[REEC] Revista Eletrônica de Engenharia Civil
Volume 21, N° 1, 2026 132 – 149
https://revistas.ufg.br/reec

AVALIAÇÃO DA POTENCIAL UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA O MONITORAMENTO DO ESTADO SITUACIONAL DE INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

Evaluation of the potential use of remotely piloted aircraft for monitoring the situational status of road infrastructures

João Paulo Marçal de Souza [1], Kyvya Dayse Alves de Medeiros [2], Lucas Candeia Porto [3], Vinicius Cruz Damascena [4], Guilherme Augusto Vaz de Lima [5], Diego de Paiva Bezerra [6], Luísa Eduarda Lucena de Medeiros [7]

PALAVRAS-CHAVE:
Pavimentos asfálticos;
Danos;
Avaliação funcional;
Geotecnologias;
Sensoriamento remoto;

KEYWORDS:
Asphalt sidewalks;
Damages;
Functional assessment;
Geotechnologies;
Remote sensing.

RESUMO: O estudo objetivou desenvolver um método alternativo para diagnosticar o estado situacional da infraestrutura rodoviária de um trecho da rodovia PB-262 (Serra do Teixeira), utilizando uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). Os procedimentos metodológicos compreenderam três etapas: i) revisão da literatura sobre pavimentação asfáltica, danos e métodos de avaliação; ii) coleta de dados públicos e em campo; e iii) aplicação de uma metodologia de avaliação do pavimento com a ARP, complementando o Índice de Gravidade Global (IGG). Com os resultados do estudo, pode-se evidenciar que o trecho analisado da PB-262 foi classificado com índice global de gravidade acima do limiar de 160, o que representa um estado situacional péssimo. Conclui-se que a utilização de aeronaves remotamente pilotadas possui potencial preciso para a avaliação de rodovias, sendo que a escolha do modelo de drone apropriado dependerá do componente específico a ser inspecionado.

ABSTRACT: *The study aimed to develop an alternative method for diagnosing the state of the road infrastructure on a stretch of the PB-262 highway (Serra do Teixeira), using a Remotely Piloted Aircraft (RPA). The methodological procedures comprised three stages: i) reviewing the literature on asphalt paving, damage and assessment methods; ii) collecting public and field data; and iii) applying a sidewalk assessment methodology with the ARP, complementing the Global Severity Index (GII). The results of the study show that the analyzed stretch of the PB-262 was classified with a global severity index above the threshold of 160, which represents a very poor state of affairs. It can be concluded that the use of remotely piloted aircraft has precise potential for evaluating highways, with the choice of the appropriate drone model depending on the specific component to be inspected.*

*** Contato com os autores:**
[1] **e-mail: joao.marcal@academico.ifpb.edu.br (J. P. M. Souza)**
Bacharelando em Engenharia Civil, graduando, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
[2] **e-mail: kyvya.medeiros@academico.ifpb.edu.br (K. D. A. Medeiros)**
Bacharelanda em Engenharia Civil, graduanda, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
[3] **e-mail: lucas.candeia@academico.ifpb.edu.br (L. C. Porto)**
Bacharelando em Engenharia Civil, graduando, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
[4] **e-mail: vinicius.cruz@academico.ifpb.edu.br (V. C. Damascena)**
Bacharelando em Engenharia Civil, graduando, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
[5] **e-mail: guilherme.vaz@ifpb.edu.br (G. A. V. Lima)**
Matemático, Mestre, professor, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
[6] **e-mail: diego.paiva@ifpb.edu.br (D. P. Bezerra)**
Engenheiro Civil, Mestre, professor, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)
[7] **e-mail: luisa.medeiros@ifpb.edu.br (L. E. L. Medeiros)**
Engenheira Civil, Doutora, professora, Instituto Federal da Paraíba (IFPB)

Publicado em 29 de junho de 2026

ISSN: 2179-0612 DOI: 10.5216/reec.V21i1.79489

© 2026 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das áreas urbanas tem promovido transformações significativas nos centros urbanos, especialmente no setor de transportes, que desempenha papel crucial para o desenvolvimento socioeconômico. A infraestrutura viária é essencial para a eficiência dos deslocamentos, o escoamento de mercadorias e a mobilidade da população. No Brasil, o transporte rodoviário se destaca, representando mais de 50% do Produto Interno Bruto (PIB) do setor de transportes e ocupando a segunda posição no setor de serviços não financeiros, com 12,7% de contribuição para a geração de valor (Brasil, 2017; Roessing, Guimarães e Telles, 2009). No entanto, a malha rodoviária brasileira enfrenta desafios históricos, como a escassez de investimentos, falhas nos projetos, e dificuldades na execução e manutenção das estradas, impactando diretamente os custos e a segurança do transporte (Blumenberg et al., 2018; Corazza, Di Mascio e Moretti, 2016; Gaspar e Pinheiro, 2021; Kirbas e Karasahin, 2018).

Nesse contexto, a avaliação e monitoramento da qualidade dos pavimentos tornam-se fundamentais para direcionar ações de manutenção e recuperação da infraestrutura viária. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) desenvolveu um método padronizado para classificar a condição superficial dos pavimentos utilizando o Índice de Gravidade Global (IGG), que permite a análise da superfície asfáltica e a elaboração de um inventário técnico para a identificação e quantificação de defeitos (DNIT, 2003a). A aplicação dessas diretrizes normativas é essencial para garantir um planejamento eficiente da conservação rodoviária, conforme previsto na norma DNIT 005/2003-TER, que orienta as melhores práticas para a restauração das estradas (DNIT, 2003b).

Para aprimorar esse processo de monitoramento, o uso de tecnologias geoespaciais surge como uma alternativa inovadora. As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) têm se destacado na avaliação de infraestruturas viárias devido à sua eficiência na obtenção de dados, mesmo em condições adversas. A Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA) define as ARPs como veículos capazes de voo atmosférico sem a presença de um piloto a bordo, podendo ser autônomos ou controlados remotamente, característica que potencializa sua aplicação em reconhecimento tático e monitoramento de áreas. Assim, esses equipamentos permitem um mapeamento ágil e detalhado das rodovias, possibilitando a criação de um banco de dados atualizado e facilitando a alocação eficiente de recursos para manutenção e reparo (Morgenthal e Hallermann, 2014; Lisboa et al., 2019; Prince, 2023).

Nessa perspectiva, diversos pesquisadores têm se dedicado ao estudo dos desafios relacionados à avaliação e diagnóstico de danos em pavimentos e utilização de novas tecnologias (Ayach, Souza e Silva, 2019; Migliorin, Silva e Tapahuasco, 2019; Rocha, Magri e Pereira, 2021; Arhin et al., 2015; Boyapati e Kumar, 2015; Chen, Yuan e Li, 2012; Cunha, Santos e Cruz, 2014; Silva, 2018; Lázaro et al., 2022; Li e Huang, 2014). Diante desse contexto, este estudo tem como objeto de investigação o pavimento asfáltico da Serra do Teixeira (Paraíba), especificamente no trecho montanhoso da rodovia PB-262, que enfrenta desafios estruturais. Dessa forma, o estudo busca contribuir para a literatura técnico-científica sobre infraestrutura de transportes, oferecendo uma análise detalhada das condições da malha viária da região e propondo soluções para aprimorar sua qualidade, segurança e eficiência.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial uso de uma ARP para investigação do estado situacional do pavimento asfáltico ofertado pela malha viária da serra do Teixeira-PB (PB-262) para determinação de eventuais serviços de obras de manutenção e restauro necessários na estrada.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse item serão apresentados aspectos metodológicos da área de estudo e da obtenção dos dados espaciais para análise do potencial uso de ARPs no monitoramento, avaliação e classificação do estado situacional de infraestruturas rodoviárias com base no estudo técnico realizado no trecho da rodovia da Serra do Teixeira (PB-262).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa é a Serra do Teixeira, Paraíba (Figura 1), um relevo montanhoso situado na região geográfica imediata de Patos (sul do sertão paraibano). O enfoque da pesquisa direcionou-se para a superfície da Serra do Teixeira, mais precisamente na rodovia estadual PB-262. Essa via conecta as cidades de Teixeira-PB e São José do Bonfim-PB à região metropolitana de Patos-PB, com uma extensão aproximada de nove quilômetros (9 km).

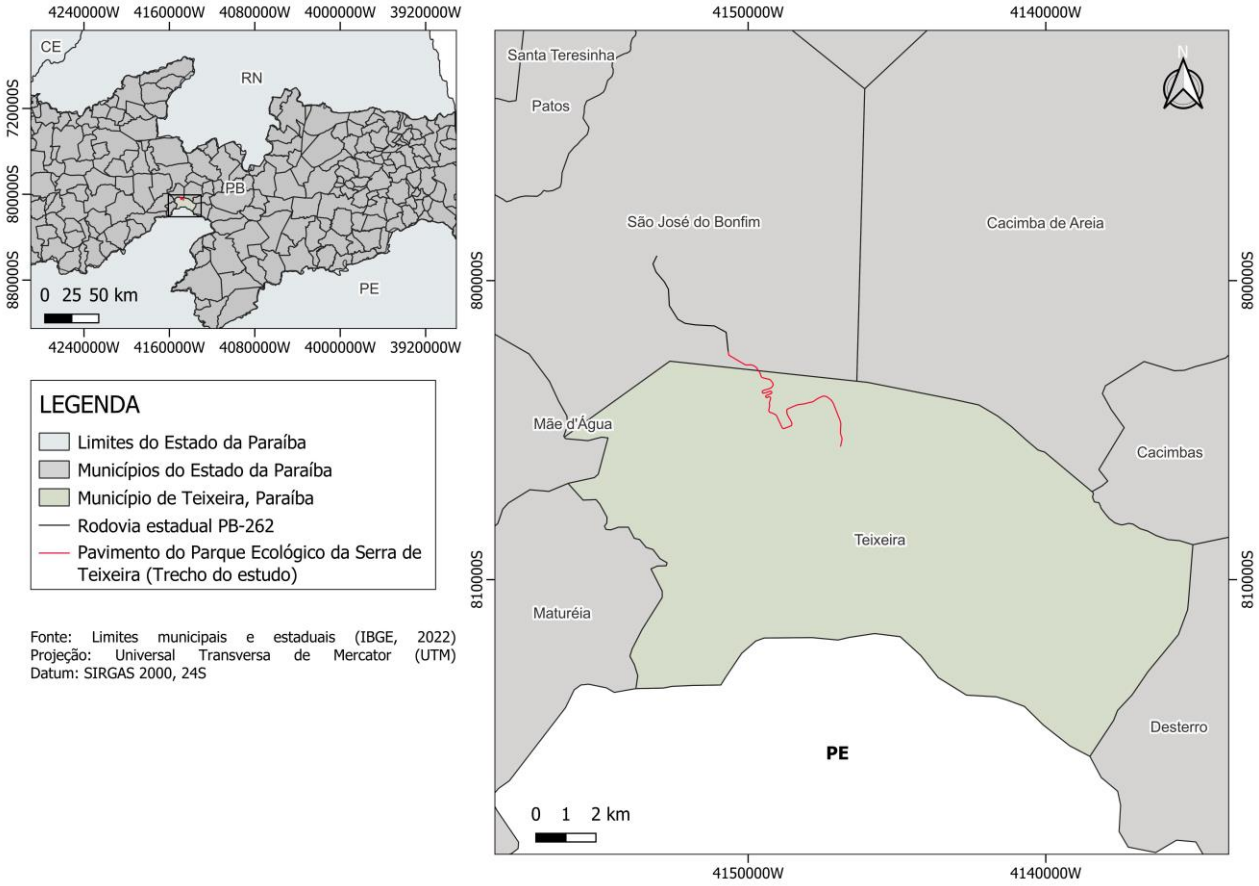

FIGURA 1: Área de estudo da pesquisa.
FONTE: Autoria Própria.

A serra do Teixeira exibe em seu perfil elevações com altitudes médias de 700 metros. Esta região montanhosa, localizada nos limites com o estado de Pernambuco, funciona como uma divisão natural para os afluentes das bacias Piranhas-Açu, do São Francisco e do Paraíba, respectivamente. A vegetação predominante é caracterizada pela mata serrana, contendo elementos tanto da mata úmida como da caatinga brasileira (Sinimbu, 2023).

Devido à importância socioeconômica da Serra do Teixeira, o Governo Federal, por meio do decreto n° 11.552 (05 de junho de 2023), criou o Parque Nacional da Serra do Teixeira (PNST). Nesse contexto, o PNST ficou definido como uma região geográfica dedicada à conservação da natureza,

abrangendo áreas principais de doze munícipios brasileiros, em especial do município de Teixeira (Brasil, 2023a).

3.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO SITUACIONAL DO TRECHO DA RODOVIA PB-262

A metodologia foi dividida em três etapas principais: (1) pesquisa bibliográfica; (2) coleta de dados, e (3) avaliação do estado situacional do trecho da rodovia PB-262. A revisão inicial foi feita com base nas normas do DNIT e literatura específica. Em seguida, o levantamento de dados incluiu imagens capturadas com o drone DJI Mini 2 em três pontos distintos da rodovia PB-262, cobrindo 9 km de extensão. Por fim, o IGG foi calculado utilizando-se fórmulas padronizadas para quantificar a condição situacional do pavimento. Para tanto, o esquema metodológico adotado pelo estudo é apresentado pela Figura 2.

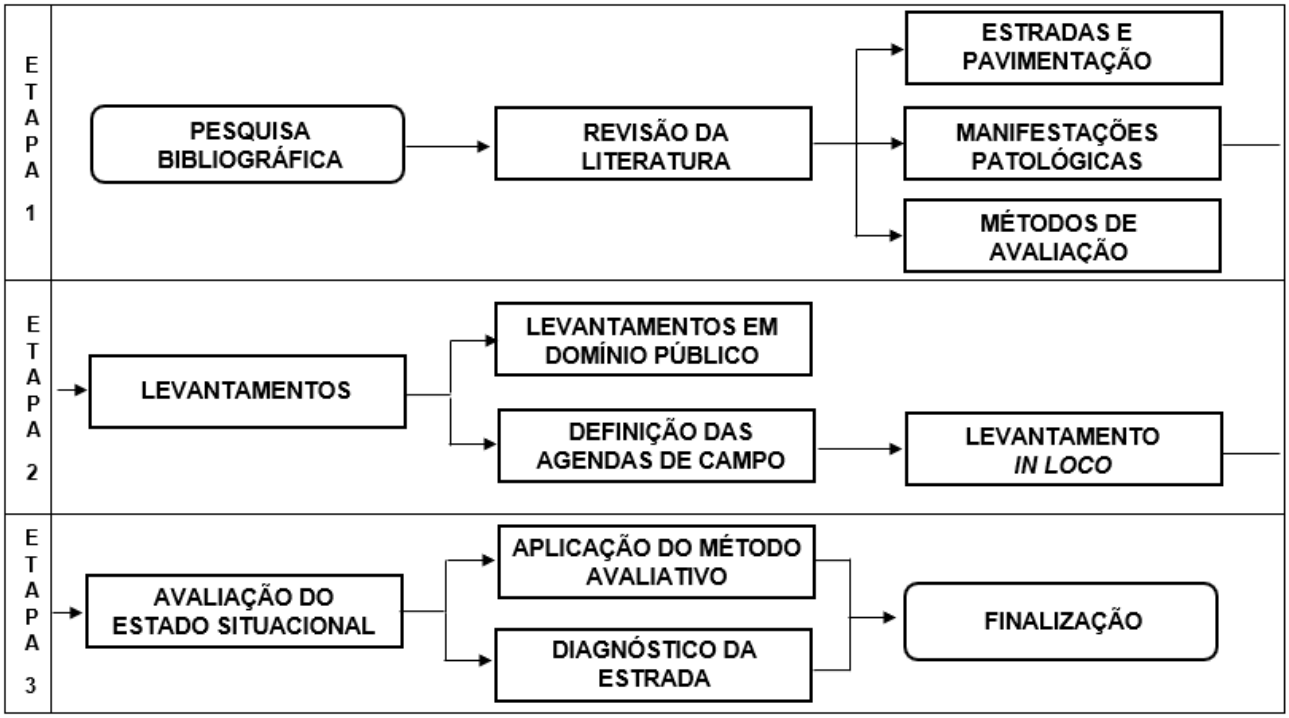

FIGURA 2: Programa metodológico do estudo.
FONTE: Autoria Própria.

Nas seções abaixo, serão detalhadas as etapas que compõem o estudo em questão, proporcionando uma visão estruturada e organizada dos procedimentos adotados ao longo da investigação.

3.2.1 Pesquisa bibliográfica

A etapa inicial do estudo consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica detalhada, fundamental para embasar teoricamente o levantamento das manifestações patológicas e a análise dos danos no pavimento da rodovia PB-262. Para isso, foram realizadas revisões sistemáticas de literatura, utilizando fontes acadêmicas renomadas, como Scientific Electronic Library Online (SciELO), Scopus e Google Acadêmico, com o objetivo de reunir informações relevantes sobre estradas, pavimentação asfáltica e metodologias de avaliação da infraestrutura viária. O processo incluiu a seleção e leitura crítica de livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses, permitindo a identificação dos principais métodos utilizados para a avaliação de rodovias e patologias em pavimentos asfálticos.

Além disso, a pesquisa bibliográfica contemplou a análise de normas técnicas específicas, como a DNIT 005/2003 e DNIT 006/2003, que estabelecem diretrizes para avaliação e classificação das condições dos pavimentos rodoviários no Brasil. Essas normas foram essenciais para a definição do método avaliativo

mais adequado ao estudo, resultando na escolha do Índice de Gravidade Global (IGG), um dos métodos mais utilizados para mensurar o estado de conservação de rodovias.

Outro aspecto relevante foi a consideração das características geográficas da região da Serra do Teixeira, onde está localizado o trecho da PB-262 analisado. A rodovia atravessa uma área de relevo acidentado, com altitudes médias elevadas e vegetação típica de regiões de transição entre o semiárido e a caatinga. A presença de declividades acentuadas e a dificuldade de acesso a determinados trechos justificaram a utilização de drones como ferramenta auxiliar na inspeção da via.

Ao término dessa etapa, foi elaborado um catálogo de materiais bibliográficos, organizando as principais referências que subsidiaram o estudo e consolidando o embasamento técnico necessário para as análises subsequentes. A seleção criteriosa do método de avaliação e a adoção de tecnologias avançadas para coleta de dados foram determinantes para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos.

3.2.2 Coleta de dados

A segunda etapa do estudo abrangeu dois procedimentos fundamentais para a análise da rodovia PB-262 no trecho da Serra do Teixeira: o levantamento documental e a pesquisa de campo.

O levantamento documental consistiu na busca por informações públicas e técnicas acerca da infraestrutura da estrada, realizadas por meio de consultas a bases de dados e acervos documentais disponíveis em sites de domínio público. Essa etapa foi essencial para compreender as características construtivas da rodovia, identificar eventuais registros de manutenção e avaliar estudos anteriores relacionados à sua pavimentação e estado de conservação. Os dados coletados foram extraídos de fontes como relatórios técnicos de órgãos governamentais, normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), artigos científicos e outras publicações especializadas. O material obtido serviu como suporte para a definição dos parâmetros técnicos que orientaram a avaliação prática do pavimento.

A pesquisa de campo foi conduzida com o objetivo de aplicar o método do Índice de Gravidade Global (IGG), que permite uma análise do estado situacional do pavimento ao longo de grandes extensões, como o trecho da Serra do Teixeira, com aproximadamente 9 km de comprimento. Para viabilizar essa avaliação, foi necessário realizar um levantamento técnico detalhado por meio de tecnologia avançada de captura de imagens. O uso de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) foi adotado como ferramenta estratégica para obtenção e processamento de imagens, proporcionando uma visualização precisa das condições do pavimento e facilitando a identificação de manifestações patológicas, como fissuras, buracos e deformações.

O equipamento utilizado foi um drone DJI Mini 2, capaz de capturar imagens e gravar vídeos em resolução 4K, equipado com um sensor de 12 MP. Esse modelo foi escolhido devido à sua capacidade de operar em altitudes elevadas, suportando até 4000 metros acima do nível do mar, tornando-o adequado para a geografia acidentada da região da Serra do Teixeira. O modelo de drone utilizado no estudo é apresentado na Figura 3.

FIGURA 3: Drone utilizado para obtenção de imagens (modelo DJI mini 2).
FONTE: DJI Fly (2025).

Durante a fase de testes qualitativos, foram realizadas análises para definir a altitude ideal para a captura das imagens. Para tanto, o planejamento de voo do drone foi estruturado para cobrir toda a extensão do trecho estudado de maneira eficiente. Para isso, foram definidos três pontos estratégicos de operação ao longo da serra, garantindo a captura de imagens em diferentes seções da rodovia. Cada levantamento abrangeu aproximadamente três quilômetros, sendo realizadas coletas no início, no meio (incluindo áreas íngremes) e no final do trecho analisado.

Os levantamentos fotogramétricos foram conduzidos em duas etapas distintas. A primeira etapa consistiu na realização de levantamentos preliminares em cada um dos três trechos da rodovia, com o objetivo de determinar as alturas ideais de voo e realizar os ajustes necessários para otimizar a captação de imagens. Essa fase inicial foi essencial para calibrar os parâmetros técnicos e garantir a eficácia do processo.

Na segunda etapa, foi realizado o levantamento completo de cada trecho, aplicando os ajustes definidos anteriormente para obter um mapeamento detalhado e preciso das condições do pavimento. A coleta de dados ocorreu ao longo do mês de outubro de 2023, seguindo um cronograma rigoroso que assegurou a cobertura integral do trecho rodoviário analisado. O cronograma de atividades utilizado no estudo é apresentado na Tabela 1.

TABELA 1: Cronograma de levantamentos fotogramétricos

Etapas	Data	Horário	Detalhamento da atividade
Etapa 1	25/08/2023	06:00 – 08:00 hrs	Captura inicial, identificação de trechos críticos e ajustes de altitude no primeiro trecho de 3 km
	01/09/2023		Captura inicial, identificação de trechos críticos e ajustes de altitude no segundo trecho de 3 km
	15/09/2023		Captura inicial, identificação de trechos críticos e ajustes de altitude no terceiro trecho de 3 km
Etapa 2	06/10/2023		Levantamento completo do primeiro trecho de 3 km
	16/10/2023		Levantamento completo do segundo trecho de 3 km
	28/10/2023		Levantamento completo do terceiro trecho de 3 km

FONTE: Autoria própria.

Esse planejamento estratégico garantiu que cada etapa do levantamento fosse realizada de forma estruturada e eficiente, permitindo ajustes técnicos precisos e a captação de imagens detalhadas para a análise das condições do pavimento ao longo dos 9 km de serra os quais compreendiam a rodovia PB-262. Com base nesses testes, foi estabelecida uma altura média padrão de 8 metros, garantindo a obtenção de imagens nítidas e detalhadas do pavimento, sem comprometer a precisão dos dados coletados.

3.2.3 Avaliação do estado situacional

Para avaliação do estado situacional da infraestrutura rodoviária da serra do Teixeira (9km de extensão) foi imperativo a utilização de um método avaliativo que promovesse facilidade e urgência dos resultados, bem como segurança na aplicação, tendo em vista que é um trecho rodoviário com alto índice de acidentes (Antero, 2017; Galdino, 2021).

Considerando esses fatores, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) propõe um método padronizado para a avaliação de manifestações patológicas e da condição geral das infraestruturas rodoviárias. Neste trabalho, as diretrizes brasileiras para a avaliação de infraestruturas de transporte rodoviário, especificamente as normativas DNIT 005/2003 e DNIT 006/2003, foram utilizadas como referência (DNIT, 2003a; 2003b).

Por se tratar de uma rodovia com rodagem simples (apenas um eixo central) o método de avaliação compreende a análise nas duas vias da rodovia em questão. Segundo a normativa do DNIT

006/2003, as superfícies a serem avaliadas, em estradas com rodagem simples, como é o caso do trecho da PB-262, foram localizadas com uma variação a cada 20m tendo como base o eixo da pista de rolamento.

A avaliação dos danos no pavimento foi conduzida por meio de levantamentos fotogramétricos, os quais foram posteriormente analisados e representados em mapas de danos, gerados para cada estação demarcada ao longo da via. Para o processamento das imagens capturadas, utilizou-se o software Quantum GIS (QGIS), uma ferramenta amplamente reconhecida e utilizada para análise e visualização de dados geoespaciais. O QGIS foi empregado especialmente para realizar a georreferência das imagens, o que facilitou a integração dos dados e possibilitou uma análise espacial precisa das áreas afetadas.

No que tange aos critérios utilizados para a análise das manifestações patológicas, adotou-se a norma DNIT 005/2003, que estabelece diretrizes técnicas para a avaliação de defeitos em pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Essa norma assegurou que as patologias fossem analisadas com a precisão necessária, conforme as especificações técnicas adequadas para cada tipo de defeito identificado, permitindo uma classificação rigorosa e detalhada das condições do pavimento.

No que se refere à criação dos mapas de danos, foi adotada a metodologia proposta por Tinoco (2009), onde cada segmento analisado foi cuidadosamente mapeado, utilizando uma representação gráfico-fotográfica que detalha e ilustra todas as manifestações de degradação identificadas no pavimento. É importante ressaltar que o mapa de danos, conforme a literatura, deve ser diferenciado do mapeamento de danos. O primeiro é um documento visual que resume os achados das análises sobre as mudanças estruturais e funcionais nos pavimentos, enquanto o segundo diz respeito ao processo de investigação que envolve a coleta de dados, servindo como fundamento para a elaboração do mapa mencionado. O modelo de mapa de danos utilizado é apresentado na Figura 4.

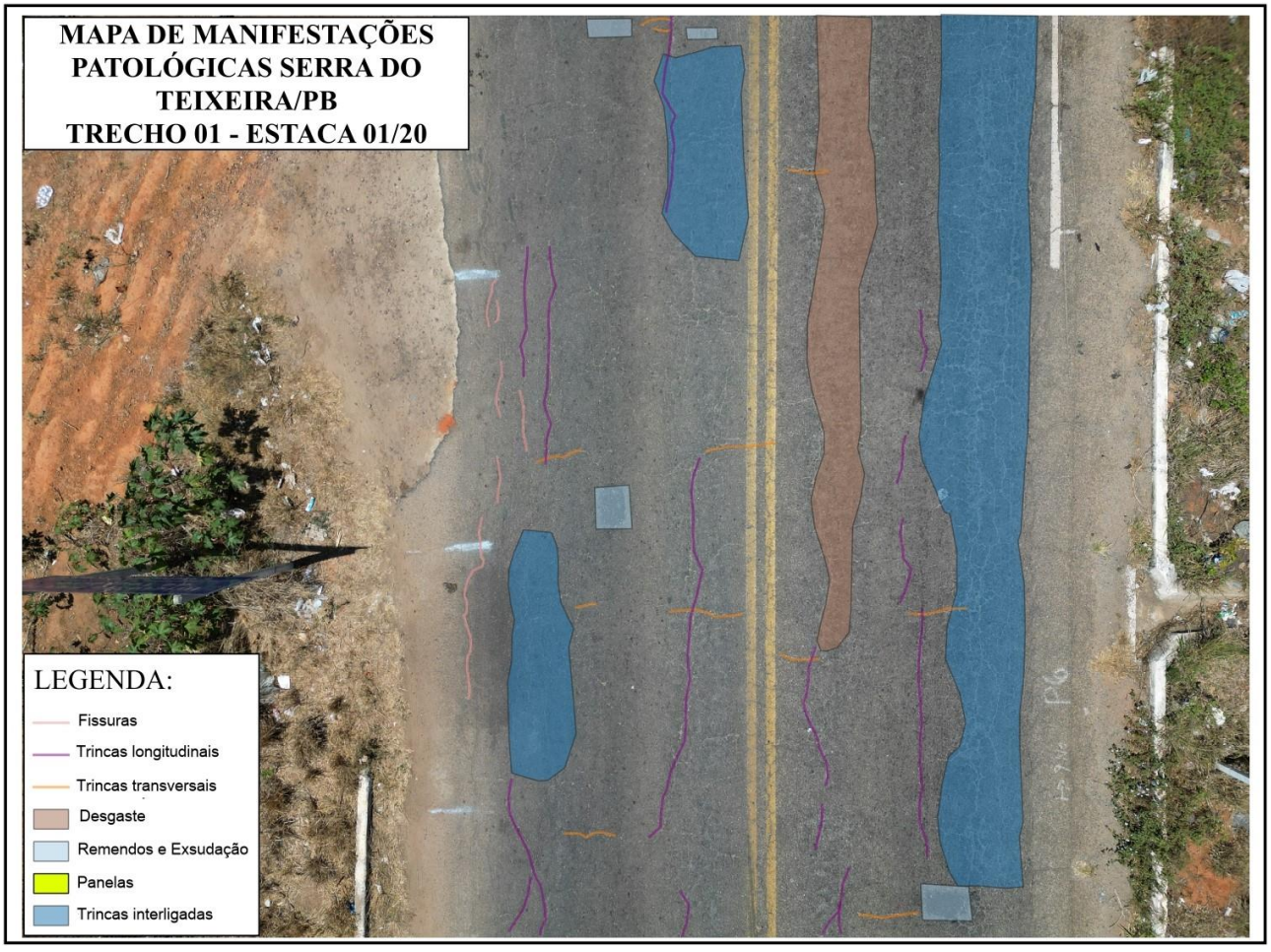

FIGURA 4: Modelo de mapa de danos utilizado pelo estudo.
FONTE: Autoria própria.

Nesse contexto, para cada um dos danos inventariados foi calculado um Índice de Gravidade Individual, o qual pode ser definido a partir da Equação 1.

$$IGI = f_{re} \times f_{pon} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:
IGI = Índice de Gravidade Individual;
fre = frequência relativa;
fpon = fator de ponderação.

Inicialmente, determinou-se a frequência absoluta para cada manifestação patológica, a qual representa o quantitativo de danos inventariados. Em seguida, determinou-se a frequência relativa, calculada conforme Equação 2.

$$f_{re} = \frac{f_{abs} \times 100}{e} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:
fre = frequência relativa;
fabs = frequência absoluta;
e = número de estações inventariadas.

Com todos os parâmetros determinados, foi possível calcular o estado situacional global conforme Equação 3.

$$IGG = \Sigma IGI \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:
IGG = Índice de Gravidade Global;
IGI = Índice de Gravidade Individual das manifestações patológicas por estação inventariada.

Ao término da aplicação do método têm-se a classificação do estado situacional do pavimento analisado. A Tabela 2 apresenta a classificação a partir da normativa do Departamento de Transportes do Brasil.

TABELA 2: Classificação do estado situacional da rodovia

Faixa de análise	Classificação
IGG entre 0 e 20	Ótimo estado situacional
IGG entre 20 e 40	Bom estado situacional
IGG entre 40 e 80	Regular estado situacional
IGG entre 80 e 160	Ruim estado situacional
IGG maior que 160	Péssimo estado situacional

FONTE: DNIT (2003).

As análises e discussões obtidas a partir dos resultados do programa metodológico estão apresentadas na seção 4 abaixo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo de obtenção das imagens, um total de três visitas de campo foram realizadas, cada uma das quais envolveu a demarcação precisa das estações que eram de interesse. Posteriormente, as imagens foram capturadas por meio da utilização de drones. Os testes realizados nas várias fases da captura de imagens demonstraram resultados consistentes e altamente valiosos. Foi devidamente observado que a altitude mais adequada para a aquisição de imagens de drones estava consistentemente na faixa de 8 a 10 metros. Esse intervalo específico provou ser o mais ideal para cumprir efetivamente os objetivos da pesquisa, pois forneceu uma resolução que foi adequadamente adaptada às características específicas do terreno que estava sendo examinado. Ao longo da extensão, um total de 425 estações foram delineadas e examinadas meticulosamente, reunindo assim um amplo e abrangente conjunto de dados para facilitar a compreensão profunda das condições predominantes do pavimento.

Tendo vistoriado aproximadamente 9km, por meio do levantamento com a ARP, foi possível analisar o estado situacional geral da rodovia da serra do Teixeira (trecho da PB-262) de forma mais rápida e segura. Foram identificadas as mais variadas manifestações patológicas, a saber: i) Fissuras (FI); ii) Trincas Transversais Curtas (TTC); iii) Trincas Transversais Longas (TTL); iv) Trincas Longitudinais Curtas (TLC); v) Trincas Longitudinais Longas (TLL); vi) Trincas de Retração (TRR); vii) Trincas “Couro de Jacaré” (J); viii) Trincas “Couro de Jacaré” com Erosão nas Bordas (JE); ix) Trincas em Bloco (TB); x) Trincas em Bloco com Erosão nas Bordas (TBE); xi) Panelas (P); xii) Exsudação (EX); xiii) Desgaste (D); xiv) Remendos (R); e xv) Outros (Ondulações e Escorregamentos).

A análise dos dados das estações inventariadas no estudo foi realizada através da produção de mapas de danos das estações, como demonstrado na Figura 5. A ocorrência mais significativa de fendas no pavimento foi identificada como fissuras, totalizando 388 estações. Essas aberturas no revestimento do pavimento são estreitas e podem estar dispostas ao longo, transversalmente ou diagonalmente em relação ao eixo da via. É importante ressaltar que essas fissuras são consideradas incipientes, pois não representam uma ameaça à integridade estrutural do pavimento nem à funcionalidade da rodovia, e, consequentemente, sua influência de ponderação na classificação situacional das rodovias é baixa nos métodos de avaliação das condições de superfície atualmente empregados (Bernucci et al., 2022; DNIT, 2003a).

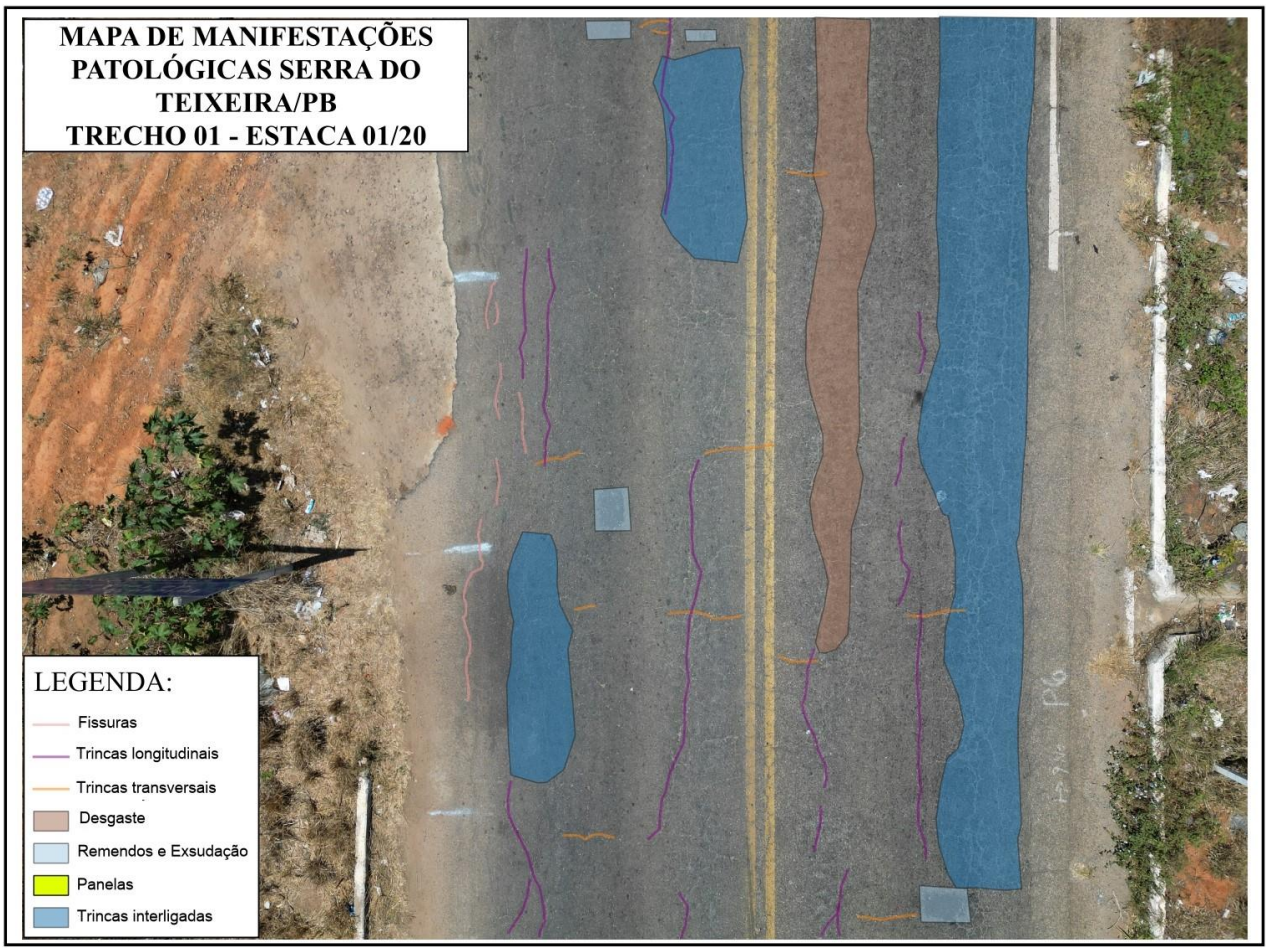

FIGURA 5: Mapa de danos da estação 01.
FONTE: Autoria própria.

Entretanto, vale destacar que o tipo de defeito 1, relacionado a fissuras de pequenas dimensões, apresentou-se como um desafio significativo em relação à sua identificação por meio da utilização de drones. Essas fissuras, devido ao seu tamanho reduzido, podem ser de difícil detecção através de imagens capturadas por drones, o que ressalta a importância de estratégias adicionais de inspeção e análise para identificá-las de maneira eficaz. No estudo realizado por Nascimento (2023), foi utilizada uma média de altitudes de 23 metros, essa particularidade fez com que os resultados do estudo ficassem aquém da média dos levantamentos quando contrastados com os resultados alcançados pelo método de caminhamento.

Ao longo da análise das imagens obtidas, uma exploração dos dados visuais tornou possível verificar uma gama diversificada de manifestações patológicas que exibiam um padrão recorrente em toda a seção examinada em estudo (Figura 6). Entre as manifestações que foram identificadas desse exame abrangente, ficou evidente que trincas isoladas ocupavam uma posição de destaque, apresentando uma infinidade de características distintas, variando de curtas a longas, transversais e longitudinais. Além disso, o processo de avaliação permitiu com sucesso a identificação de trincas interconectadas, que foram posteriormente classificadas como tipo bloco, couro de jacaré, com ou sem a presença de erosão. Além das trincas acima mencionadas, a observação meticulosa revelou a existência de outras imperfeições, manifestando-se na forma de panelas, exsudação e remendos.

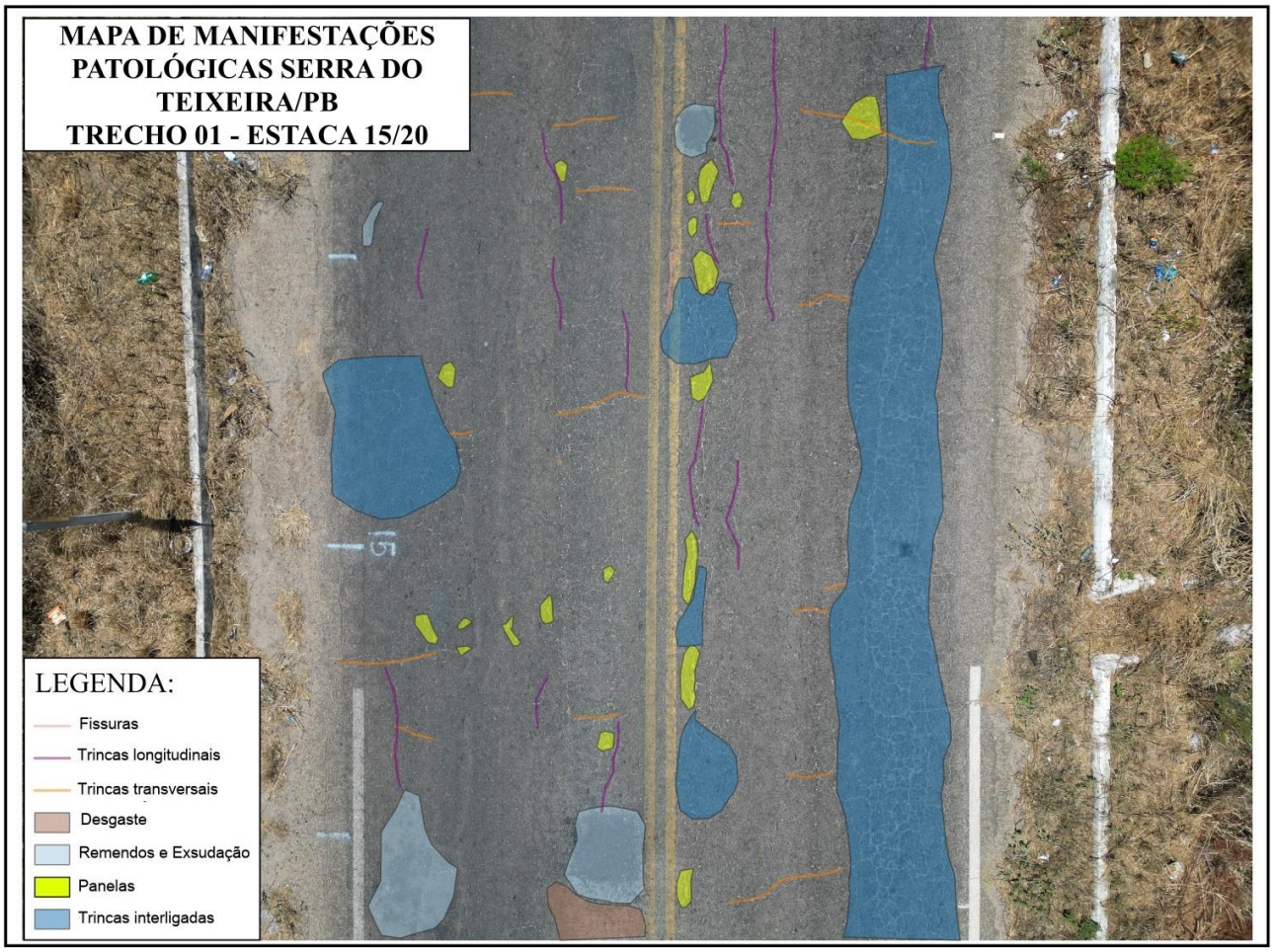

FIGURA 6: Mapa de danos da estação 15.
FONTE: Autoria própria.

Nessa perspectiva, é válido destacar que foi observada uma lacuna significativa em relação aos defeitos de menor magnitude. Isso pode ser atribuído, em grande parte, ao tamanho desses defeitos. Para Legramanti et al. (2023), a comparação entre as imagens capturadas por smartphones, por meio do levantamento por caminhamento, e as obtidas por aeronaves remotamente pilotadas imprime uma qualidade superior nas primeiras, o que pode influenciar diretamente no resultado das análises.

A inspeção das imagens capturadas durante o levantamento foi uma etapa importante do estudo. Na Figura 7, apresentada abaixo, são exibidas três manifestações patológicas distintas: i) TLL; ii) J; e iii) TB. Durante essa análise, foi observado que as trincas eram relativamente fáceis de identificar nas imagens, especialmente aquelas que estavam interligadas, como no caso das trincas do tipo J e TB. Mesmo as trincas isoladas, quando curtas, geralmente podiam ser identificadas sem dificuldades, embora, em alguns casos, fosse necessário utilizar o zoom para uma confirmação mais precisa.

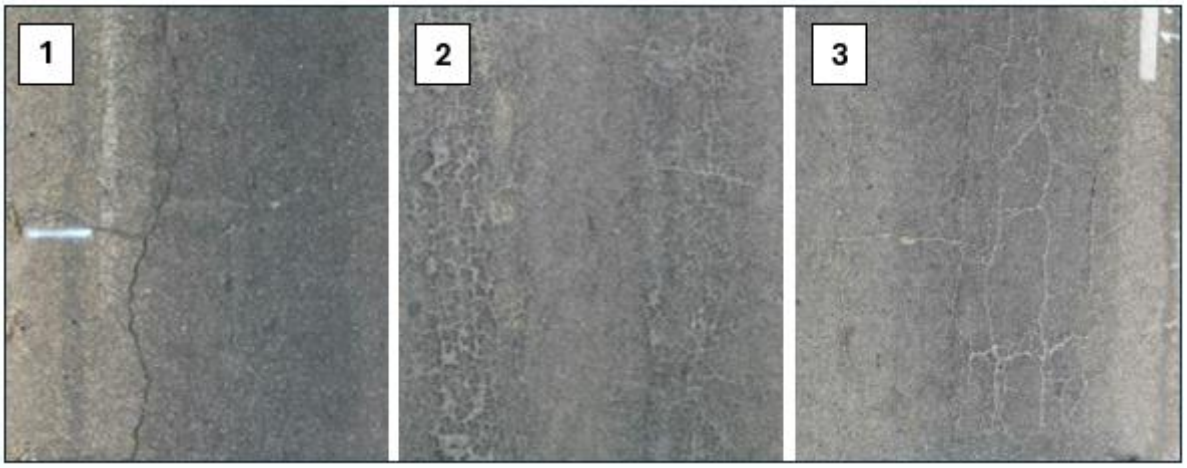

FIGURA 7: Aspectos visuais de manifestações patológicas – (1) Trinca longitudinal longa; (2) trinca couro de jacaré; e (3) trinca tipo bloco.
FONTE: Autoria própria.

Outras manifestações patológicas que se mostraram relativamente fáceis de identificar foram as exsudações, os remendos e as panelas, como evidenciado na Figura 8. No caso da exsudação e dos remendos, sua identificação foi facilitada pela nítida diferença de cores entre esses defeitos e o pavimento original da via. Essa distinção visual permitiu uma rápida identificação dessas imperfeições, contribuindo para uma análise precisa das condições do pavimento. Quanto às panelas, sua identificação foi igualmente descomplicada, uma vez que as depressões se destacam claramente nas imagens captadas pelo drone.

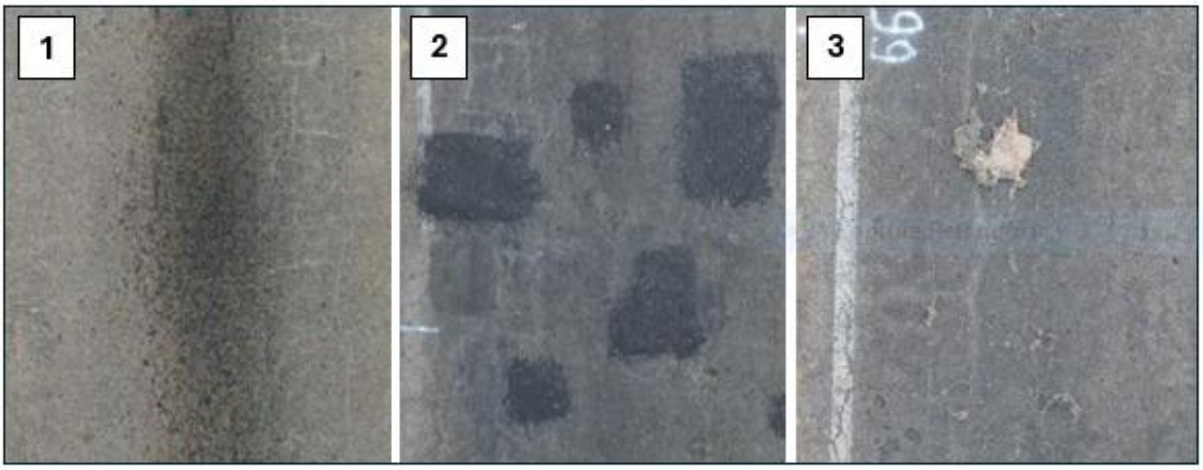

FIGURA 8: Aspectos visuais de manifestações patológicas – **(1)** Exsudação (1); (2) remendos; e (3) panela.
FONTE: Autoria própria.

Sobre os obstáculos encontrados, a identificação de afundamentos revelou-se uma tarefa mais desafiadora. Diversos fatores podem contribuir para essa dificuldade, sendo plausível considerar que a rodovia, de fato, pode apresentar uma frequência menor desse tipo específico de manifestação patológica. Outra possibilidade é que a complexidade na identificação dos afundamentos pode ser resultado da natureza das imagens de drone utilizadas, as quais foram feitas de uma perspectiva plana. Afundamentos, por sua própria natureza, podem ser mais sutilmente perceptíveis quando observados de uma vista em perspectiva, algo que as imagens aéreas planas do drone podem não capturaram com a mesma clareza.

Para Lázaro et al. (2022), o processo de diagnostico de danos por meio de imagens de drones é uma tarefa ágil a depender das condições e características do equipamento utilizado. Uma tarefa desafiadora é analisar danos que possuem características tridimensionais, sendo necessárias estratégias computacionais ou métodos de análise mais sofisticados, como por exemplo a utilização de sensores infravermelhos. No estudo conduzido pelos pesquisadores, ao examinar visualmente as imagens adquiridas pelos sensores NIR e RGB no tocante a detectação das anomalias rodoviárias usando o sensor infravermelho, fica claro o quão crucial é a transferência de informações para um diagnóstico detalhado dos danos no pavimento. Por outro lado, os dados que combinam todas as três faixas de cores oferecem um resultado mais preciso, o que simplifica o processo de diagnóstico mais eficaz das anomalias presentes nas faixas de rodagem das estradas, por vezes dispensando a necessidade de ajustar altitudes ou o próprio processo de investigação no local.

Outra limitação com o uso de drones para levantamentos em rodovias são os desafios em ambientes com vegetação densa ou influência de rochas no curso rodoviário a ser analisado. No estudo em questão, sessenta e uma (61) imagens obtidas com o levantamento tiveram interferência, os quais precisaram ser analisadas a partir do levantamento por caminhamento. Os trechos de início e fim do pavimento mostram-se com menos interferências, já o trecho mais montanhoso (centro) do pavimento da Serra do Teixeira se mostrou com maior incidência de vegetação e rochas.

Nesse contexto, em regiões onde a cobertura vegetal é abundante e alta, as árvores e suas sombras podem prejudicar a visibilidade do drone, comprometendo a qualidade e a precisão das imagens capturadas (Parente, Felix e Picanço, 2017). Diante desse desafio, torna-se crucial avaliar a viabilidade do uso do drone e considerar alternativas. No contexto do estudo em questão, a presença de interferências de vegetação embora evidenciada, a etapa de levantamentos por caminhamento permitiu suprir a defasagem.

A próxima etapa consistiu no cálculo do fator algébrico global do pavimento para determinação da condição situacional do pavimento da Serra do Teixeira (PB-262). A partir da frequência absoluta de manifestações patológicas inventariadas no levantamento in loco foi possível determinar o IGG do pavimento rodoviário da serra do Teixeira. Manifestações patológicas como fendas (fissuras, trincas longitudinais, transversais e interligadas), desgaste, remendos, exsudação e panelas tiverem um índice recorrente ao longo de todas as estações.

O resultado obtido do índice de Gravidade do estado situacional do pavimento asfáltico da Serra do Teixeira foi de 197,88, revelando uma situação preocupante para a condição da rodovia. Ao ultrapassar o limiar de 160, a classificação atribuída é considerada como estado péssimo (DNIT, 2003b). Essa constatação evidencia a presença significativa de manifestações patológicas ao longo do trecho, identificadas por meio das imagens captadas pelo drone durante o levantamento. A Tabela 3 apresenta a planilha que foi utilizada para realizar o cálculo do IGG, fornecendo uma visão detalhada dos dados analisados e dos resultados obtidos.

TABELA 3: Cálculo do IGG para o trecho da rodovia da Serra do Teixeira (PB-262)

Manifestação patológica	Fabs	Fre	Fpon	IGI
FI	388,00	91,29	0,20	18,26
TTC	297,00	69,88	0,20	13,98
TTL	107,00	25,18	0,20	5,04
TLC	263,00	61,88	0,20	12,38
TLL	198,00	46,59	0,20	9,32
TRR	66,00	15,53	0,20	3,11
J	86,00	20,24	0,50	10,12
JE	42,00	9,88	0,80	7,91
TB	55,00	12,94	0,50	6,47
Manifestação patológica	**Fabs**	**Fre**	**Fpon**	**IGI**
TBE	19,00	4,47	0,80	3,58
ALP	0,00	0,00	0,90	0,00
ATP	0,00	0,00	0,90	0,00
ALC	0,00	0,00	0,90	0,00
ATC	0,00	0,00	0,90	0,00
O	7,00	1,65	1,00	1,65
P	126,00	29,65	1,00	29,65
E	16,00	3,76	1,00	3,76
EX	164,00	38,59	0,50	19,29
D	326,00	76,71	0,30	23,01
R	215,00	50,59	0,60	30,35
e	425		**IGG**	197,88

FONTE: Autoria própria.

A comparação com a pesquisa de rodovias de 2023 (Brasil, 2023b) revela uma concordância significativa com relação à avaliação geral do pavimento, embora haja uma pequena divergência no que diz respeito à classificação. Enquanto a pesquisa da CNT classificou a via PB-262 como ruim em sua totalidade quanto ao pavimento, este estudo focado no trecho da serra a classificou como péssima. Essa divergência pode ser atribuída à diferença na abordagem de avaliação entre os dois estudos. Portanto, a pesquisa de rodovias de 2023 avaliou a via PB-262 como um todo, agrupando diferentes trechos e condições do pavimento e o estudo desse artigo concentrou-se especificamente no trecho da serra, o que pode ter permitido uma análise mais detalhada e precisa das condições específicas dessa parte da rodovia.

Ao término do levantamento, tornou-se evidente que a etapa mais desafiadora e exigente foi a demarcação das estações ao longo do extenso trecho. Dito isso, a equipe enfrentou complexidades consideráveis ao realizar essa tarefa, sendo essa dificuldade diretamente proporcional à magnitude do território em estudo. Entretanto, o estudo poderia ter apresentado empecilhos na esfera logística de levantamentos in loco ou até se prolongado, pois a aplicação comum do Índice de Gravidade de rodovias é

realizada em campo sem o auxílio de imagens. Como destacado por Legramani et al. (2023) o uso adequado de drones para essa avaliação oferece economia de tempo e maior segurança na avaliação das patologias em pavimentos asfálticos.

Nesse contexto, o método atual do estudo demandou três visitas em campo para percorrer os 9 quilômetros de extensão, envolvendo uma equipe de quatro técnicos. Durante as visitas, o procedimento consistia em marcar as estações e prosseguir para a próxima, o que otimizou consideravelmente o tempo de execução. Se esse método fosse realizado sem o uso de imagens em campo, cada estação marcada exigiria uma análise detalhada no local, o que resultaria em um aumento significativo no tempo necessário para completar o levantamento. Essa abordagem teria sido ainda mais trabalhosa e demorada, demandando recursos adicionais e prolongando a conclusão da avaliação do pavimento.

Dessa forma, a introdução de tecnologias inovadoras, como Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), na inspeção de infraestruturas representa uma mudança significativa na prática tradicional da construção civil. Como destacado por Vale e Lordsleem Jr. (2022), o uso de drones proporciona benefícios como redução de tempo e custo associados à obtenção de imagens, além de uma maior eficiência no processo de inspeção.

5. CONCLUSÕES

Em síntese, o uso do drone revelou-se uma estratégia eficaz para o levantamento rodoviário, proporcionando resultados satisfatórios. Isso ocorre porque, além da significativa economia de tempo em campo, essa tecnologia permite a análise remota das imagens capturadas, o que amplia as possibilidades de avaliação e planejamento. Nesse contexto, a capacidade dos drones de cobrir grandes extensões de rodovias com rapidez e precisão torna essa abordagem ainda mais vantajosa, tendo em vista a qualidade das imagens obtidas, a qual possibilita uma detecção detalhada das condições do pavimento. Dessa forma, o elevado número de manifestações patológicas identificadas evidencia a eficácia dessa tecnologia na avaliação de danos superficiais e reforça o potencial uso de drones como ferramentas auxiliares na gestão e manutenção de rodovias.

Apesar dos benefícios evidentes, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas para aperfeiçoamento futuro. A dependência das condições climáticas para a operação dos drones é um fator crítico, visto que chuvas, ventos fortes e baixa visibilidade podem comprometer a captura de imagens. Além disso, a presença de vegetação densa pode obstruir a visibilidade do pavimento, exigindo técnicas complementares, como o uso de sensores LiDAR ou processamento avançado de imagens para mitigar tais problemas. Outro aspecto relevante é a necessidade de equipamentos e treinamento especializados para operação adequada dos drones e interpretação das imagens capturadas, o que pode representar um desafio para sua ampla adoção em levantamentos rotineiros. A análise conduzida focou principalmente nas manifestações patológicas superficiais, deixando uma lacuna em relação à investigação estrutural do pavimento, o que demandaria métodos complementares, como sondagens e uso de georradar. Para superar essas limitações, sugere-se que pesquisas futuras explorem a integração de tecnologias avançadas, como algoritmos de inteligência artificial para a detecção automatizada de danos, bem como estudos comparativos entre drones e métodos convencionais para validação da eficiência dessa abordagem. Além disso, recomenda-se a ampliação dos estudos para diferentes tipos de pavimentos e contextos geográficos, bem como a elaboração de diretrizes normativas para regularização do uso de aeronaves remotamente pilotadas na indústria da pavimentação.

As considerações sobre a identificação desafiadora de afundamentos sugerem a necessidade de aprimoramentos de estratégias ao fazer as imagens de drone, ressaltando a importância de vistas em perspectiva para detecção mais precisa em casos que possuem afundamentos. Além disso, as limitações em

ambientes com vegetação densa reforçam a importância de avaliar a viabilidade do uso desse método dependendo da região e considerar alternativas em tais contextos. No contexto específico do estudo, a interferência vegetal foi mínima e não causou problemas graves para a avaliação. Essas reflexões sublinham a importância de reconhecer as limitações técnicas, enfatizando a necessidade de estratégias adaptativas e conhecer a região para otimizar o levantamento em ambientes diversos.

Em conclusão, as lições aprendidas a partir deste estudo ressaltam a importância da escolha cuidadosa das metodologias para alcançar resultados mais precisos e eficientes em projetos futuros. A avaliação sistemática de pavimentos e a compreensão detalhada do estado da rodovia desempenham um papel fundamental na gestão eficaz da infraestrutura viária. A utilização de tecnologias avançadas, como drones, mostrou-se valiosa ao oferecer uma visão abrangente e detalhada das condições do pavimento, além de proporcionar agilidade nos registros avaliativos de infraestruturas rodoviárias.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio financeiro do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) para realização da pesquisa e pagamento das bolsas aos discentes, por meio do edital Interconecta n° 07/2023. À Diretoria de Pesquisa – PRPIPG e à Coordenação de Pesquisa do campus Patos pelo suporte.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antero, J. **Caminhoneiro morre em acidente na Serra do Teixeira**. Folha Patoense [Online], 2017. Disponível em: http://www.folhapatoense.com/2017/05/28/camionheiro-morre-em-acidente-na-serra-do-teixeira/. Acessado em: 19 de maio de 2024.

ARHIN, S. A.; WILLIAMS, L. N.; RIBBSON, A.; ANDERSON, M. F. **Predicting pavement condition index using international rough-ness index in a dense urban area**. Journal of Civil Engineering Research, Vol. 25, n. 2, 2015, 10-17 p.

AYACH, L. R.; SOUZA, I. M. de; SILVA, J. F. **O planejamento das unidades de conservação a partir das bacias hidrográficas: uma análise da área de proteção ambiental da estrada Parque Piraputanga, estado de Mato Grosso do Sul**. Revista Ciência Geográfica, v. 23, n. 2, 2019, 390-409 p.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. DA; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica Formação básica para engenheiros.** 2. ed. ABEDA, Rio de Janeiro, RJ, 2022.

BLUMENBERG, C.; MARTINS, R. C.; COSTA, J. C.; RICARDO, L. I. C. **Is Brazil going to achieve the road traffic deaths target? An analysis about the sustainable development goals**. BMJ Journals Inj. Prev., Vol. 24, n. 1, 2018, 250–255 p.

BOYAPATI, B.; KUMAR, R. P. **Prioritisation of pavement maintenance based on pavement condition index**. Indian Journal of Science and Technology, Vol. 8, n. 14, 2015, 1–5 p.

BRASIL, Confederação Nacional do Transporte: **Pesquisa CNT de rodovias 2017**. Brasília, 2017.

_____ **Pesquisa CNT de rodovias**. Brasília, 2023b.

_____ Diário Oficial da União: **Decreto n° 11.552 de 05 de junho de 2023**. Brasília, 2023a.

CHEN, W.; YUAN, J.; LI, M. **Application of GIS/GPS in Shangai Airport pavement management system**. Procedia Engineer, Vol. 29, n. 1, 2012, 2322-2326 p.

CORAZZA, M. V.; DI MASCIO, P.; MORETTI, L. **Managing sidewalk pavement maintenance: a case study to increase pedestrian safety**. Journal of Traffic and Transportation Engineering, Vol. 3, n. 3, 2016, 203–214 p.

CUNHA, M. C.; SANTOS, R. V.; CRUZ, A. A. **Levantamento das medidas de manutenção aplicado nas estradas rurais na bacia do Rio das Pedras**. Caderno de Geografia, Vol. 24, n. 42, 2014, 124-138 p.

DJI FLY. **Imagens profissionais Dji**. Dji fly [Online], 2023. Disponível em: https://www.dji.com/br/dji-fly. Acessado em: 15 de maio de 2024.

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

_____ Norma DNIT 006/2003 – PRO: **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003b.

GALDINO, V. **Motorista consegue sair ileso após acidente registrado nesta segunda-feira na serra do Teixeira**. Teixeira em foco [Online], 2021. Disponível em: https://teixeiraemfoco.com/noticia/938/motorista-consegue-sair-ileso-apos-acidente-registrado-nesta-segunda-feira-na-serra-do-teixeira. Acessado em: 17 de maio de 2024.

GASPAR, M. A. V.; PINHEIRO, J. G. L. **Estudo descritivo das principais patologias encontradas em pavimentações asfálticas de estradas de rodagem**. Episteme Transversalis, Vol. 12, n. 3, 2021, 245-271 p.

KIRBAS, U.; KARASAHIN, M. **Determination of pavement performance theresholds for confortable riding on urban roads**. Journal of Testing and Evaluation, Vol. 1, n. 47, 2018, 57-77 p.

LÁZARO, B. de O.; CHUERUBIM, M. L.; RIBEIRO, R. L.; RIBEIRO, Y. M. de; TRISTÃO, M. V. de O. **Avaliação das condições de superfície de pavimentos urbanos com o auxílio de ferramentas de análise espacial**. Transportes, Vol. 30, n. 1, 2022, 1-17 p.

LEGRAMANTI, G.; DUARTE, R. D.; GOMES JR., E. V.; DALLAGNOL, S. L.; BISCONSINI, D. R.; FELIPETTO, H. dos S.; MORAES, L. de. **Supervised classification of pathologies in asphalt pavements surface from a Remote Piloted Aircraft**. Revista ALCONPAT, Vol. 13, n. 3, 2023, 271–285 p.

LESSA, D. A.; LOBO, C.; CARDOSO, L. **Accessibility and urban mobility by bus in Belo Horizonte / Minas Gerais – Brazil**. Journal of Transport Geography, Vol. 77, n. 10, 2019, 1–10 p.

LISBOA, D. W. B.; SILVA, A. B. S. da; SOUZA, A. B. A. de; BARROSO, E. S. C. **Utilização do VANT para inspeção de segurança na construção de uma avenida em Belém-PA**. In OLIVEIRA, A. C. de (ed.) Impactos das tecnologias na engenharia civil. Antena Editora, Ponta Grossa, PR, 2019.

LI, Y.; HUANG, J. **Safety impact of pavement conditions**. Transportation Research Record, Vol. 1, n. 2455, 2014, 77-88 p.

MIGLIORIN, V.; SILVA, M. M. P. da; TAPAHUASCO, W. F. C. **Estudo das patologias das estradas rurais do município de Alegrete/RS**. In: Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Sant'Ana do Livramento, RS, Brasil, 2019.

MORGENTHAL, G.; HALLERMANN, N. **Quality assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based visual inspection of structures**. Advances in Structural Engineering, Vol. 17, n. 3, 2016, 289-302 p.

NASCIMENTO, J. S. do. **Identificação e análise dos defeitos do pavimento através de imagens com drone.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE, 2023.

PARENTE, D. C.; FELIX, N. C.; PICANÇO A. P. **Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de patologia superficial em pavimento asfáltico**. Revista ALCONPAT, Vol. 7, n. 2, 2017, 160-171 p.

PRINCE, G. B. **Investigation of the possible applications of drone-based data acquisition for the development of road information.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculty of Automotive Engineering, University of Applied Sciences Zwickau, Alemanha, Zwickau, 2023.

ROCHA, L. B. de O.; MAGRI, R. A. F.; PEREIRA, T. C. de F. K. **Avaliação das condições de trafegabilidade e impactos ambientais de uma estrada não pavimentada situada no sudoeste de Minas Gerais, Brasil**. Research, Society and Development, Vol. 10, n. 3, 2021, 1-16 p.

ROESSING, A. C.; GUIMARÃES, M. de F.; TELLES, T. S. **The transport infrastructure go-ahead the expansion of soybean cultivation in Brazil**. International System for Agricultural Science and Technology, Vol. 30, n. 1, 2009, 1109-1122 p.

SILVA, J. de P. da. **Aplicação do Método do IGG – Índice de Gravidade Global – Em Comparação com o Método do PCI – Pavement Condition Index – Para Determinação de Serviços de Restauração e Manutenção em um Trecho da Avenida Tupi de Pato Branco – PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2018, 80 p.

SINIMBU, F. **Parque nacional da serra do Teixeira é criado na Paraíba.** Agência Brasil [Online], 2023. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-06/parque-nacional-da-serra-do-teixeira-e-criado-na-paraiba. Acesso em: 17 de maio de 2024.

SONG, J.; YE, J.; ZHU, E.; DENG, J.; WANG, K. **Analyzing the Impact of Highways Associated with Farmland Loss under Rapid Urbanization**. International Journal Geo-Information, Vol. 5, n. 6, 2016, 1-17 p.

VALE, L. J. S. do V.; LORDSLEEM JR., A. C. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em pontes e viadutos: revisão da literatura**. In: Anais da Mostra de Extensão, Inovação e Pesquisa POLI/UPE, Recife, PE, Brasil, 2022.

VILELA, J. V.; FIALHO, M. D. A. **Análise do perfil patológico encontrado na Rua Manoel Gonçalves de Castro/Caratinga/MG pelo método IGG**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Faculdades DOCTUM de Caratinga, Caratinga, MG, 2018. 50 p.