

The Brazilian road system is predominantly composed of flexible pavement, being essential for the transportation of passengers and cargo in the country; and, like any structure, it is subject to the appearance of defects. In recent years, the use of drones has increasingly stood out in various fields as a versatile tool for mapping and inspection purposes. With high-quality images, these devices enable the generation of several photogrammetric products, such as the georeferenced orthomosaic, which provides accurate information about the desired area. This study analyzes the feasibility of the orthomosaic as a tool for identifying defects that occur on the surface of flexible pavements, as defined by the DNIT 005/2003 standard. The research was conducted using the method known as aerial photogrammetry, in which a drone was employed to capture aerial images. The images were processed in the DroneDeploy software, where the georeferenced orthomosaic was generated. From this, the quantities of the defects identified in the orthomosaic were surveyed and compared to the real data from the study area, obtained through a field survey. The aerophotogrammetric method showed advantages regarding data acquisition, requiring less time and effort compared to the field survey. The comparative analysis between the quantities showed significant results for the orthomosaic, in which it was possible to identify almost all types of defects observed in the field, with the following accuracy percentages: short isolated longitudinal cracks (0%) and long cracks (100%), short transverse cracks (0%) and long cracks (0%); interconnected alligator cracks without severe erosion (75%), and with severe erosion (29%); slippages (100%); wear (43%); potholes (96%); patches (140%). Despite some limitations, the orthomosaic demonstrated potential as a tool for identifying the defects observed in flexible pavements, with relevant accuracy percentages for a good portion of the identified defect types.

Keywords: defects in flexible pavement; drone; orthomosaic.

DATA DE APROVAÇÃO: 24 de outubro de 2024.

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é o principal componente da infraestrutura rodoviária brasileira, sendo o modal rodoviário o mais utilizado no transporte de pessoas e mercadorias no país. Assim, ele é fundamental para a infraestrutura urbana, onde desempenha um papel crucial no desenvolvimento das cidades, bem como na melhoria da qualidade de vida dos habitantes.

Apesar de sua grande importância para as vias terrestres do Brasil, o país conta com apenas 12,4% da malha rodoviária pavimentada. Esse percentual corresponde a 213,5 mil quilômetros de um total de 1,72 milhões de quilômetros de extensão; sendo que, desses 12,4% pavimentados, aproximadamente 99% são compostos por pavimento do tipo flexível (Confederação Nacional do Transporte, 2023, 2017).

Assim como toda estrutura, o pavimento, independentemente do tipo, está sujeito a sofrer uma grande variedade de manifestações patológicas ao longo do tempo, seja a curto prazo, em razão de erros de projeto e/ou execução, ou a médio ou longo prazo, devido a sua utilização e/ou ações adversas da natureza (Bernucci *et al.*, 2022). A depender da gravidade, os defeitos existentes na superfície do pavimento podem comprometer o tráfego de veículos, tornando as vias intransitáveis e causando diversos acidentes, pondo em risco a segurança de passageiros e mercadorias. De acordo com dados da Pesquisa CNT de Rodovias (2023), dos 111.502 quilômetros avaliados pela pesquisa, 56,8% desta extensão foi classificada entre regular e péssimo para o estado do pavimento.

“A manutenção e a conservação devem ser constantes e aplicadas sempre que necessário, de forma a evitar uma degradação mais profunda, que gere um maior custo em sua restauração e, dependendo da gravidade, em sua reconstrução” (CNT, 2023, p. 79). Com isso, percebe-se a grande importância de realizar as devidas manutenções nas vias brasileiras a fim de prolongar sua vida útil, garantindo sua funcionalidade, bem como segurança e conforto. “Antes da adoção de qualquer alternativa de restauração [...], um bom diagnóstico geral dos defeitos de superfície é imprescindível para o estabelecimento da melhor solução” (Bernucci *et al.*, 2022, p. 652).

Existem diversos métodos utilizados para inspeção de pavimentos; entretanto, os métodos mais tradicionais são bastante custosos em tempo, esforço e recursos financeiros, especialmente em pavimentos de grandes extensões. Com o avanço da tecnologia, surgiram equipamentos que possibilitam acelerar e facilitar a obtenção dos dados para as inspeções, como o RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*). Esse sistema completo inclui o drone, também conhecido como VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), aeronave não tripulada que pode ser pilotada remotamente ou programada para voar de forma autônoma, bem como as etapas de

planejamento, execução do voo e processamento dos dados. Por meio dessa ferramenta, é possível realizar o mapeamento de uma região desejada, pelo método conhecido como fotogrametria aérea, o qual pode gerar diversos produtos digitais para fins de mapeamento e medição, como ortomosaicos, ortofotocartas, cartas planimétricas ou topográficas, modelos digitais de terreno, entre outros.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade do ortomosaico georreferenciado na identificação de defeitos presentes na superfície de pavimentos flexíveis. Para validar os resultados da análise do ortomosaico, foi realizado um comparativo com os dados reais obtidos através de um levantamento de campo.

1.1 Fotogrametria

De acordo com Schenk (2005) e Awange e Kiema (2013), não existe uma definição absoluta a respeito do termo fotogrametria. Entretanto, uma definição bastante difundida acerca da fotogrametria é "A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos e o ambiente por meio dos processos de registro, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia radiante eletromagnética e outros fenômenos" (American Society of Photogrammetry, 1980, p. 1, tradução nossa).

Segundo Tommaselli (2009), a fotogrametria pode ser classificada, entre outras formas, quanto à posição da câmera, podendo ser terrestre, à curta distância, aérea ou espacial; e quanto à tecnologia, podendo ser analógica, analítica ou digital.

“A Fotogrametria aérea (ou **Aerofotogrametria**) é uma subdivisão da Fotogrametria, na qual as fotografias do terreno são tomadas por uma câmara de precisão montada em uma aeronave” (Tommaselli, 2009, p. 2). Historicamente, a aerofotogrametria teve seu início em 1858, quando Gaspard-Félix Tournachon obteve as primeiras fotografias aéreas por meio de um balão, a 80 metros de altura. A partir de então, essa técnica foi aprimorada ao longo dos anos, acompanhando o avanço tecnológico; atualmente, tem-se o drone como ferramenta utilizada na fotogrametria aérea.

O método aerofotogramétrico consiste em utilizar aeronaves, como aviões ou drones, para realizar a captura de imagens aéreas por meio de câmeras especiais, que possuem características adequadas. Essas imagens, até então, apresentam distorções geométricas devido ao relevo e à perspectiva da câmera. Por meio do processo conhecido como ortorretificação, ocorre a correção geométrica dessas distorções, gerando o que é conhecido por ortofoto (ou ortoimagem), imagem geometricamente corrigida. Com isso, “[...]as ortofotos podem ser usadas como mapas para fazer medições diretas de distâncias, ângulos, posições e áreas[...]” (Wolf; Dewitt; Wilkinson, 2014,

tradução nossa). Através da sobreposição de ortofotos, é possível gerar, entre outros produtos, o ortomosaico georreferenciado, resultante da junção de várias ortofotos em uma única imagem.

Os produtos aerofotogramétricos têm sido amplamente utilizados em diversas áreas, como a topografia, agricultura e engenharia. De acordo com Tommaselli (2009), a fotogrametria traz diversas vantagens, como a rápida aquisição de dados, a grande quantidade de informações armazenadas nas imagens, os produtos gerados podem ser acessados repetidas vezes, o objeto de estudo não necessita ser tocado, entre outras.

1.2 Defeitos em pavimentos flexíveis

Os tipos de defeitos que se manifestam em pavimentos flexíveis são definidos pela norma DNIT 005/2003 – TER. A seguir, será apresentado um breve resumo das características de cada defeito baseado na norma:

- **Fendas:** se caracterizam por qualquer descontinuidade na superfície do pavimento que conduza a aberturas, podendo ser classificada em dois tipos de acordo com seu grau de abertura: fissura ou trinca.
 - **Fissuras:** são fendas de largura capilar, podendo se apresentar em qualquer direção (longitudinal, transversal ou oblíqua) no revestimento. A norma cita que as fissuras são observadas a olho nu somente a uma distância inferior a 1,50 metros.
 - **Trincas:** diferentemente das fissuras, são fendas de fácil visualização, devido a sua maior abertura. São divididas em dois grupos: trincas isoladas e trincas interligadas. Trincas isoladas apresentam-se de forma isolada, sendo classificadas, ainda, em trinca isolada transversal (quando sua direção predominante é perpendicular ao eixo da via), trinca isolada longitudinal (quando sua direção predominante é paralela ao eixo da via), e trinca isolada de retração. Ainda, as trincas isoladas transversais e longitudinais são classificadas quanto a sua extensão, sendo curta para extensão de até 1 metro, e longa para extensão superior a 1 metro. Já as trincas interligadas apresentam-se na forma de conjunto de trincas, sendo classificadas, ainda, em trinca interligada tipo couro de jacaré (quando seu formato se dá em blocos arredondados) ou trinca interligada tipo bloco (quando seu formato se dá em blocos de lados bem definidos). As trincas interligadas também são classificadas quanto à presença de erosão acentuada em suas bordas.
- **Afundamentos:** são depressões permanentes da superfície do pavimento, podendo apresentar solevamento (elevação da superfície). São divididos em dois tipos: afundamento

plástico, o qual apresenta deformação com a presença de solevamento, e afundamento de consolidação, no qual não há presença de solevamento. Ambos são, ainda, classificados quanto à sua extensão, sendo local quando inferior a 6 metros de comprimento, e de trilha de roda quando superior a 6 metros de comprimento e estiver localizado na trilha de roda.

- **Ondulação:** também chamado de corrugação, é caracterizado pela presença de ondulações transversais na superfície do pavimento.
- **Escorregamento:** caracteriza-se pelo deslocamento do revestimento do pavimento, geralmente localizado nas bordas com presença de fendas em formato de meia-lua.
- **Exsudação:** caracterizado pelo excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, apresentando uma coloração escura.
- **Desgaste:** defeito no qual ocorre o arrancamento superficial do agregado do pavimento, apresentando aspecto áspero.
- **Panela:** popularmente conhecido como buraco, é a formação de uma cavidade, que pode ser superficial ou atingir camadas inferiores do pavimento.
- **Remendo:** trata-se do preenchimento de painelas ou afundamentos com massa asfáltica, visando a conservação do pavimento; pode ser classificado em superficial ou profundo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

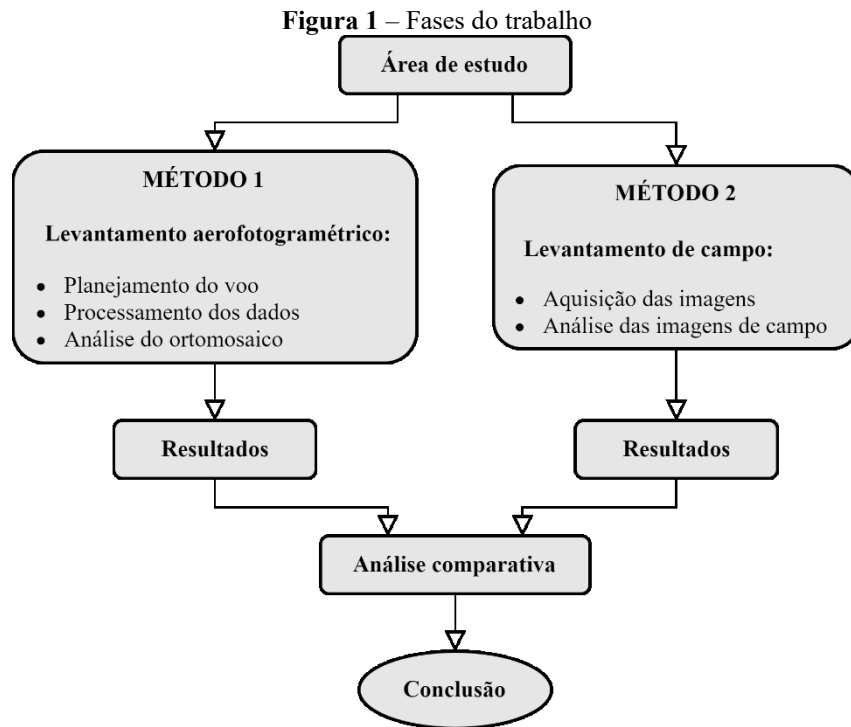
O objetivo geral deste trabalho é verificar a viabilidade do uso do ortomosaico como ferramenta para identificação de defeitos na superfície de pavimentos flexíveis.

1.3.2 Objetivos específicos

- Coleta de imagens aéreas por meio do drone;
- Processamento das imagens e geração do ortomosaico;
- Análise do ortomosaico para identificação de defeitos com base na norma DNIT 005/2003 – TER;
- Verificação dos resultados obtidos na análise do ortomosaico por meio de comparativo com levantamento de campo.

2 METODOLOGIA

Nesta seção, será descrita a estruturação do presente trabalho. A Figura 1 apresenta, em forma de fluxograma, a sequência de etapas seguidas ao longo do processo.



Fonte: Autor (2024)

A primeira fase foi a delimitação da área de estudo. Na sequência, deu-se início à fase dos levantamentos aerofotogramétricos (Método 1) e de campo (Método 2), cada qual seguindo uma sequência de etapas específicas. Em seguida, foi realizada a análise comparativa entre os resultados gerados em cada um dos métodos. Comparados os resultados, foi possível chegar às conclusões do trabalho.

2.1 Área de estudo

A região escolhida para realização do estudo foi a Avenida Venezuela, via que divide os bairros Salgado e Cedro, localizados no município de Caruaru, estado de Pernambuco. O trecho escolhido para realizar a análise do pavimento possui 1,09 quilômetros de comprimento (Figura 2), totalizando uma extensão de aproximadamente 2,2 quilômetros por ser uma via de pista dupla.

Figura 2 – Área de estudo e extensão do trecho escolhido para análise



Fonte: Google Earth Pro (2024)

A escolha do local se deu em virtude dos diversos tipos de patologias presentes no pavimento, permitindo avaliar de maneira consideravelmente abrangente a viabilidade do método escolhido para a análise do pavimento na identificação de defeitos.

2.2 Levantamento aerofotogramétrico

O levantamento aerofotogramétrico compreende desde a fase de planejamento do voo, até a etapa de processamento dos dados, na qual o ortomosaico é construído.

2.2.1 Planejamento de voo

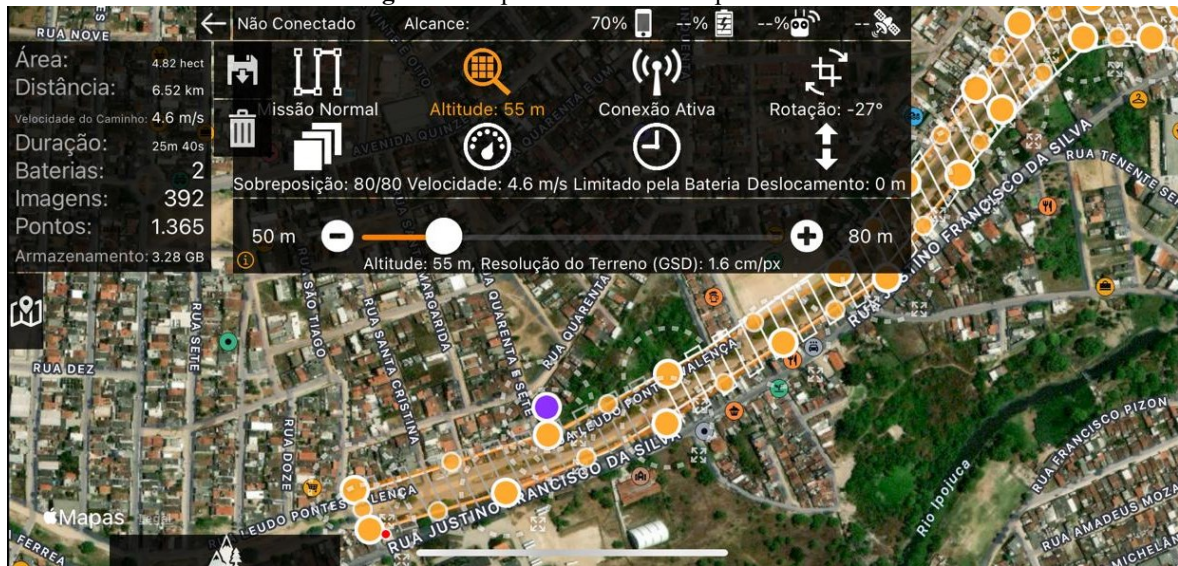
O planejamento do voo é a etapa mais importante do levantamento aerofotogramétrico, pois é onde são definidos os equipamentos, aplicativos, e parâmetros utilizados no voo.

Sobre equipamentos, tem-se o modelo do drone a ser utilizado, cujas especificações devem ser adequadas ao tipo de estudo que se deseja realizar, bem como ao tipo de informação que se deseja obter. Para o presente estudo, o modelo utilizado foi o DJI Air 2S; dentre as características de sua câmera, pode-se destacar o sensor de 1 polegada, pixel com tamanho de $2,4 \mu\text{m}$, resolução de 20 MP, distância focal de 8,15 mm e abertura da lente $f/2.8$.

Também é necessário um aplicativo de voo, no qual são inseridos os dados de entrada (plano de voo, região a ser sobrevoada, velocidade e altitude de voo, angulação da câmera, e sobreposição das imagens), que são os parâmetros de voo definidos no planejamento. O aplicativo utilizado no levantamento foi o Map Pilot Pro (Figura 3), específico para planejamento e execução de voos

automatizados com drones para fins de mapeamento e fotogrametria.

Figura 3 – Aplicativo de voo Map Pilot Pro



Fonte: Autor (2024)

O parâmetro mais importante a ser definido nessa fase é o GSD (Ground Sample Distance), que pode ser traduzido para “distância entre amostras do solo”. O GSD pode ser definido como uma medida, cuja unidade usual é em centímetros, que indica quantos centímetros do terreno um pixel da imagem irá representar, semelhante ao conceito de escala cartográfica, porém para imagens digitais. Dessa forma, quanto menor o valor do GSD, menor será a área capturada por cada pixel, e mais detalhes serão visíveis na imagem. O GSD pode ser calculado pela Equação 1, que relaciona altura de voo (H), tamanho do pixel do sensor (P) e distância focal da câmera (F).

$$GSD = H \times \frac{P}{F} \quad (1)$$

É válido salientar que esse cálculo é apenas uma estimativa, pois o valor do GSD depende diretamente da altura do drone em relação ao solo. Como normalmente o drone mantém uma altitude fixa em relação ao ponto de decolagem, as variações no relevo fazem a distância entre o drone e o solo variar ao longo do voo, influenciando diretamente o valor calculado. Além disso, alguns outros fatores como a abertura e a resolução da câmera também influenciam no valor do GSD. Em geral, os aplicativos de voo informam um valor médio para o GSD de acordo com os dados de entrada.

Outro fator de grande importância é a taxa de sobreposição longitudinal e lateral das imagens, que devem ser as maiores possíveis, pois, quanto mais pontos em comum as imagens possuírem,

maior será a precisão do ortomosaico. Por outro lado, quanto maior a sobreposição, mais imagens serão necessárias e maior a duração do voo; assim, deve haver um equilíbrio. Segundo E. Figueiredo e S. Figueiredo (2018), a sobreposição mínima longitudinal deve ser de 70%, e lateral de 60%.

É de extrema importância estar antenado à previsão do tempo antes de realizar o voo com drone, a fim de evitar chuva e rajadas de vento, o que pode comprometer o voo e os resultados das imagens. Também é importante definir um horário do dia que forneça iluminação adequada e evite sombras.

2.2.2 Processamento dos dados

As imagens aéreas, obtidas no dia 01 de agosto de 2024 através do drone, foram tratadas e processadas no DroneDeploy, software online e aplicativo, específico para fotogrametria, capaz de gerar mapas e modelos digitais em 2D e 3D, dentre eles o ortomosaico. A escolha do programa se deu devido à sua acessibilidade, dispensando o download de programas, além de não fazer necessário um hardware muito robusto para o processamento dos dados.

2.2.3 Análise do ortomosaico

Essa etapa consistiu em uma interpretação direta do ortomosaico, na qual foi realizada a identificação dos defeitos observados conforme a norma DNIT 005/2003 – TER, bem como o levantamento dos quantitativos de cada defeito em uma planilha Excel. Como mencionado, a área de estudo se trata de uma via de pista dupla; por isso, os quantitativos foram separados em Lado A e Lado B (Figura 4), apenas para facilitar o processo.



Fonte: Google Earth Pro (2024)

Assim, foram contabilizadas as quantidades de cada defeito para cada um dos lados definidos (Lado A e Lado B), bem como o Total (correspondente à soma dos dois lados).

2.3 Levantamento de campo

Trata-se da aquisição dos dados reais e sua análise, servindo como referência para o comparativo entre os resultados das análises do ortomosaico e das imagens de campo.

2.3.1 Aquisição das imagens

A coleta das imagens de campo, realizada em 28 de junho de 2024, se deu percorrendo toda a extensão da área de estudo, observando e registrando os defeitos presentes no pavimento com fotos tomadas por um smartphone, para posterior análise.

2.3.2 Análise das imagens de campo

As imagens obtidas pelo levantamento de campo foram analisadas de forma semelhante à análise do ortomosaico, por meio de uma interpretação direta, identificando os defeitos observados e listando suas quantidades em uma planilha Excel. Da mesma forma, os resultados foram separados em dois lados (Lado A e Lado B), conforme a Figura 4, além do Total.

2.4 Análise comparativa

Buscando validar os resultados obtidos na análise do ortomosaico, foi realizado um comparativo entre os resultados do Lado A do ortomosaico e das imagens de campo, bem como entre os resultados do Lado B e do Total, que corresponde à soma dos Lados A e B. Além disso, foram comparados os resultados referentes à obtenção dos dados de cada método.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos em cada um dos métodos, além da análise comparativa entre os resultados de ambos.

3.1 Resultados do levantamento aerofotogramétrico

Para estimar o GSD, foi pré-estabelecida uma altitude de voo de 55 m, a fim de verificar se essa altura seria suficiente. Por meio da Equação 1, inseridas a altura pré-estabelecida e as especificações do drone, obteve-se o valor de 1,62 cm/px para o GSD. Assim, a altitude utilizada no voo com o drone permaneceu em 55 m.

Os demais dados de entrada do voo foram definidos de acordo com a Tabela 1; a partir deles, o próprio aplicativo de voo gerou uma estimativa dos dados de saída (Figura 3), incluindo o GSD, também apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do voo com drone

DADO DE ENTRADA	VALOR
Altitude de voo	55 m
Angulação da câmera	90°
Sobreposição de imagens	80/80 (%)
Tipo de voo	Poligonal
Velocidade	4,6 m/s
DADO DE SAÍDA	VALOR
Área sobrevoada	4,82 hec
Armazenamento	2,73 GB
Duração	38 min
GSD	1,6 cm/px
Nº de baterias	2
Nº de imagens	289

Fonte: Autor (2024)

É importante salientar que alguns dados de saída, como a duração do voo, podem não corresponder à estimativa do aplicativo. Como apresentado na Figura 3, o aplicativo estimou uma duração de 27 minutos, entretanto a duração real da coleta dos dados levou cerca de 38 minutos, devido a algumas perdas de conexão e a interferência da velocidade do vento, além do intervalo necessário para troca das baterias.

Com isso, ao todo, foram coletadas 289 imagens aéreas, como apresentado na Tabela 1. Como mencionado, as imagens foram tratadas e processadas no DroneDeploy, por meio do qual foi gerado o ortomosaico (Figura 5).

Figura 5 – Ortomosaico gerado no DroneDeploy

Fonte: Autor (2024)

Por meio da análise do ortomosaico, foram contabilizadas as quantidades dos defeitos observados, separados em Lado A, Lado B e Total, apresentados na Tabela 2, concluindo o levantamento aerofotogramétrico.

Tabela 2 – Resultados da análise do ortomosaico

DEFEITO	LADO A	LADO B	TOTAL
Fissuras (FI)	0	0	0
Trincas transversais curtas (TTC)	0	0	0
Trincas transversais longas (TTL)	0	0	0
Trincas longitudinais curtas (TLC)	0	0	0
Trincas longitudinais longas (TLL)	0	1	1
Trincas isoladas retração (TRR)	0	0	0
Couro de jacaré (J)	18	23	41
Couro de jacaré com erosão (JE)	0	4	4
Trincas em bloco (TB)	0	0	0
Trincas em bloco com erosão (TBE)	0	0	0
Afundamento plástico local (ALP)	0	0	0
Afundamento plástico trilha (ATP)	0	0	0
Afundamento consolidação local (ALC)	0	0	0
Afundamento consolidação trilha (ATC)	0	0	0
Ondulação (O)	0	0	0
Escorregamento (E)	5	0	5
Exsudação (EX)	0	0	0
Desgaste (D)	3	0	3
Panela (P)	54	21	75
Remendo (R)	3	4	7

Fonte: Autor (2024)

Por meio da Tabela 2, vê-se que foram identificados os seguintes defeitos no ortomosaico: trinca longitudinal longa; trincas interligadas tipo jacaré, com e sem erosão acentuada; escorregamentos; desgastes; panelas e remendos.

3.2 Resultados do levantamento de campo

O levantamento de campo, onde toda a extensão da área de estudo foi percorrida e os defeitos observados foram registrados com fotos, gerou os dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados do levantamento de campo

DADO	VALOR
Armazenamento	0,92 GB
Distância percorrida	2,2 km
Duração	82 min
Nº de imagens	236

Fonte: Autor (2024)

As imagens coletadas foram analisadas e, semelhante à análise do ortomosaico, os defeitos observados foram contabilizados, separados em Lado A, Lado B e Total, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da análise das imagens de campo

DEFEITO	LADO A	LADO B	TOTAL
Fissuras (FI)	0	0	0
Trincas transversais curtas (TTC)	1	0	1
Trincas transversais longas (TTL)	0	1	1
Trincas longitudinais curtas (TLC)	1	2	3
Trincas longitudinais longas (TLL)	0	1	1
Trincas isoladas retração (TRR)	0	0	0
Couro de jacaré (J)	24	31	55
Couro de jacaré com erosão (JE)	6	8	14
Trincas em bloco (TB)	0	0	0
Trincas em bloco com erosão (TBE)	0	0	0
Afundamento plástico local (ALP)	0	0	0
Afundamento plástico trilha (ATP)	0	0	0
Afundamento consolidação local (ALC)	0	0	0
Afundamento consolidação trilha (ATC)	0	0	0
Ondulação (O)	0	0	0
Escorregamento (E)	4	1	5
Exsudação (EX)	0	0	0
Desgaste (D)	6	1	7
Panela (P)	54	24	78
Remendo (R)	3	2	5

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 4 mostra os defeitos que foram identificados nas imagens de campo, sendo eles: trincas longitudinais e transversais, curta e longa; trinca interligada tipo jacaré, com e sem erosão acentuada; escorregamentos; desgastes; panelas e remendos.

3.3 Análise comparativa

Por meio das Tabelas 1 e 3, é possível fazer um comparativo entre os dados dos levantamentos realizados. A Tabela 5 compara os principais dados em comum relacionados à coleta das imagens de cada levantamento.

Tabela 5 – Comparativo entre dados da coleta de imagens, Métodos 1 e 2

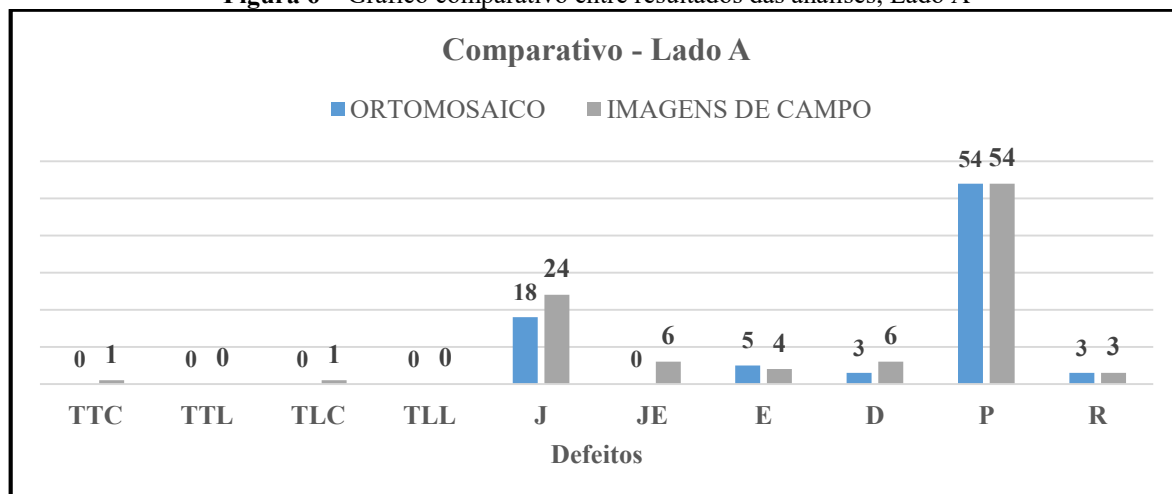
DADO	MÉTODO 1	MÉTODO 2
Armazenamento	2,73 GB	0,92 GB
Duração	38 min	82 min
Nº de imagens	289	236

Fonte: Autor (2024)

Ao observar a Tabela 5, percebe-se o quão vantajoso é o método aerofotogramétrico, quando comparado ao levantamento de campo. Com o uso do drone, foi possível coletar uma quantidade maior de imagens, de maneira que toda a extensão da área de estudo foi mapeada, com uma redução de tempo de aproximadamente 50%.

Por meio das Tabelas 2 e 4, podem ser comparados os resultados das análises do ortomosaico e das imagens de campo. A Figura 6 apresenta, em formato de gráfico, os dados das Tabelas 2 e 4 para o Lado A, apenas dos defeitos que foram identificados.

Figura 6 – Gráfico comparativo entre resultados das análises, Lado A

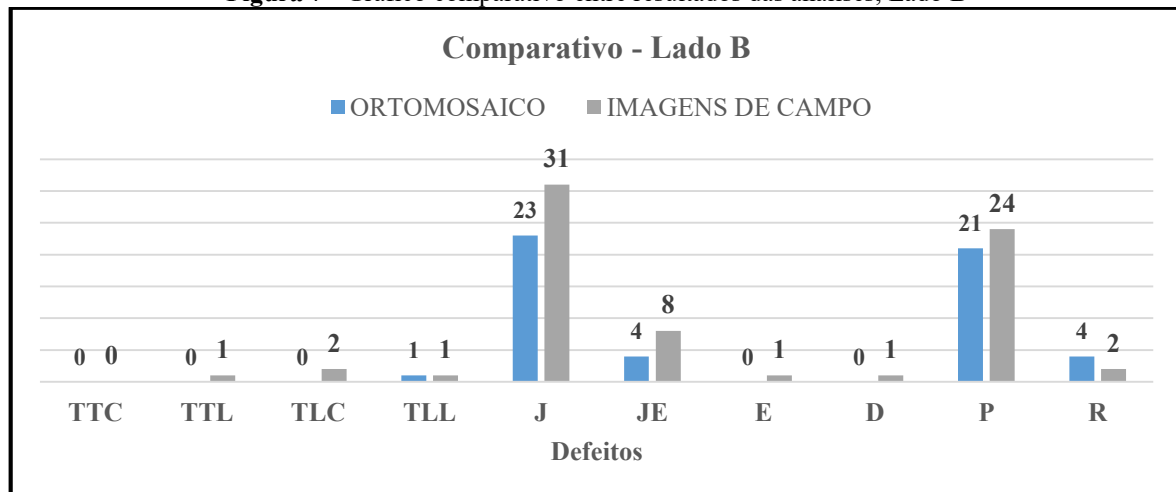


Fonte: Autor (2024)

Ao analisar a Figura 6, observa-se que não foram identificadas nenhum tipo de trinca isolada e trinca tipo jacaré com erosão acentuada no Lado A do ortomosaico. Em contrapartida, foram identificados mais escorregamentos no ortomosaico quando comparado às imagens de campo.

A Figura 7 apresenta, também em formato de gráfico, os dados das Tabelas 2 e 4, agora para o Lado B.

Figura 7 - Gráfico comparativo entre resultados das análises, Lado B



Fonte: Autor (2024)

Observando a Figura 7, percebe-se que não foram identificadas trincas isoladas transversais, escorregamentos e desgastes no ortomosaico. Ainda, foram identificados menos remendos nas imagens de campo.

Por fim, a Tabela 6 apresenta um comparativo entre o Total, que corresponde à soma dos Lados A e B, das análises do ortomosaico e das imagens de campo, onde também foram calculados a diferença absoluta entre os valores e o percentual de acerto das quantidades identificadas no ortomosaico quando comparado às imagens de campo.

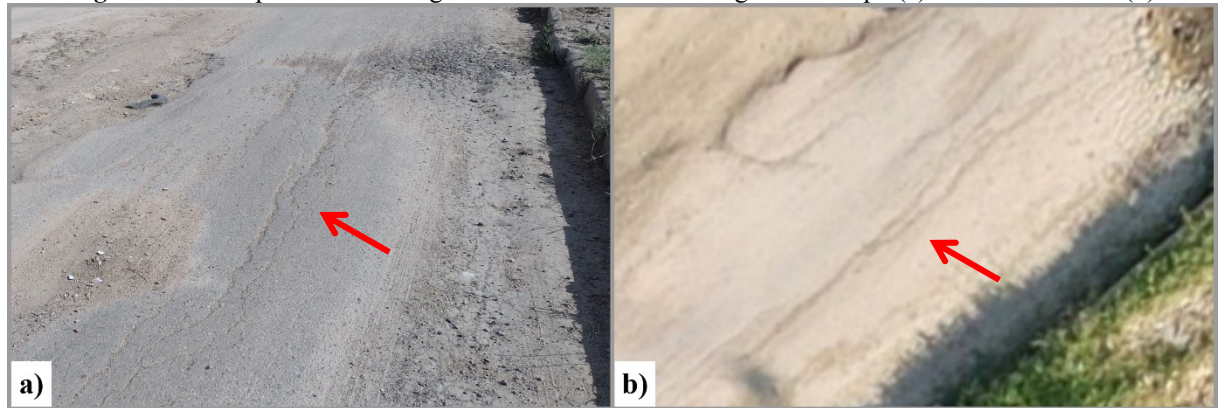
Tabela 6 – Comparativo entre resultados das análises, Total

DEFEITO	ORTOMOSAICO	IMAGENS DE CAMPO	DIFERENÇA ABSOLUTA	PERCENTUAL DE ACERTO
Trincas transversais curtas (TTC)	0	1	1	0%
Trincas transversais longas (TTL)	0	1	1	0%
Trincas longitudinais curtas (TLC)	0	3	3	0%
Trincas longitudinais longas (TLL)	1	1	0	100%
Couro de jacaré (J)	41	55	14	75%
Couro de jacaré com erosão (JE)	4	14	10	29%
Escorregamento (E)	5	5	0	100%
Desgaste (D)	3	7	4	43%
Panela (P)	75	78	3	96%
Remendo (R)	7	5	2	140%

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 6 mostra que a análise do ortomosaico apresentou 0% de acerto para trincas transversais curtas e longas, e trincas longitudinais curtas; e 100% para trincas longitudinais longas (Figura 8).

Figura 8 – Exemplo de trinca longitudinal identificada na imagem de campo (a) e no ortomosaico (b)

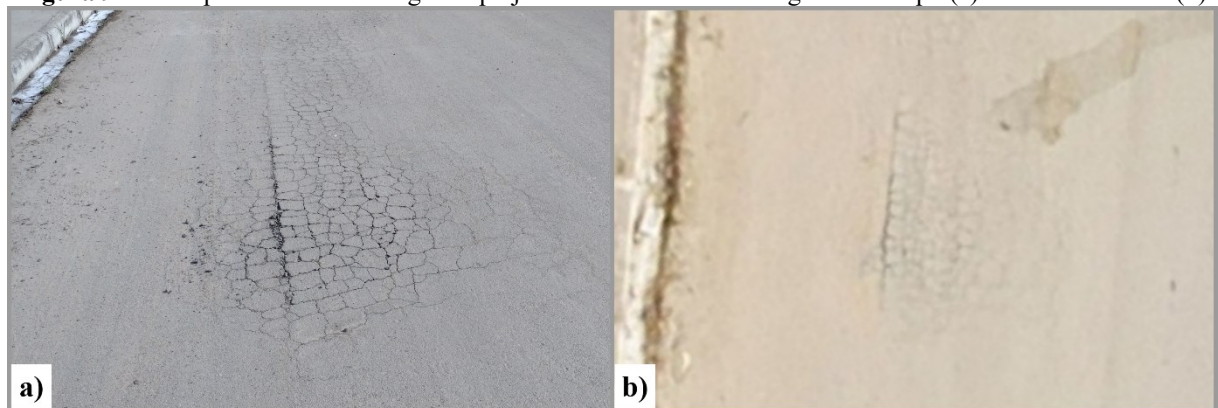


Fonte: Autor (2024)

A provável causa desses baixos percentuais é a extensão e o grau de abertura das trincas serem pequenos em sua maioria, o que dificulta sua identificação no ortomosaico, no qual foi possível identificar apenas uma trinca longitudinal. Além disso, é importante destacar que, em geral, foram poucas as quantidades identificadas de trincas isoladas, assim como de alguns outros defeitos, tanto no ortomosaico quanto nas imagens de campo; dessa forma, qualquer diferença tem um peso considerável no percentual de acerto.

Já em relação às trincas interligadas do tipo jacaré (Figura 9), o percentual de acerto obtido foi de 75% para couro de jacaré sem erosão acentuada. Por outro lado, as trincas do tipo jacaré com erosão acentuada apresentaram apenas 29% de acerto.

Figura 9 – Exemplo de trinca interligada tipo jacaré identificada na imagem de campo (a) e no ortomosaico (b)



Fonte: Autor (2024)

Esse baixo percentual se deve à erosão ser um detalhe que requer uma grande riqueza de

detalhes e nitidez no ortomosaico, sendo necessário um GSD ainda menor do que o obtido no estudo. De maneira geral, as trincas couro de jacaré apresentaram, em parte, um pouco de dificuldade em sua identificação no ortomosaico, devido à nitidez deste e ao seu grau de abertura pequeno em alguns casos.

Ainda de acordo com a Tabela 6, o percentual de acerto para escorregamento (Figura 10) foi de 100%. Com isso, entende-se que é um defeito que pode ser identificado no ortomosaico sem grandes dificuldades.

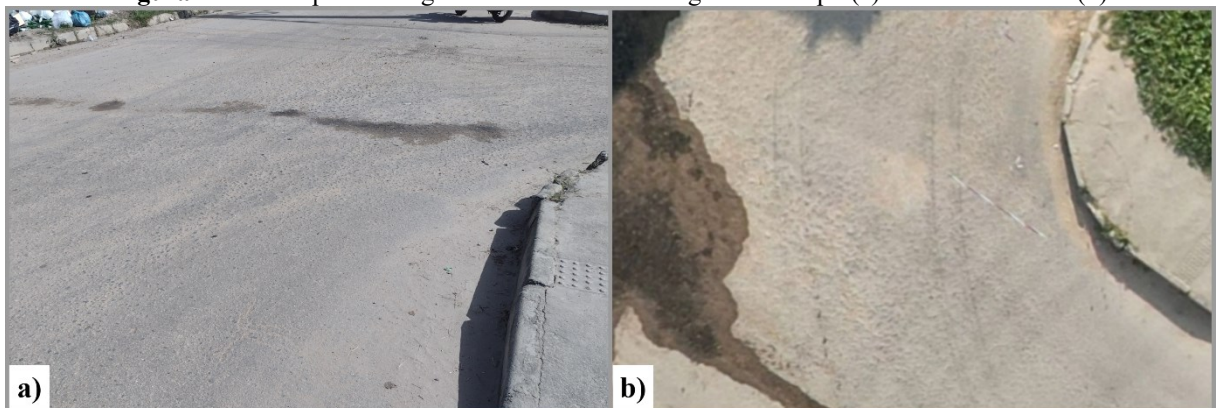
Figura 10 – Exemplo de escorregamento identificado na imagem de campo (a) e no ortomosaico (b)



Fonte: Autor (2024)

Para desgastes (Figura 11), foi obtido um percentual de acerto de 43%. Esse defeito, assim como trincas tipo jacaré com erosão acentuada, requer uma maior riqueza de detalhes e nitidez, principalmente em casos de desgastes menos grosseiros.

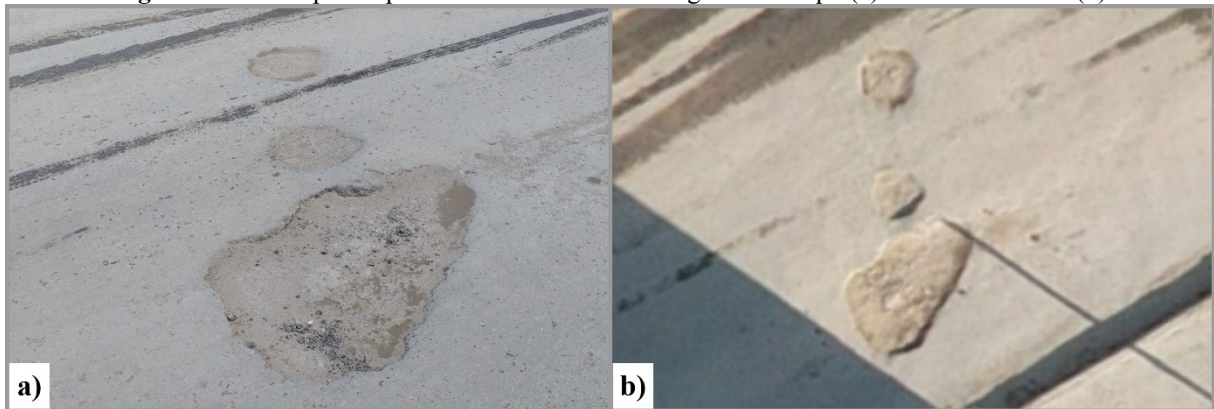
Figura 11 – Exemplo de desgaste identificado na imagem de campo (a) e no ortomosaico (b)



Fonte: Autor (2024)

Sobre panelas (Figura 12), foi obtido um percentual de acerto de 96%, indicando ser um defeito que pode ser facilmente identificado no ortomosaico.

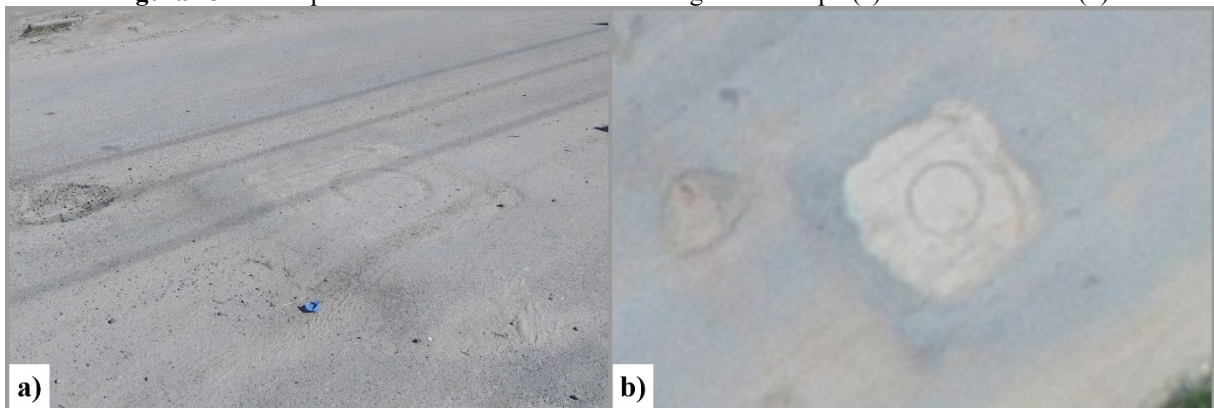
Figura 12 – Exemplo de painéis identificados na imagem de campo (a) e no ortomosaico (b)



Fonte: Autor (2024)

Por fim, a Tabela 6 mostra que foram observadas quantidades menores de remendo (Figura 13) nas imagens de campo, o que gerou um percentual de acerto de 140% para o ortomosaico, provavelmente em razão da interpretação que se teve durante as análises das imagens de campo e do ortomosaico.

Figura 13 – Exemplo de remendo identificado na imagem de campo (a) e no ortomosaico (b)



Fonte: Autor (2024)

Por meio das informações apresentadas pelas Figuras 6 e 7 e pela Tabela 6, observam-se algumas pequenas inconsistências, visto que alguns defeitos foram identificados em maior quantidade no ortomosaico, enquanto outros, em menor quantidade. Diante disto, há algumas considerações que devem ser levadas em conta ao analisar os resultados:

- O intervalo de tempo entre a aquisição das imagens de cada um dos métodos, que pode ter gerado uma pequena diferença entre os resultados, pois alguns defeitos podem ter surgido no pavimento nesse meio tempo, ou ainda, alguns dos defeitos já existentes podem ter evoluído.
- Subjetividade, é possível que uma pequena parcela dessas diferenças tenha ocorrido devido à interpretação que se teve durante as análises do ortomosaico e das imagens de

campo, bem como às considerações feitas, ou ao ângulo de visão.

- Em relação aos resultados da análise do ortomosaico, um provável motivo seria a presença de obstáculos, como sombras de edifícios ou árvores, água, veículos e pedestres. Além disso, foi observada a forte presença de material terroso (Figura 14) em grande parte da área de estudo, proveniente de ruas transversais não pavimentadas, sendo o obstáculo que provavelmente mais impactou os resultados. Alguns defeitos apresentaram uma leve dificuldade em sua identificação no levantamento de campo, principalmente trincas interligadas do tipo jacaré, devido à sua extensão e abertura pequenas e/ou ao material terroso presente. Assim, já era esperado que alguns defeitos não fossem possíveis de serem identificados no ortomosaico.

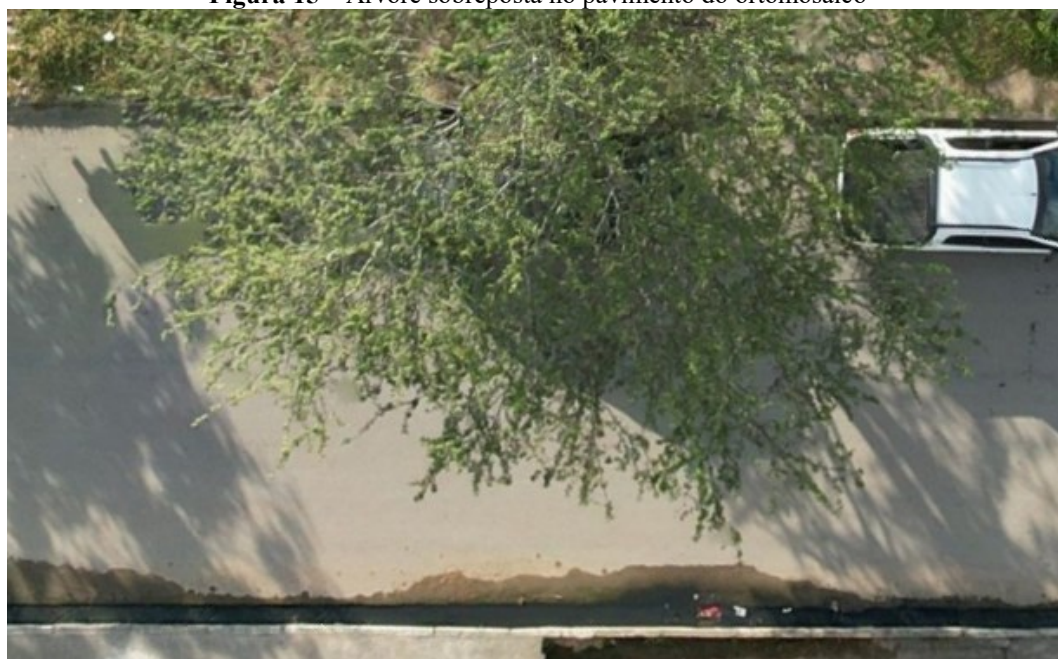
Figura 14 – Material terroso presente no pavimento analisado



Fonte: Autor (2024)

Ainda, é possível que as árvores presentes na área de estudo tenham encoberto alguns defeitos devido à sua sobreposição no pavimento do ortomosaico, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Árvore sobreposta no pavimento do ortomosaico



Fonte: Autor (2024)

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar o uso do ortomosaico como ferramenta para identificação de defeitos em pavimentos flexíveis. A partir das imagens aéreas obtidas com o drone, foi possível construir e analisar o ortomosaico, identificando os defeitos com base na norma DNIT 005/2003. O processo de obtenção dos dados para a construção do ortomosaico se mostrou vantajoso em relação ao levantamento de campo, visto que, por meio do drone, foi obtido um maior número de imagens em um menor intervalo de tempo, de modo que toda a superfície do pavimento foi mapeada.

Os resultados da análise do ortomosaico foram validados por meio do comparativo com os dados de campo. Apesar de algumas limitações, o método proposto apresentou resultados satisfatórios de maneira geral, tendo em vista que os quantitativos dos defeitos identificados no ortomosaico se aproximaram dos observados em campo, mostrando uma boa correspondência. Embora tenha sido possível identificar trincas isoladas no ortomosaico, a ocorrência observada foi limitada a um único caso, indicando que esse tipo de defeito é de difícil visualização, sendo mais facilmente identificado quando apresenta aberturas maiores. Com relação às trincas tipo couro de jacaré, a presença de terra sobre o pavimento, combinada com o pequeno grau de abertura e extensão de algumas trincas, dificultou em parte a visibilidade desses defeitos no ortomosaico; ainda assim, foram identificadas quantidades significativas. Além disso, a presença de erosão acentuada é uma característica que requer um alto nível de detalhamento

para ser visualizada com mais facilidade. Os desgastes, por sua natureza, tendem a se “camuflar” no pavimento, dificultando sua visualização no ortomosaico; dessa forma, apenas os mais grosseiros se mostraram passíveis de identificação. Por fim, escorregamentos, placas e remendos se mostraram como defeitos de fácil identificação. Portanto, o ortomosaico se mostrou uma ferramenta viável para análise do pavimento, abrangendo uma diversidade significativa de defeitos.

Tendo em vista a baixa ocorrência de trincas isoladas no pavimento analisado e visando uma melhor validação acerca desse defeito, recomenda-se para trabalhos futuros a aplicação do método proposto no presente trabalho em pavimentos com presença de trincas isoladas de maneira mais significativa. Quanto aos defeitos ausentes no pavimento analisado, que consequentemente não foram observados em nenhum dos métodos utilizados, não é possível discorrer sobre eles, ficando como sugestão para trabalhos futuros o estudo do ortomosaico na identificação desses defeitos, sendo eles: trincas isoladas de retração, trincas interligadas tipo bloco, afundamentos, ondulação e exsudação. No caso de fissuras, a própria norma DNIT 005/2003 menciona que esse defeito é observado a olho nu somente a uma distância inferior a 1,50 m.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA CNT TRANSPORTE ATUAL. **Brasil tem método antigo para dimensionar o pavimento**. CNT, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/brasil-tem-metodo-antigo-para-dimensionar-o-pavimento>. Acesso em: 22 set. 2024.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of photogrammetry**. 4. ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1980. ISBN 0-937294-01-2. Disponível em: <https://archive.org/details/manualofphotogra0004amer/page/n7/mode/2up?view=theater>. Acesso em: 29 set. 2024.

AWANGE, J. L.; KIEMA, J. B. K. **Environmental Geoinformatics: Monitoring and Management**. Berlin: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-34084-0. (Environmental Science and Engineering. Environmental Science). Disponível em: <https://www.nile-center.com/uploads/BY8MKG7FNTPT2FA.pdf>. Acesso em: 27 set. 2024.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. ISBN 978-85-69658-02-3. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/relatorios-de-pesquisa-rdt/projetos-rdt/transbrasiliana/finalizado/livro-pavimentacao-asfaltica-2013-formacao-basica-para-engenheiros-2013-2deg-edicao.pdf/view>. Acesso em: 08 jul. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2023**. Brasília: CNT: SEST SENAT: ITL, 2023. Disponível em:

<https://static.poder360.com.br/2023/11/pesquisa-cnt-rodovia-2023.pdf>. Acesso em: 22 set. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 005/2003 – TER**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

FIGUEIREDO, E. O.; FIGUEIREDO, S. M. M. **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2018. ISSN 0100-9915. (Embrapa Acre. Circular Técnica, 75).

SCHENK, T. **Introduction to Photogrammetry**. Columbus: [s.n.], 2005. Disponível em: <https://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica – Introdução**. [S. l.: s. n.], 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A.; WILKINSON, B. E. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 978-0-07-176112-3.

PAULO MERGULHÃO NUNES NETO

**AVALIAÇÃO DE DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL POR
MEIO DO ORTOMOSAICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Campus Agreste da Universidade Federal de
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo
científico, como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Defesa realizada por videoconferência.

Área de concentração: Estradas e Transportes

Aprovado em 24 de outubro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Renato Mahon Macêdo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng^a MSc. Laysa Cristina Arão Costa (Avaliadora)
Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Goncalves (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco