FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO E GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

IGOR VIANA DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS POR MÉTODO PROBABILÍSTICO E INSPEÇÃO VISUAL ESPACIALIZADA COM SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (SARP).

MACAPÁ/AP
2026

IGOR VIANA DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS POR MÉTODO PROBABILÍSTICO E INSPEÇÃO VISUAL ESPACIALIZADA COM SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (SARP).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amapá.

Orientador: Profº. Me. Adenilson Costa de Oliveira

MACAPÁ/AP

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

Silva, Igor Viana da.
S586a Avaliação de estado de conservação de pavimentos flexíveis por método probabilístico e inspeção visual espacializada com sistema de aeronave remotamente pilotada (SARP) / Igor Viana da Silva. - Macapá, 2026.
1 recurso eletrônico.
76 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2026.
Orientador: Adenilson Costa de Oliveira.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Aerofotogrametria. 2. Pavimento. 3. Índice de Gravidade Global. I. Oliveira, Adenilson Costa de, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 625.85

SILVA, Igor Viana da. **Avaliação de estado de conservação de pavimentos flexíveis por método probabilístico e inspeção visual espacializada com sistema de aeronave remotamente pilotada (SARP)**. Orientador: Adenilson Costa de Oliveira. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2026.

IGOR VIANA DA SILVA

AVALIAÇÃO DE ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS POR MÉTODO PROBABILÍSTICO E INSPEÇÃO VISUAL ESPACIALIZADA COM SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (SARP).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amapá.

Data da aprovação: 13/07/2026

Banca Examinadora:

_____

Prof° Me. Adenilson Costa de Oliveira

Orientador – UNIFAP

_____

Profº. Drº. Jamil Jose Salim Neto

Examinador 1 - UNIFAP

_____

Nome Examinador 2

Examinador 2

MACAPÁ/AP

2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela dádiva de viver essa graduação. Agradeço aos meus pais seu José e dona Socorro e meu irmão Jonathan que me criaram da melhor forma que alguém poderia ser criado. Dona Socorro que fielmente todos os dias lidava com meus dissabores ao longo de toda vida, mas não desistia de me disciplinar, disciplina esta que foi fundamental para não desistir de entrar na universidade pública. Seu Zé como é conhecido, o responsável por despertar a paixão pela arte de engenhar e ver o sonho literalmente se tornar concreto. Meu irmão Jonathan que é o maior exemplo em quem se espelhar na trajetória acadêmica. Agradeço à Letícia, minha companheira que está suportando os momentos tensos na fase final de conclusão desse curso, mas compreende firmemente o meu objetivo.

Agradeço e dedico este trabalho à Universidade Federal do Amapá, ao técnico administrativo que não me abandonou nas requisições recebidas e à todos os meus professores da graduação que acreditaram em mim e performaram as melhores aulas que puderam, em especial ao meu orientador professor Adenilson Oliveira, cuja didática em sala de aula contribuiu firmemente no aprendizado além de estar se mostrar muito comprometido com o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. Faço um grande agradecimento aos examinadores da banca avaliadora, o prof. Heldio e prof. Jamil que fizeram apontamentos e sugestões de grande importância, que ajudarão na melhor contribuição do uso dos resultados deste trabalho com a comunidade acadêmica.

Agradeço especialmente aos muitos amigos e colegas feitos nesta graduação, especialmente as colegas de curso Saiara, Aline e Bárbara que foram os pilares que permitiram aliviar a quantidade de esforços que todo o peso de uma graduação causa num graduando. Meu muito obrigado

E finalmente meus agradecimentos à todas pessoas que contribuíram em qualquer grau com esse desafio. Honrei toda a fé creditada em mim e agora é hora de dizer até logo para Unifap. Vou formar!

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta uma análise aprofundada do estado de conservação do pavimento flexível da Avenida Princesa Isabel, localizada no bairro Jesus de Nazaré, em Macapá/AP. A pesquisa combina métodos tradicionais de avaliação, como o Índice de Gravidade Global (IGG), norma DNIT 006/2003, e abordagens modernas, incluindo a análise de imagens captadas por Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP). O estudo caracteriza a área de estudo, detalha a estrutura dos pavimentos flexíveis, suas camadas e os principais tipos de defeitos observados, bem como a importância da manutenção preventiva para prolongar a vida útil das vias urbanas. A abordagem metodológica busca comparar a sensibilidade e as limitações de cada método na detecção de manifestações patológicas, contribuindo para o aprimoramento dos processos de avaliação e gestão de infraestruturas viárias. Os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos para o planejamento de ações de manutenção e conservação, evidenciando que a integração entre métodos tradicionais de inspeção e tecnologias de processamento digital de imagens constitui uma abordagem eficiente, confiável e inovadora para a gestão de pavimentos urbanos.

Palavras-chave: Aerofotogrametria, Pavimento, Índice de Gravidade Global, Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada.

ABSTRACT

This undergraduate thesis presents an in-depth analysis of the conservation state of the flexible pavement on Princesa Isabel Avenue, located in the Jesus de Nazaré neighborhood, in Macapá/AP. The research combines traditional evaluation methods, such as the Global Severity Index (IGG), according to DNIT standard 006/2003, with modern approaches, including image analysis captured by Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). The study characterizes the study area, details the structure of flexible pavements, their layers, and the main defects observed, highlighting the importance of preventive maintenance to extend the lifespan of urban roads. The methodological approach aims to compare the sensitivity and limitations of each method in detecting patological manifestations, contributing to the improvement of assessment and infrastructure management processes. The results obtained provide technical support for planning maintenance and preservation activities, demonstrating that the integration of traditional inspection methods with digital image processing technologies constitutes an efficient, reliable, and innovative approach to urban pavement management.

Keywords: Aerial photogrammetry, Pavement, Global Severity Index, Remotely Piloted Aircraft System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estradas brasileiras 15
Figura 2 - Estrutura de pavimento rígido 19
Figura 3 - Estrutura de pavimento flexível 20
Figura 4 - Camadas de pavimento flexível 20
Figura 5 - Trinca isolada do tipo transversal 26
Figura 6 - Trinca isolada do tipo longitudinal 26
Figura 7 - Trinca interligada do tipo couro de jacaré 27
Figura 8 - Trinca interligada do tipo bloco 28
Figura 9 - Afundamento local 28
Figura 10 - Afundamento de trilha de roda 29
Figura 11 - Ondulação 30
Figura 12 - Escorregamento 30
Figura 13 - Defeito tipo panela ou buraco 31
Figura 14 - Exsudação 31
Figura 15 - Defeito tipo desgaste 32
Figura 16 - Defeitos diversos 33
Figura 17 - Linha de base 35
Figura 18 - Correções diferenciais 35
Figura 19 - Vista de satélite 36
Figura 20 - Posicionamento das estações 38
Figura 21 - Instrumentos utilizados 40
Figura 22 - Fluxograma de trabalho do IGG 40
Figura 23 - Sentido de avaliação e posicionamento das estações 41
Figura 24 - DJI Mavic 2 PRO 41
Figura 25 - Parâmetros de voo 42

Figura 26 - Fluxograma de operações 43
Figura 27- Estação E01 44
Figura 28 - Corrugação 1 44
Figura 29 - Corrugação 2 44
Figura 30 - Corrugação 3 44
Figura 31 - Estação E02 45
Figura 32 - Panela 45
Figura 33 - Remendo superficial 45
Figura 34 - Estação E03 46
Figura 35 - Remendo 46
Figura 36 - Panela 46
Figura 37 - Desgaste 46
Figura 38 - Estação E04 47
Figura 39 - TLL 47
Figura 40 - Desgaste 47
Figura 41 - Panela 47
Figura 42 - Estação E05 48
Figura 43 - Remendo superficial 48
Figura 44 - Estação E06 48
Figura 45 - Corrugação 48
Figura 46 - Estação E07 49
Figura 47 - Remendo 49
Figura 48 - TLL 49
Figura 49 - Estação E08 49
Figura 50 - Panela 49
Figura 51 – JE FC-3 49

Figura 52 - Estação E09.....50
Figura 53 – JE FC-3.....50
Figura 54 - Estação E10.....50
Figura 55 - Remendo 50
Figura 56 – JE FC-3.....50
Figura 57 - Estação E11.....51
Figura 58 – JE FC-3.....51
Figura 59 - Estação E12.....51
Figura 60 - Remendo 51
Figura 61 – TTC FC-3 51
Figura 62 - Estação E13.....52
Figura 63 – JE FC-3.....52
Figura 64 - Estação E14.....52
Figura 65 – TTC FC-3 52
Figura 66 – TCL FC-3 52
Figura 67 – Ortomosaico gerado 54
Figura 68 - Estação aerofotogramética E01 55
Figura 69 - Estação aerofotogramétrica E02.....56
Figura 70 - Estação Aerofotogramétrica E03.....57
Figura 71 - Estação aerofotogramétrica E04.....58
Figura 72 - Estação aerofotogramétrica E05.....59
Figura 73 - Estação aerofotogramétrica E06.....60
Figura 74 - Estação aerofotogramétrica E07.....61
Figura 75 - Estação aerofotogramétrica E08.....62
Figura 76 - Estação aerofotogramétrica E09.....63
Figura 77 - Estação aerofotogramétrica E10.....64

Figura 78 - Estação aerofotogramétrica E11 65

Figura 79 - Estação aerofotogramétrica E12 66

Figura 80 - Estação aerofotogramétrica E13 67

Figura 81 - Estação aerofotogramétrica E14 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das ocorrências de defeitos com método do IGG.....53

Tabela 2 - Resumo das ocorrências de defeitos com uso de SARP.....71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das vias romanas.....14

Quadro 2 - Histórico das estradas brasileiras.....15

Quadro 3 - Classificação e codificação dos defeitos 24

Quadro 4 - Fator de ponderação.....39

Quadro 5 - Conceito de degradação.....39

Quadro 6 - Ocorrência de defeitos IGG x SARP 69

Quadro 7 - Comparativo IGG x método espacializado 70

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AP	Amapá (Estado do Brasil)
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FA	Frequência Absoluta
FC	Fator de Correção
FP	Fator de Ponderação
IGG	Índice de Gravidade Global
MG	Minas Gerais (Estado do Brasil)
NFZ	No Fly Zone
PRO	Procedimento
RJ	Rio de Janeiro (Estado do Brasil)
RS	Remendo Superficial
SARP	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
SP	São Paulo (Estado do Brasil)
TER	Terminologia
TTC	Trinca Transversal Curta
TCL	Trinca Longitudinal Curta
TLL	Trinca Longitudinal Longa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
1.1 Objetivos 15
1.1.1 Objetivo geral 15
1.1.2 Objetivos específicos 15
1.2 **Justificativa** 16
1.3 **Problema** 17
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO 18
2.1 Classificação dos pavimentos 18
2.2 Estrutura dos pavimentos flexíveis 19
2.3 Avaliação periódica e funcional 22
2.4 Defeitos em pavimentos flexíveis 23
2.4.1 Ocorrências dos tipos 1, 2 e 3 25
2.4.2 Ocorrência do tipo 4 28
2.4.3 Ocorrência do tipo 5 29
2.4.4 Ocorrência do tipo 6 31
2.4.5 Ocorrência do tipo 7 32
2.4.6 Ocorrência do tipo 8 32
2.4.7 Diversos 33
2.5 Aerofotogrametria 33
2.5.1 Sistema global de posicionamento 34
3. METODOLOGIA 36
3.1 Caracterização da área de estudo 36
3.2 Caracterização da pesquisa 37
3.3 Aplicação do Método IGG 37
3.3.1 Instrumentação 39
3.3.2 Definição do fluxo de trabalho 41
3.4 Aplicação do método visual espacializado usando SARP 41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 44
4.1 Método Probabilístico usando IGG 44
4.1.1 Cálculo do IGG 53
4.2 Metodologia visual espacializada com utilização de SARP 54
4.2.1 Ocorrências identificadas 69
5. CONCLUSÕES 72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, o homem buscou desenvolver caminhos que possibilitassem a comunicação entre diferentes áreas de interesse, especialmente aquelas destinadas ao cultivo e à extração de recursos naturais. A construção dessas vias representou um marco fundamental para o avanço da agricultura e do comércio, pois permitiu o transporte de produtos, o intercâmbio de bens e o fortalecimento das relações sociais e econômicas entre comunidades distintas. Conforme destaca Berbel (2016), a necessidade de interligar zonas produtivas e de exploração foi um dos principais fatores que impulsionaram o surgimento das estradas, as quais evoluíram de simples trilhas naturais para estruturas planejadas, capazes de atender às demandas de deslocamento e de desenvolvimento territorial.

Como aponta Bernucci et al. (2022), a primeira estrada finalmente pavimentada ainda com pedras é datada cerca de 4 mil anos a.C. na Mesopotâmia e Índia. Também no Egito antigo (2.600-2.400 a.C.) existiram vias com uma espécie de lajões justaposto em base e afim de amenizar o atrito, constantemente eram umidificados com água, óleo ou musgo molhado. Também no Oriente Médio, (600 a.C.) a Estrada de Semíramis que interligava as cidades da Mesopotâmia. Quanto à classificação das vias na Roma Antiga, de acordo com documentos antigos do Século I, era embasada na sua importância, como explica Adam (1994, p. 573), discriminadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das vias romanas

Via	Tipo
viae publicae	Vias públicas do Estado
viae militare	Vias construídas pelo exército. Eventualmente se tornavam públicas.
actus	Vias locais.
privatae	Vias privadas.

FONTE: Adaptado de Adam (1994, p. 573)

Existe também no Brasil uma longa história das estradas que interligam cidades, estados e municípios. Observa-se no Quadro 2 um compilado das primeiras estradas reportadas na história brasileira.

Quadro 2 - Histórico das estradas brasileiras

Trecho	Período	Obs.
São Vicente / Planalto Piratininga (SP)	1560	Recuperada em 1661 e nomeada Estrada do Mar permitindo tráfego de veículos. Figura 1A
Ouro Preto / Paraty (MG)	Pré colonização	Conhecida como Estrada Real (RJ) ou Estrada do Ouro (MG). Figura 1B
Porto da Estrela / Petrópolis (RJ)	1841	Construída por D. Pedro II a Estrada Normal da Serra da Estrela
Petrópolis (RJ) / Juiz de Fora (MG)	1860	Estrada de Rodagem União e Indústria. Primeira rodovia concessionada e primeira a usar macadame como base/revestimento do Brasil. Figura 1C
Rio de Janeiro (RJ) / São Paulo (SP)	1928	Rodovia Rio-São Paulo inaugurada pelo Presidente Washington Luiz com 506km de extensão

Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2022, p. 21).

Na Figura 1 observa-se os tipos de estradas em seus contextos históricos

Figura 1 - Estradas brasileiras

Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2022).

1.1 **Objetivos**

1.1.1 Objetivo geral

Fazer o comparativo entre a avaliação do estado de conservação pavimento asfáltico flexível na avenida Princesa Isabel no bairro Jesus de Nazaré em Macapá/AP por meio do método probabilístico do IGG (Índice de Gravidade Global) e uso SARP (Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada)

1.1.2 Objetivos específicos

a. Aplicar o método probabilístico com IGG como indicador de condições de pavimentos flexíveis;

b. Aplicar o método com uso SARP;

c. Comparar a sensibilidade do IGG na detecção de manifestações patológicas em comparação ao método proposto visual espacializado com uso de SARP;

d. Identificar limitações de ambos os métodos;

e. Gerar ortomosaico e do local do estudo de caso;

f. Gerar relatório de manifestações patológicas identificadas em ambos métodos;

1.2 Justificativa

A malha viária urbana desempenha papel fundamental na integração das mais diversas zonas, no desenvolvimento social e econômico das cidades, sendo responsável por garantir mobilidade, acessibilidade e segurança à população. Não é exclusividade dos municípios dos Estados da Região Norte, pois em todos no Brasil observa-se recorrentes problemas de conservação, oriundos principalmente a partir do tráfego e das condições climáticas, além dos limitados recursos de manutenção preventiva e falta de gestão, como aponta Nascimento (2024)

Observa-se ser essencial a aplicação de métodos técnicos confiáveis para avaliar o estado de conservação dos pavimentos para embasar a tomada de decisões por parte dos responsáveis da manutenção daquele pavimento, seja ele o gestor público ou privado.

Destaca-se o método IGG (Índice de Gravidade Global) como uma ferramenta amplamente utilizada na avaliação funcional de pavimentos flexíveis, por permitir a identificação e quantificação das principais manifestações patológicas por meio de inspeção visual sistematizada probabilística. No entanto, esse método depende fortemente do levantamento em campo, o que pode demandar tempo, equipe técnica e exposição dos avaliadores a riscos operacionais em vias urbanas com tráfego ativo.

É notório os avanços tecnológicos recentes, dessa forma, o uso de SARP surge como uma alternativa promissora para a inspeção de infraestruturas viárias, possibilitando a obtenção de imagens aéreas de alta resolução, com maior rapidez e segurança. Assim, justifica-se a proposta deste trabalho em avaliar o estado de conservação do pavimento da Avenida Princesa Isabel, no bairro Jesus de Nazaré, a qual comporta o acesso à Escola Estadual Jesus de Nazaré em Macapá/AP, utilizando o método IGG e, paralelamente, propor uma metodologia complementar baseada na análise de imagens obtidas por drone, permitindo a comparação entre os dois métodos.

Dessa forma, o estudo contribui tanto do ponto de vista acadêmico, ao explorar a integração entre métodos tradicionais e tecnologias inovadoras, quanto do

ponto de vista técnico, ao fornecer subsídios que podem auxiliar o planejamento de ações de manutenção e conservação de pavimentos urbanos.

1.3 Problema

A partir do contexto apresentado, formula-se o seguinte problema de pesquisa: qual é o estado de conservação do pavimento flexível da Avenida Princesa Isabel, no bairro Jesus de Nazaré, em Macapá/AP, quando avaliado pelo método IGG, e como os resultados obtidos por meio da análise de imagens de drone (SARP) podem complementar e corroborar essa avaliação?

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

É notório que o objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, além de proporcionar ao utilizador o grau esperado de conforto e segurança visto que o solo natural geralmente não se forma de modo que atenda à essas necessidades além de que a resistência mecânica é insuficiente para atender as repetidas solicitações de cargas de roda sem sofrer deformações significativas.

Surge então a necessidade de uma estrutura denominada pavimento, construída sobre o subleito, dimensionada para suportar as cargas veiculares e favorecer a distribuições de tensões às suas diversas camadas e ao subleito, que quando respeitados os carregamentos e formas de utilização, atenderão por um período de tempo específico à segurança e conforto, como destaca Bernucci et al. (2022, p. 629).

2.1 Classificação dos pavimentos

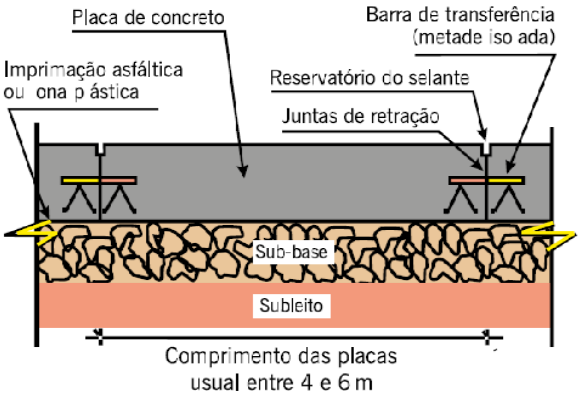
Entende-se um pavimento como a superestrutura constituída por um sistema de camadas com espessuras finitas de materiais de diferentes resistências e deformabilidades colocadas em contato, resultando um elevado grau de complexidade no que diz respeito ao cálculo de tensões e deformações que atuam no sistema por meio do tráfego durante a utilização. Atualmente, os pavimentos existentes no Brasil que atendem ao modal rodoviário recebem a classificação de acordo com a natureza da sua deformação, podendo estes serem flexíveis, semi-rígidos e rígidos. (DNIT, 2006a).

a. Pavimentos flexíveis: compreendem os tipos de pavimentos que suas camadas sobrem deformação elástica significativa em função do carregamento aplicado, e por meio dessa deformação, cargas são distribuídas em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Tem-se como exemplo típico uma rua cuja a base é de brita (graduada ou macadame) ou solo pedregulhoso, revestida por camada asfáltica (Figura 3), geralmente CBUQ (cimento betuminoso usinado à quente).

b. Pavimentos semi-rígidos: compreendem os tipos que tem a base formada por um material aglutinante com propriedades cimentícias, como o próprio cimento, e revestido com camada asfáltica.

c. Pavimentos rígidos: Os rígidos têm a sua camada de revestimento com elevada rigidez em relação às camadas inferiores favorecendo maior absorção das tensões, fazendo com que as parcelas de cargas sejam menos distribuídas às camadas inferiores. Tem-se como exemplo típico as lajes de concreto de cimento Portland (Figura 2).

Figura 2 - Estrutura de pavimento rígido



(a) Concreto-cimento (corte longitudinal)

Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2022, p. 12).

Bernucci et al (2022, p 11), conceitua pavimento flexível, sendo como uma estrutura composta por várias camadas que sofrem deformações elásticas significativas sob a ação do carregamento veicular, permitindo a distribuição uniforme das cargas às camadas inferiores. Essas camadas, tipicamente revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, apresentam uma estrutura padrão, embora possam variar de acordo com o tráfego local e materiais disponíveis na região.

Silva, Lopes e Ávila (2025, p. 3) também discorrem que a principal função do pavimento flexível é resistir e distribuir as forças verticais dos veículos, garantindo a estabilidade e segurança da via, além de melhorar as condições de rolamento e resistência aos esforços horizontais, prolongando sua durabilidade.

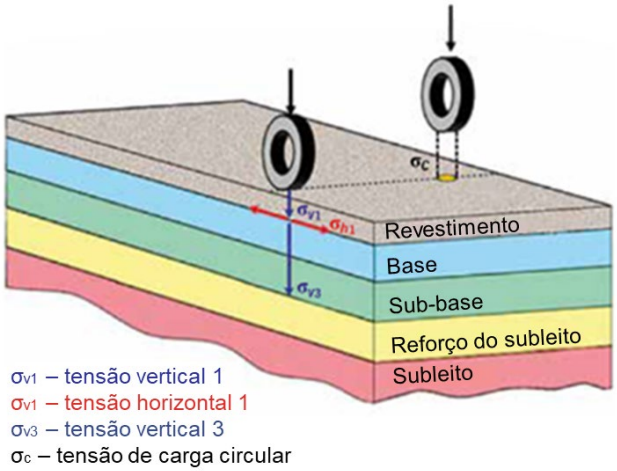
2.2 Estrutura dos pavimentos flexíveis

Como já mencionado, o pavimento consiste em um sistema de camadas e estas atuam uma solidariamente à outra. Para são destacadas as camadas principais, sendo elas: Revestimento; Base; Sub-base; Reforço do subleito; Leito; Subleito

enquanto Bernucci (2022, p. 11) as divide somente em: Revestimento; Base; Sub-base; Reforço do subleito; Subleito; como mostrado na Figura 3

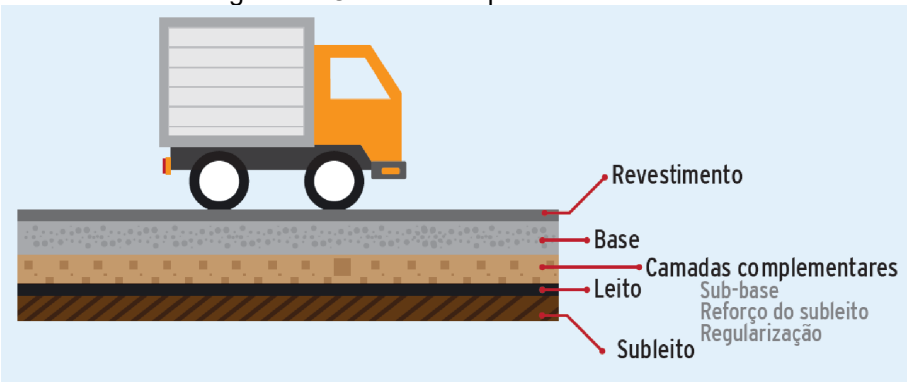
Vale ressaltar que CNT (2018, p. 37) denomina como camadas complementares a: Sub-base; Reforço do subleito; Camada de regularização; como mostrado na Figura 4.

Figura 3 - Estrutura de pavimento flexível



Fonte: Adaptado de Bernucci et al (2022, p. 12).

Figura 4 - Camadas de pavimento flexível



Fonte: CNT (2018, p. 37)

a) Revestimento

Considerada a camada mais nobre do sistema, é a superfície responsável por receber todo o contato e o carregamento rodante de serviço, as ações do trafego, as intempéries e ao clima. Deve ser impermeável para proteger as demais camadas subjacentes. Além de ter quer proporcionar conforto quando feita sua utilização. É a única camada visível ao utilizador da via (CNT, 2018, p. 37) Sua composição é essencialmente concreto do tipo asfáltico. (ALMEIDA, 2023, p. 23).

b) Base e sub-base

De acordo com Balbo (2007, p. 38), a camada de base e/ou sub-base tem como finalidade resistir às ações do tráfego de maneira a aliviar as tensões do revestimento e direciona-las às camadas descendentes, além de que a camada de base e sub-base devem empenhar papel importante na drenagem subsuperficial dos pavimentos.

Sua altura pode ser responsável pela divisão em seções intermediárias, quando esta for muito espessa, formando então a sub-base, de menor custo. Sua composição podendo ser por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada (tratada ou não com cimento) ou até mesmo com ligantes,

c) Subleito e reforço de subleito

Como explica Balbo (2007, p. 33), o subleito constitui a fundação essencial de qualquer estrutura de pavimento, sendo o estrato de solo natural ou aterro consolidado e compactado que recebe e dispersa as cargas transmitidas pelas camadas superiores. As tensões impostas pelo tráfego são aliviadas ao longo da profundidade da estrutura, mas concentram-se com maior magnitude nos estratos superficiais do subleito, aproximadamente no primeiro metro, exigindo que este possua capacidade resistente compatível.

Em situações onde o subleito apresenta baixa ou média resistência aos esforços verticais, torna-se técnica e economicamente vantajosa a implementação de uma camada de reforço do subleito, que atua como uma camada intermediária de melhor qualidade sobre a fundação nativa. Esta camada tem a função primordial de aliviar as pressões que seriam exercidas diretamente sobre o subleito mais fraco, permitindo que a camada suporte tensões de menor magnitude e, consequentemente, prolongando a vida útil da estrutura.

Balbo (2007, p. 33) ressalta que, embora não seja estritamente obrigatório, o uso do reforço do subleito frequentemente resulta em menores espessuras necessárias para as camadas de base e sub-base, otimizando o projeto sob a

perspectiva econômica e construtiva, e garantindo que as tensões transmitidas sejam toleráveis pela fundação subjacente.

2.3 Avaliação periódica e funcional

De acordo com Oliveira (2022, p. 3) a avaliação funcional de pavimentos foca na determinação da capacidade de desempenho momentânea da via, ou seja, na serventia que ela oferece ao usuário. Este tipo de avaliação está diretamente relacionado ao conforto proporcionado, medido em termos de qualidade de rolamento, A realização deste procedimento é crucial para garantir que a infraestrutura rodoviária mantenha um padrão adequado de uso, especialmente considerando o crescente aumento da deterioração das vias urbanas e a falta de manutenção programada observada nas últimas décadas no Brasil.

Por outro lado, quanto à avaliação estrutural, Oliveira (2022, p. 3) explica essa como sendo essencialmente determinada pelo desempenho estrutural do pavimento e visa manter a integridade de sua capacidade de suporte. Ela consiste na análise de medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento quando este é submetido a uma determinada carga. Em comparação com métodos destrutivos e semi-destrutivos, a avaliação estrutural não destrutiva oferece maior facilidade, podendo ser realizada em qualquer estágio da vida útil do pavimento com menores interrupções no tráfego.

Afim de uma análise mais detalhada das condições superficiais do pavimento, indo além de um simples indicador global de desempenho, faz-se uso da norma DNIT_006_PRO. Sua aplicação permite o levantamento sistemático das manifestações patológicas existentes, bem como a identificação de suas possíveis causas, fornecendo subsídios técnicos mais completos para a tomada de decisão. Além disso, essa norma é indicada como etapa inicial para verificar a necessidade de avaliações estruturais mais aprofundadas, funcionando também como complemento a essas análises, especialmente em rodovias com diferentes configurações de pistas e faixas de tráfego (DNIT, 2003a, p. 2).

Bernucci (2022, p.629) destaca a importância de monitoramento constante dos pavimentos asfálticos, visto que, apesar de terem uma vida útil limitada em

comparação com outras estruturas civis, eles não falham subitamente. Mesmo um pavimento bem executado acumula danos gradualmente devido às solicitações do tráfego e das condições climáticas. Portanto, para preservar sua funcionalidade e evitar gastos excessivos com reconstrução precoce, a avaliação periódica e a mensuração da condição superficial são vitais. A detecção precoce dos defeitos e o acompanhamento de seu crescimento permitem que os gestores intervenham no momento ideal, por meio de manutenção preventiva ou corretiva, retardando a progressão acelerada das deteriorações e otimizando a aplicação de recursos em projetos de restauração

2.4 Defeitos em pavimentos flexíveis

De acordo com CNT (2008, p. 39), esses defeitos ou deteriorações nos pavimentos são essencialmente os que são observados à olho e podem alcançar uma grande variabilidade como fissuras, trincas transversais, longitudinais e em malha e quaisquer outras irregularidades.

A terminologia dessas avarias obedece a NORMA DNIT 005/2003 – TER (2003b), cujo objetivo é padronizar os termos empregados nos defeitos dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. A codificação e classificação dos defeitos estão apresentados no Quadro 3 e a ocorrência tipo no Quadro 4

Quadro 3 - Classificação e codificação dos defeitos

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	**Trincas Isoladas**	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	**Trincas Isoladas**	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-		FC-3

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	**Plástico**	**Local**	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	**Local**	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Panelas" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos			**Remendo Superficial**	RS
			Remendo Profundo	RP

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003b, p. 4.

2.4.1 Ocorrências dos tipos 1, 2 e 3

Abrange todas as fissuras e trincas isoladas com codificações FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR. São elas:

a) Fendas

Toda interrupção perceptível na superfície do pavimento, caracterizada pela formação de aberturas de diferentes dimensões, que podem manifestar-se sob variadas configurações geométricas e orientações. (DNIT, 2003b, p. 2)

b) Fissura

Configura-se como fenda de largura capilar existente no revestimento, pode estar posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m. Nesse estágio, estas ainda não causam problemas funcionais (DNIT, 2003b, p. 2).

c) Trinca

Configura-se como fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada (DNIT, 2003b, p. 2).

c.1) Trinca isolada

c.1.1) Trinca transversal

Trata-se de uma trinca individual cuja orientação ocorre, predominantemente, de forma perpendicular ao eixo longitudinal da via. Quando sua extensão linear é igual ou inferior a 100 cm (Figura 5), essa manifestação patológica é classificada como trinca transversal curta. Por outro lado, quando o comprimento ultrapassa 100 cm, passa a ser caracterizada como trinca transversal longa (DNIT, 2003b.).

Figura 5 - Trinca isolada do tipo transversal

Fonte: DNIT, 2003b, p. 6.

c.1.2) Trinca longitudinal

Trinca individual caracterizada por orientação majoritariamente paralela ao eixo longitudinal da via (Figura 6), sendo classificada como trinca longitudinal curta quando apresenta extensão de até 100 cm, e como trinca longitudinal longa quando sua extensão ultrapassa esse valor (DNIT, 2003b.).

Figura 6 - Trinca isolada do tipo longitudinal

Fonte: DNIT, 2003b, p. 6.

c.2) Trinca de retração

Trinca individual cuja origem não está associada aos mecanismos de fadiga, mas sim a processos de retração térmica ou de retração do próprio material do revestimento, bem como dos materiais de base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento fissurado (DNIT, 2003b, p. 2).

c.2) Trinca interligada

c.2.1) Trinca tipo couro de jacaré

Conjunto de trincas interconectadas, sem orientação direcional predominante, que conferem ao pavimento aspecto semelhante ao couro de jacaré (Figura 7), podendo ou não apresentar desgaste ou erosão acentuada em suas bordas (DNIT, 2003b.).

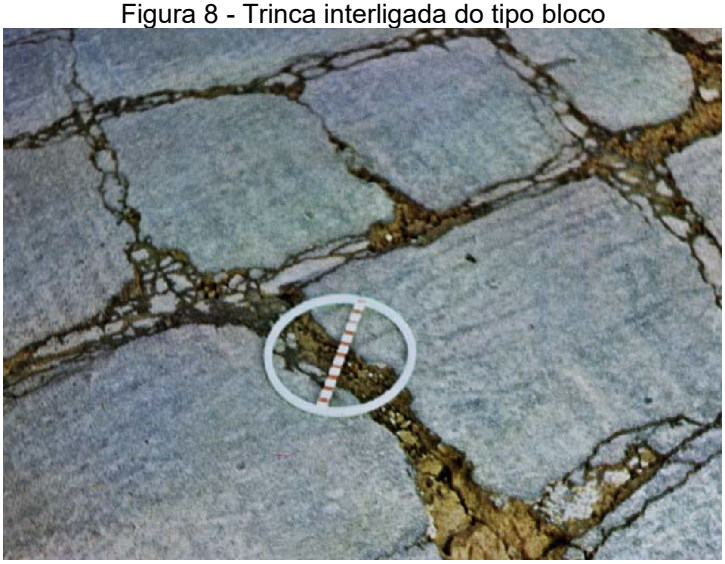
Figura 7 - Trinca interligada do tipo couro de jacaré

Fonte: DNIT, 2003b, p. 7.

c.2.2) Trinca tipo bloco

Conjunto de trincas interligadas, caracterizadas pela formação de blocos com contornos bem definidos, que podem ou não apresentar desgaste ou erosão acentuada em suas bordas (Figura 8) (DNIT, 2003b.).

Figura 8 - Trinca interligada do tipo bloco



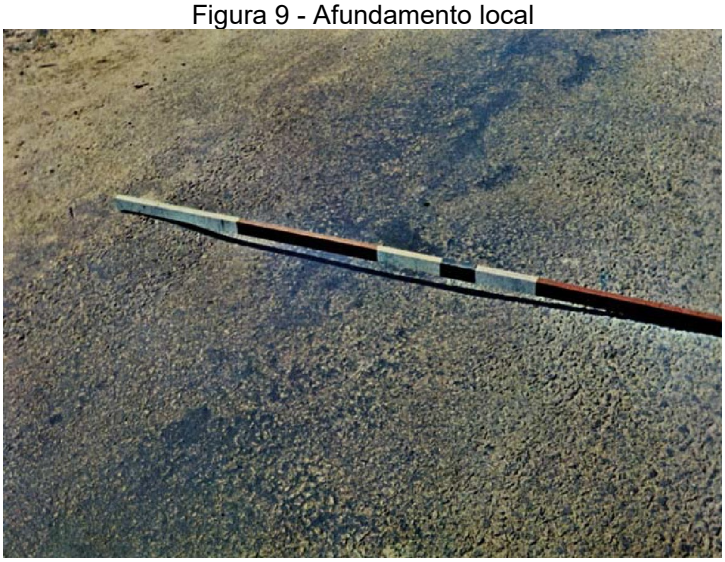
Fonte: DNIT, 2003b

2.4.2 Ocorrência do tipo 4

a) Afundamento

Deformação permanente local definida pela ocorrência de rebaixamento da superfície do pavimento, podendo ser acompanhada ou não por solevamento adjacente, manifestando-se sob a forma de afundamento por fluxo plástico devido à trilha de roda ou por consolidação das camadas (Figura 9) (DNIT, 2003b).

Figura 9 - Afundamento local



Fonte: DNIT, 2003b, p. 8.

a.1) Afundamento plástico

Este afundamento é resultante da fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, caracterizado pela presença de solevamento lateral.

Quando ocorre em extensão de até 6 m, classifica-se como afundamento plástico local; quando apresenta extensão superior a 6 m e se desenvolve ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento plástico da trilha de roda (Figura 10)

Figura 10 - Afundamento de trilha de roda

Fonte: DNIT, 2003b, p. 8.

a.2) Afundamento de consolidação

O afundamento por consolidação decorre da consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, não sendo acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m, é classificado como afundamento de consolidação local; quando apresenta extensão superior a 6 m e se desenvolve ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento de consolidação da trilha de roda (DNIT, 2003b, p. 3).

2.4.3 Ocorrência do tipo 5

a) Ondulação ou corrugação

Apresenta como característica as ondulações ou corrugações dispostas transversalmente na superfície do pavimento (Figura 11) (DNIT, 2003b, p. 3).

Figura 11 - Ondulação

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003b, p. 9.

b) Escorregamento

Este defeito é relativo do revestimento asfáltico em relação à camada subjacente do pavimento, com formação de fendas caracterizadas por geometria em meia-lua (Figura 12) (DNIT, 2003b, p. 3).

Figura 12 - Escorregamento

Fonte: DNIT, 2003b, p. 9.

c) Panela ou buraco

Defeito muito observado no revestimento asfáltico em decorrência de múltiplos fatores, incluindo a deficiência de aderência entre camadas sobrepostas, que pode levar ao desplacamento do revestimento (Figura 13) e ao comprometimento

das camadas inferiores do pavimento, com consequente desagregação estrutural (DNIT, 2003b, p. 3).

Figura 13 - Defeito tipo panela ou buraco

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003b, p. 11.

2.4.4 Ocorrência do tipo 6

a) Exsudação

Presença excessiva de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultante da migração do ligante de alguma camada subjacente através da camada de revestimento (Figura 14) (DNIT, 2003b, p. 3).

Figura 14 - Exsudação

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003b, p. 10.

2.4.5 Ocorrência do tipo 7

a) Desgaste

Tipo de defeito caracterizada perda progressiva de agregados da superfície do pavimento, resultando em aumento da rugosidade do revestimento (Figura 15), decorrente da ação de esforços tangenciais, principalmente do tráfego (DNIT, 2003b, p. 3).

Figura 15 - Defeito tipo desgaste

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003b, p. 11.

2.4.6 Ocorrência do tipo 8

a) Remendo

Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”. Observa-se que em muitos casos não há uma compatibilização de níveis quanto ao preenchimento da panela com o novo material (DNIT, 2003b, p. 3).

a.1) Remendo profundo

Apesar de ser uma espécie de recuperação, ainda é considerado um defeito, pois é aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular (DNIT, 2003b, p. 3).

a.2) Remendo superficial

Também tem caráter de recuperação, mas é classificado como defeito. Nesse tipo de defeito, é feita a correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa (DNIT, 2003b, p. 3).

2.4.7 Diversos

A NORMA DNIT 005/2003 – TER (2003b) também exemplifica um tipo de defeito classificado como diverso, ilustrado como um defeito que não obedece a um padrão parecido com os demais tipos de patologia apresentados (Figura 16).

Figura 16 - Defeitos diversos

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003b, p. 10.

2.5 Aerofotogrametria

Como explica Flores (2025, p.3), o uso de SARP já é realidade nas mais diversas áreas da indústria, sendo que atividades que necessitem desse sistema vêm crescendo gradativamente pois engloba tanto serviços topográficos quanto serviços comerciais, de lazer e entretenimento. A literatura que aborda a avaliação superficial e caracterização de manifestações patológicas no asfalto são relativamente antigas, dessa forma, torna-se justificável não haver tantas diretrizes a serem seguidas, considerando a atual tecnologia que pode ser empregada.

A técnica que permite o estudo e a definição das formas, dimensões e posição de um objeto no espaço com base em medições obtidas a partir de fotografias ou imagens digitais é conhecida como fotogrametria. Se estas forem de pontos fixos no solo é chamada de fotogrametria terrestre e quando obtidas por meio aéreo,

geralmente por aviões ou drones, é então chamada de fotogrametria aérea, ou aerofotogrametria, como explica Feitoza (2024, p. 16).

2.5.1 Sistema global de posicionamento

Conhecidos como GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), consiste em um conjunto de constelações de satélites que permitem determinar o posicionamento e localização de qualquer objeto no planeta, como:

a. GPS (Sistema de Posicionamento Global): Operando desde 1973 e criado nos EUA (Estados Unidos da América)
b. GALILEO: Sistema criado e administrado pela EU (União Européia) e em funcionamento desde 2006. Este sendo o único totalmente civil.
c. BEIDU: Sistema chinês operando desde 2008.

De acordo com Silva e Segantine (2015), existem 3 métodos de posicionamento usando a tecnologia GNSS.

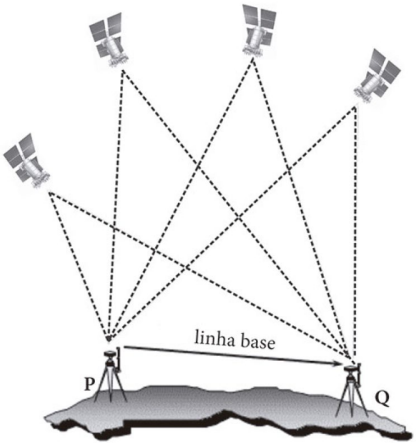
a) Método de posicionamento absoluto

Método que se baseia na medição direta das pseudodistâncias entre antena receptora e por pelo menos 4 satélites, a partir da trilateração espacial. Uma forma mais simplificada que se obtém precisão de 3 à 15 metros na horizontal e de 5 à 25 metros na vertical (SILVA E SEGANTINE, 2015).

b) Método de posicionamento relativo

Baseia-se em utilizar um ponto de coordenadas conhecidas, o qual é instalado no conjunto antena/receptor. Determina-se então o vetor espacial (ou vetor da linha de base) entre os pontos de referência P e Q, como observado na Figura 17.

Figura 17 - Linha de base



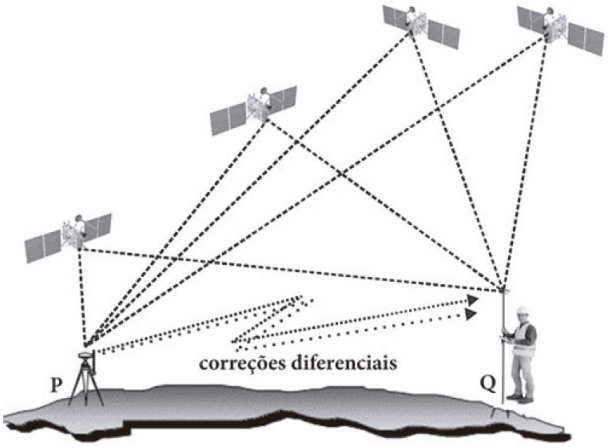
Fonte: Silva e Segantine, 2015.

Para este método é necessário um pós tratamento dados coletados em campo a partir do ponto remoto. (SILVA E SEGANTINE, 2015).

c) Método de posicionamento diferencial

Diferentemente do método relativo, o diferencial faz com que as correções diferenciais entre as coordenadas conhecidas da estação base e suas coordenadas calculadas pelo receptor remoto são transmitidas via comunicação telemétrica, possibilitando a determinação em tempo real das coordenadas da antena remota, como observado na Figura 18. (SILVA E SEGANTINE, 2015).

Figura 18 - Correções diferenciais



Fonte: Silva e Segantine, 2015

3. METODOLOGIA

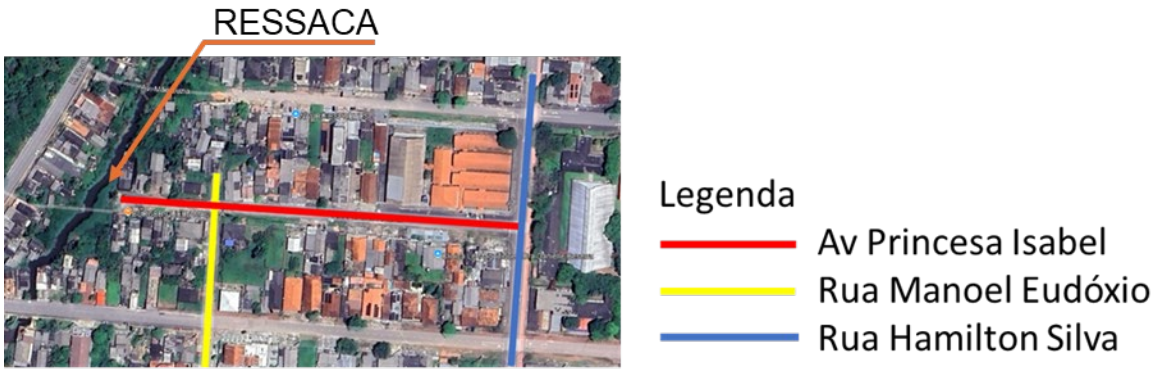
O presente trabalho adota como metodologia a integração de duas abordagens complementares para a avaliação da condição de conservação do pavimento, sendo: (i) O método tradicional do Índice de Gravidade Global (IGG), conforme norma DNIT 006/2003 – PRO (2003); (ii) o método de análise de imagens obtidas através do uso de SARP.

A combinação de ambas metodologias visa comparar e complementar resultados obtidos de forma a obter-se avaliação mais precisa e verossímil das condições do pavimento estudado.

3.1 Caracterização da área de estudo

Para realização deste estudo, foi escolhida a Avenida Princesa Isabel, localizada no município de Macapá, estado do Amapá. O segmento analisado possui extensão aproximada de 297,9m tendo início na Rua Hamilton Silva, cruzando ao longo de seu desenvolvimento a Rua Manoel Eudóxio, como observado na Figura 19.

Figura 19 - Vista de satélite



Fonte: Google Imagens, 2026.

O pavimento existente na via é do tipo flexível, com revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), característica predominante na malha viária urbana da cidade. Não há sinalização horizontal delimitando o leito carroçável mas opera com uma faixa de tráfego em cada sentido, incluindo estacionamento em ambos lados.

Sua função urbana é destaca no acesso à Escola Estadual Jesus de Nazaré, além de servir majoritariamente a áreas de uso residencial em seu entorno. Em função dessa característica, observa-se a presença pontual de veículos de maior porte,

especialmente ônibus fretados, utilizados no transporte de estudantes provenientes de outras unidades escolares. No entanto, esse tráfego ocorre de forma concentrada em horários específicos, não configurando fluxo contínuo de veículos pesados ao longo do dia.

Identifica-se no trecho final da via uma área de ressaca caracterizada pela presença de um canal natural, correspondente a um braço do Rio Amazonas. Essa condição pode influenciar negativamente o desempenho estrutural e funcional do pavimento, em função da elevada umidade do solo e de possíveis deficiências no sistema de drenagem. Não há registros formais de obras recentes de restauração ou manutenção do pavimento, sendo observadas apenas intervenções pontuais e não sistematizadas

3.2 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem quali-quantitativa, uma vez que associa a aplicação de índices numéricos obtidos pelo método IGG à análise visual e espacial de imagens captadas por pelo SARP. O estudo baseia-se em observações diretas em campo, levantamento visual sistemático e registro aéreo do pavimento, visando à avaliação diagnóstica do estado de conservação do trecho analisado.

A comparação entre os métodos busca identificar a sensibilidade, as limitações e o potencial de cada técnica na detecção de manifestações patológicas

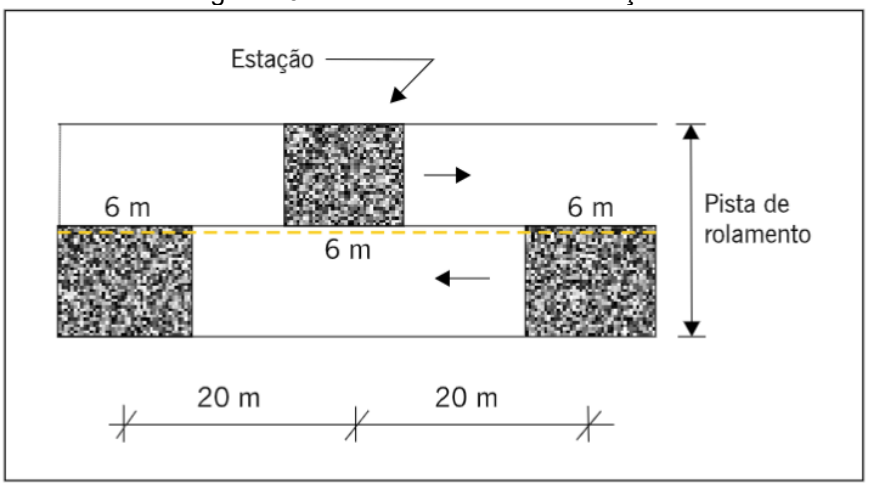
3.3 Aplicação do Método IGG

De acordo com DNIT, (2003a, p. 1), este método visa fazer avaliação de pavimentos flexíveis para inventário e classificação, encontrando uma escala variando, sendo 0 (zero) como ótimo e 160 (cento e sessenta) como péssimo. São atribuídos também fatores de ponderação em cada manifestação patológica mensurada com base na sua frequência relativa em cada estação.

Como também demonstrado por Nascimento (2024, p. 34), o IGG não é aplicado em toda a extensão da via, mas faz-se uma amostragem, em 3m (três) antes e depois de cada estaca demarcada, totalizando 6m (seis) de comprimento. As

estações são posicionadas a cada 20m (vinte) de distância, alternando-se a faixa em cada avaliação, como observado na Figura 20

Figura 20 - Posicionamento das estações



Fonte: Adaptado de Balbo, 2009, p. 661.

O cálculo consiste na multiplicação da frequência relativa de cada evento pelo fator de ponderação para obtenção do Índice de Gravidade Individual (IGI) para então o somatório dos IGIs resultarem no IGG, como mostrado na Equação 1, Equação 2 e Equação 3

Equação 1 - IGI

$$IGI = f_r * f_p$$

Fonte: DNIT, 2003, p. 4.

Equação 2 – Frequência relativa

$$f_r = \frac{fa*100}{n}$$

Fonte: DNIT, 2003, p. 4.

Equação 3 - IGG

$$IGG = \sum IGI$$

Fonte: DNIT, 2003, p. 5.

Na Equação 1 tem-se:

a) f_r = frequência relativa

b) f_p = fator de ponderação, aplicado de acordo com o Quadro 4.

Na Equação 2, tem-se:

c) f_a = frequência absoluta, que corresponde ao número de vezes que o defeito foi verificado em cada estação

d) n = número de estações inventariadas.

Na Equação 3, tem-se como o IGG sendo o somatório de todos os IGIs

Quadro 4 - Fator de ponderação

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia" (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA:Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da freqüência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003, p. 5.

Faz-se então o conceito de degradação do pavimento que retrate o grau atingido, observado no Quadro 5.

Quadro 5 - Conceito de degradação

Conceitos	Limites
Ótimo	0 < IGG ≤ 20
Bom	20 < IGG ≤ 40
Regular	40 < IGG ≤ 80
Ruim	80 < IGG ≤ 160
Péssimo	IGG > 160

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003, p. 5.

3.3.1 Instrumentação

Para realização da atividade de campo foram utilizados uma trena metálica de 7,5m, trena de fibra de vidro de 50m, paquímetro digital, tinta spray cor branca, registro fotográfico através da câmera do smartphone, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Instrumentos utilizados

Fonte: Autoria própria, 2026.

A trena metálica de 7,5m para medir o comprimento das trincas

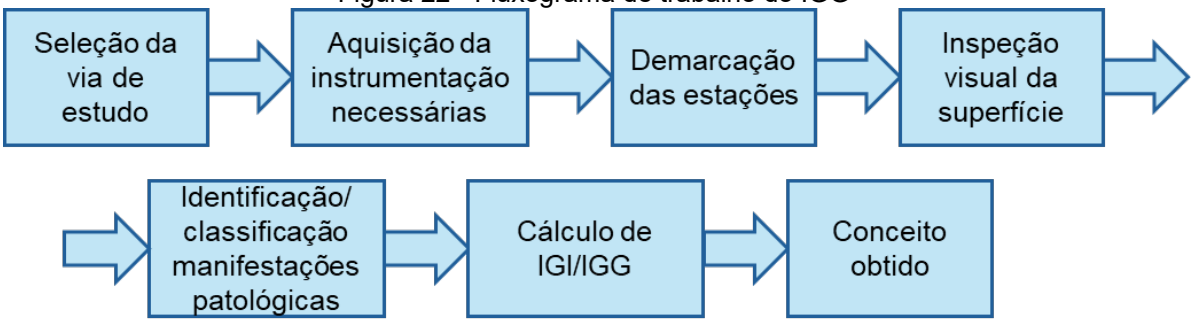
A trena de fibra de vidro foi utilizada para determinar o espaçamento longitudinal entre as estações, marcando seus pontos intermediários.

O paquímetro digital foi utilizado para medir o tamanho das aberturas das trincas nas estações

A tinta spray cor branca foi utilizada para demarcar as áreas correspondentes às estações, sendo 3m de avanço e recuo a partir de seu ponto intermediário

Na Figura 22, observa-se o fluxograma de trabalho com as principais etapas para realização do IGG

Figura 22 - Fluxograma de trabalho do IGG



Fonte: Autoria própria, 2026.

3.3.2 Definição do fluxo de trabalho

Deu-se início da avaliação da via a partir da Rua Hamilton Silva, o qual confere o ponto maior altitude, cruzando a Rua Manoel Eudóxio Pereira, seguindo em direção ao canal que limita o fim da avenida (Figura 23)

Por tratar-se um método probabilísticos, as áreas de avaliação, denominadas estações, foram delimitadas de acordo com o que estabelece a norma DNIT 006/2003 – PRO (2003), sendo posicionadas a cada 20 metros e com intercalação entre as faixas da via

Figura 23 - Sentido de avaliação e posicionamento das estações

Fonte: Adaptado de Google Imagens, 2026.

3.4 Aplicação do método visual espacializado usando SARP

Foi utilizado para o voo o Mavic 2 Pro (Figura 24) da empresa DJI com sistema de posicionamento por satélite e a interface para o plano de voo foi a plataforma http://www.dronedeploy.com.

Figura 24 - DJI Mavic 2 PRO

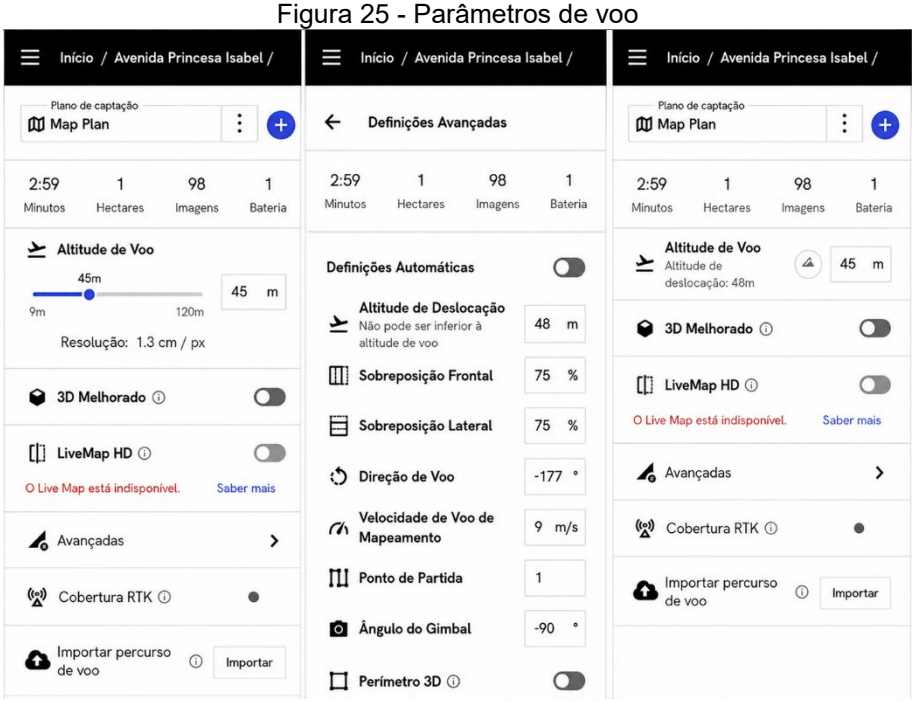
Fonte: Santos, 2022, p. 36.

Como explicado por Santos (2022), uma etapa fundamental antes da realização do voo é a verificação de NFZ (No Fly Zone). Que consiste em uma

funcionalidade de segurança para gerenciar locais proibidos de voo ou mantê-los dentro de limite de altitude de 120m, dado o fato de o local de estudo estar às margens da área do Aeroporto Internacional de Macapá Alberto Alcolumbre

Na Figura 25 tem-se um relatório dos parâmetros previamente definidos.

Figura 25 - Parâmetros de voo



Fonte: Autor, 2026.

a) Sobreposição frontal: 75%. Corresponde ao percentual de sobreposição entre imagens consecutivas capturadas na mesma linha de voo, sendo essencial para o processamento fotogramétrico.

b) Sobreposição lateral: 75%. Representa a sobreposição entre faixas de voo adjacentes, contribuindo para a reconstrução tridimensional e a qualidade do ortomosaico.

c) Resolução alcançada: 1,3cm/px

d) Tempo de voo: 2:59 min. Corresponde à duração da em que o ARP esteve no ar para aquisição das imagens, desde a decolagem até o término do levantamento.

e) Área sobrevoada: aproximadamente 1ha. Representa a superfície efetivamente coberta durante o voo, correspondente ao trecho objeto do levantamento.

f) Quantidade de imagens capturadas: 98. Refere-se ao número total de fotografias registradas durante a missão, utilizadas no processamento fotogramétrico.

g) Quantidade de baterias utilizadas no voo: 1 bateria. Indica o número de baterias necessárias para concluir a missão.

h) Altitude de voo: É baseada na escolha da resolução espacial (GSD) a partir da Equação 4

Equação 4 - Altitude de voo

$$Altitude\ de\ Voo = \frac{Distância\ Focal * GSD}{Pixel}$$

Fonte: Santos, 2022.

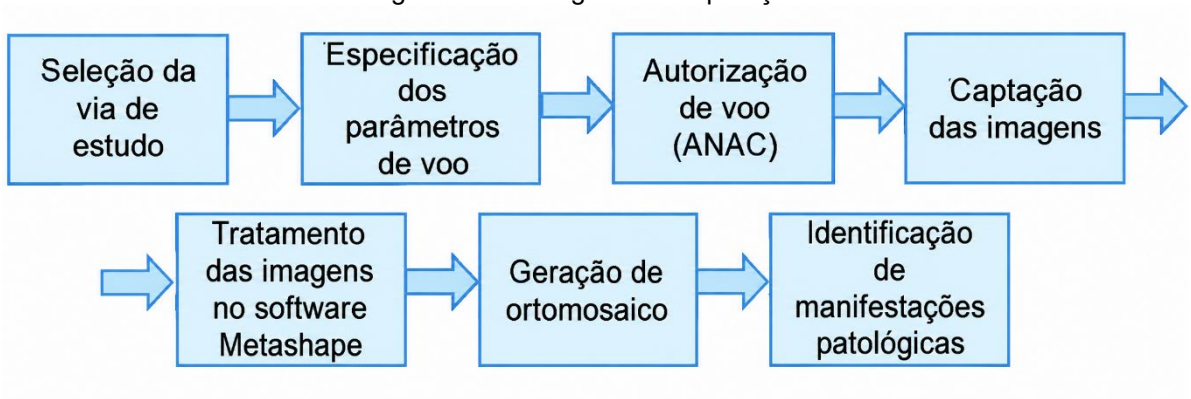
A variável “Pixel”, fornecida pelo fabricante do ARP em 2,4µm.

A distância focal também é determinada pelo fabricante, em 28mm.

O GSD é atribuído pelo operador do drone baseado em voos com finalidade de aerofotogrametria. Foi escolhido o GSD de 1,3cm/px afim de ter maior resolução das imagens coletadas

Na Figura 26 um fluxograma com as etapas para realização do voo e processamento final

Figura 26 - Fluxograma de operações



Fonte: Autor, 2026.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Método Probabilístico usando IGG

Totalizaram-se 14 estações para avaliação, os registros fotográficos e identificação das manifestações patológicas serão apresentadas e classificadas de acordo com as diretrizes da avaliação do estado de conservação do pavimento flexível

a) Estação 01 (Figura 27)

Figura 27- Estação E01

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 1 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Corrugação (O), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 28 à Figura 30

Figura 28 - Corrugação 1

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 29 - Corrugação 2

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 30 - Corrugação 3

Fonte: Autoria própria, 2026.

b) Estação 02 (Figura 31)

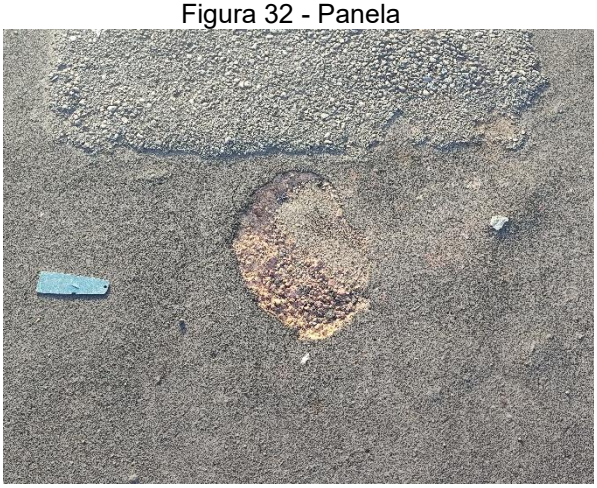
Figura 31 - Estação E02

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 2 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Panela (P), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 32.
- Remendo superficial (RS), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 33.

Figura 32 - Panela



Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 33 - Remendo superficial

Fonte: Autoria própria, 2026.

c) Estação 03 (Figura 34)

Figura 34 - Estação E03

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 03 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Remendo superficial (RS), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 35.
- Panela (P), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 36.
- Desgaste (D), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 37.

Figura 35 - Remendo

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 36 - Panela

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 37 - Desgaste

Fonte: Autoria própria, 2026.

d) Estação 04 (Figura 38)

Figura 38 - Estação E04

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 04 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Trincas longas (TLL FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 39.
- Panela (P), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 40
- Desgaste (D), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 41.

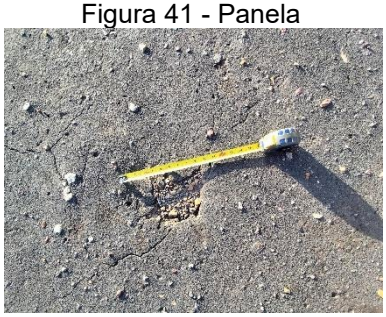
Figura 39 - TLL

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 40 - Desgaste

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 41 - Panela



Fonte: Autoria própria, 2026.

e) Estação 05 (Figura 42)

Figura 42 - Estação E05

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 43 - Remendo superficial

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 05 foi encontrada a seguinte manifestação patológica:

- Remendo superficial (RS), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 43

f) Estação 06 (Figura 44)

Figura 44 - Estação E06

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 45 - Corrugação

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 06 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

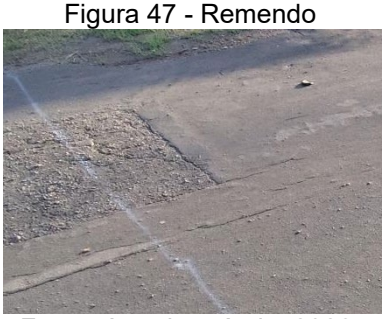
- Corrugação (O), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 45.

g) Estação 07 (Figura 46).

Figura 46 - Estação E07

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 47 - Remendo



Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 48 - TLL

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 07 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

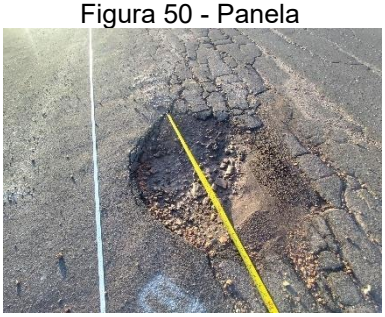
- Remendo superficial (RS), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 47
- Trincas longas (TLL FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 48

h) Estação 08 (Figura 49).

Figura 49 - Estação E08

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 50 - Panela



Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 51 – JE FC-3

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 08 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Panela (P), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 50
- Trincas tipo Jacaré (JE FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 51

i) Estação 09 (Figura 52).

Figura 52 - Estação E09

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 53 – JE FC-3

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 09 foi encontrada a seguinte manifestação patológica:

- Trincas tipo Jacaré (JE FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 53

j) Estação 10 (Figura 54).

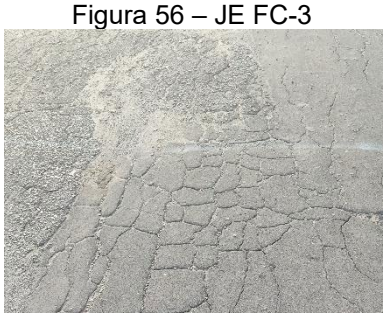
Figura 54 - Estação E10

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 55 - Remendo

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 56 – JE FC-3



Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 10 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Remendo superficial (RS), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 55
- Trincas topo Jacaré (JE FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 56

k) Estação 11 (Figura 57).

Figura 57 - Estação E11

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 58 – JE FC-3

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 11 foi encontrada a seguinte manifestação patológica:

- Trincas tipo Jacaré (JE FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 58

l) Estação 12 (Figura 59).

Figura 59 - Estação E12

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 60 - Remendo

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 61 – TTC FC-3

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 12 foram encontradas as seguintes manifestações patológicas:

- Remendo superficial (RS), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 60
- Trincas isoladas transversais curtas (TTC FC-3), conforme Figura 61

m) Estação 13 (Figura 62).

Figura 62 - Estação E13

Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 63 – JE FC-3

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Estação 13 foi encontrada a seguinte manifestação patológica:

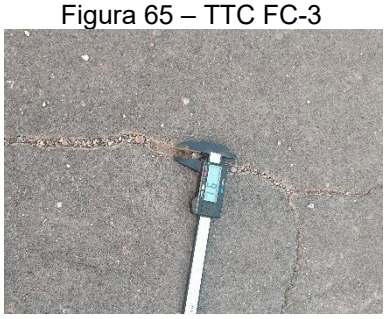
- Trincas interligadas Jacaré com erosão acentuada nas bordas das trincas (JE FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 63

n) Estação 14 (Figura 64).

Figura 64 - Estação E14

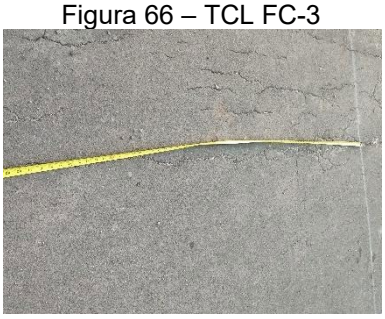
Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 65 – TTC FC-3



Fonte: Autoria própria, 2026.

Figura 66 – TCL FC-3



Fonte: Autoria própria, 2026.

- Trincas transversais curtas (TTC FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 65
- Trincas longitudinais curtas (TLC FC-3), (DNIT 006/2003 – PRO), conforme Figura 66.

4.1.1 Cálculo do IGG

Fazendo uso do Anexo B da norma DNIT 006/2003 – PRO, como forma de inventariar as ocorrências das manifestações patológicas, fez-se o cálculo do IGI para então aplicação do IGG

Na Tabela 1 encontra-se um resumo dos tipos e frequências de defeitos, bem como o resultado do IGG.

Tabela 1 - Resumo das ocorrências de defeitos com método do IGG

Classificação	Estações de ocorrência	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
Corrugação (O)	1, 6	2,0	14,3	1,0	14,3
Remendo superficial (RS)	2, 3, 5, 7, 10, 12	6,0	42,9	0,6	25,7
Panela (P)	2, 3, 4, 8	4,0	28,6	1,0	28,6
Desgaste (D)	3, 4	2,0	14,3	0,3	4,3
Trincas isoladas longitudinais longas (TLL FC-3)	4, 7	2,0	14,3	0,2	2,9
Trincas interligadas tipo jacaré com erosão acentuada nas bordas das trincas (JE FC-3)	8, 9, 10, 11, 13	5,0	35,7	0,8	28,6
Trincas isoladas transversais curtas (TTC FC-3)	12, 14	2,0	14,3	0,2	2,9
Trincas isoladas longitudinais curtas (TCL FC-3)	14	1,0	7,1	0,2	1,4
				IGG	**108,6**

Fonte: Autoria própria, 2026.

O valor calculado de IGG de 108,6 representa a classificação de “ruim” de acordo com a norma DNIT 006/2003 – PRO, como observado no Quadro 5.

Quadro 5- Conceito de degradação

Conceitos	Limites
Ótimo	0 < IGG ≤ 20
Bom	20 < IGG ≤ 40
Regular	40 < IGG ≤ 80
Ruim	80 < IGG ≤ 160
Péssimo	IGG > 160

Fonte: Adaptado de DNIT, 2003, p. 5.

4.2 Metodologia visual espacializada com utilização de SARP

Através do ortomosaico gerado por aerofogrametria foi possível delimitar as áreas para avaliação espacial do local de estudo. Observa-se na Figura 67 o ortomosaico em escala 1:2500

Figura 67 – Ortomosaico gerado

Fonte: Autoria própria, 2026.

Devido ao tamanho limitante da folha A4, não é possível apresentar a figura na resolução máxima obtida após o tratamento das imagens. A consulta da imagem original poderá ser feita através do endereço eletrônico https://drive.google.com/drive/folders/1-g-igFWjehAAiBhclxlD3NVYvxRTndmi?usp=sharing

Uma visão macro das imagens das estações aerofotogramétricas apresentadas a seguir encontram-se na escala 1:50

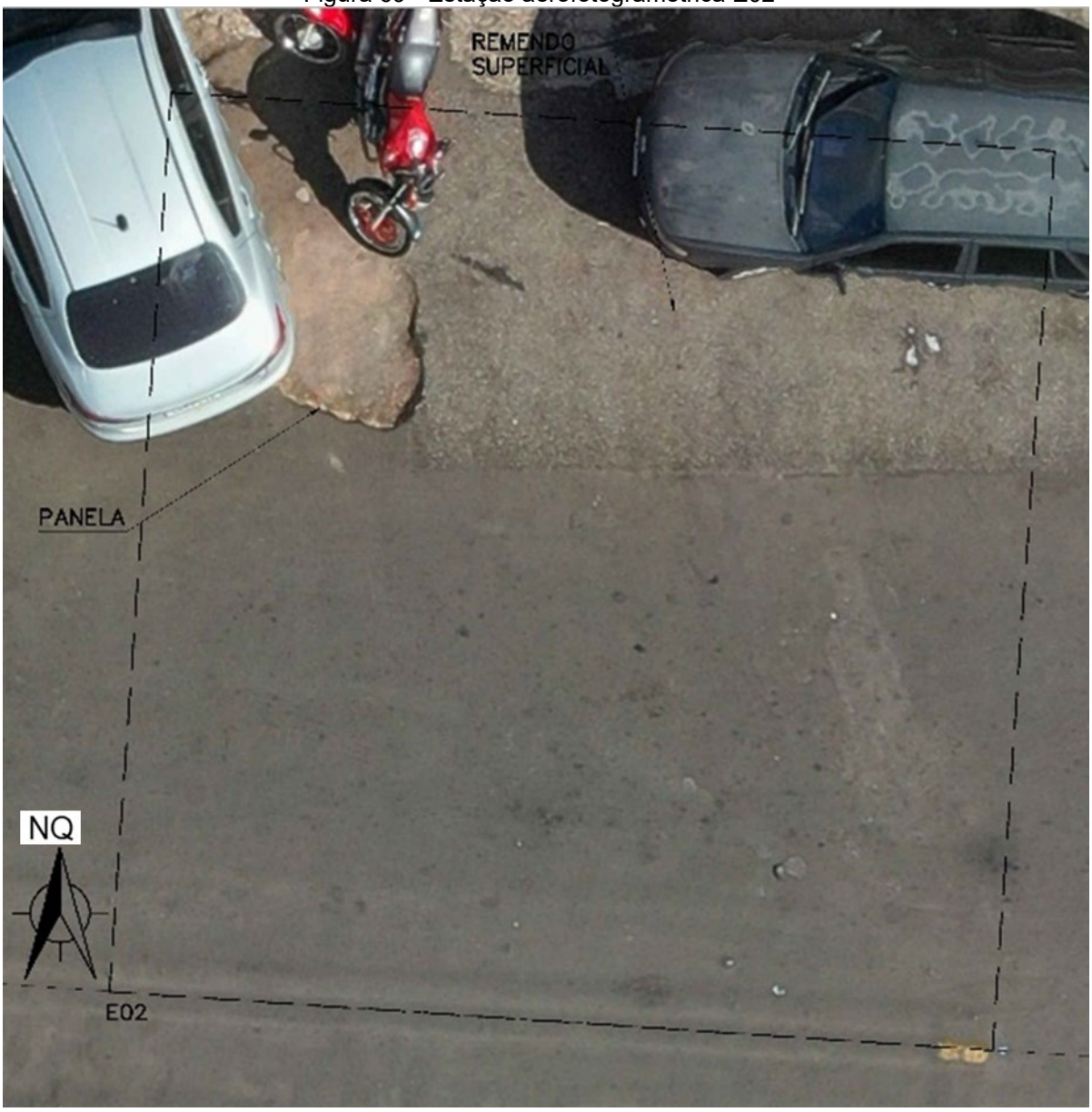
a) Estação E01 (Figura 68): Foi identificado manifestação patológica do tipo corrugação

Figura 68 - Estação aerofotogramética E01

Fonte: Autoria própria, 2026.

b) Estação E02 (Figura 69): Foram identificadas manifestações patológicas do tipo remendo superficial e panela.

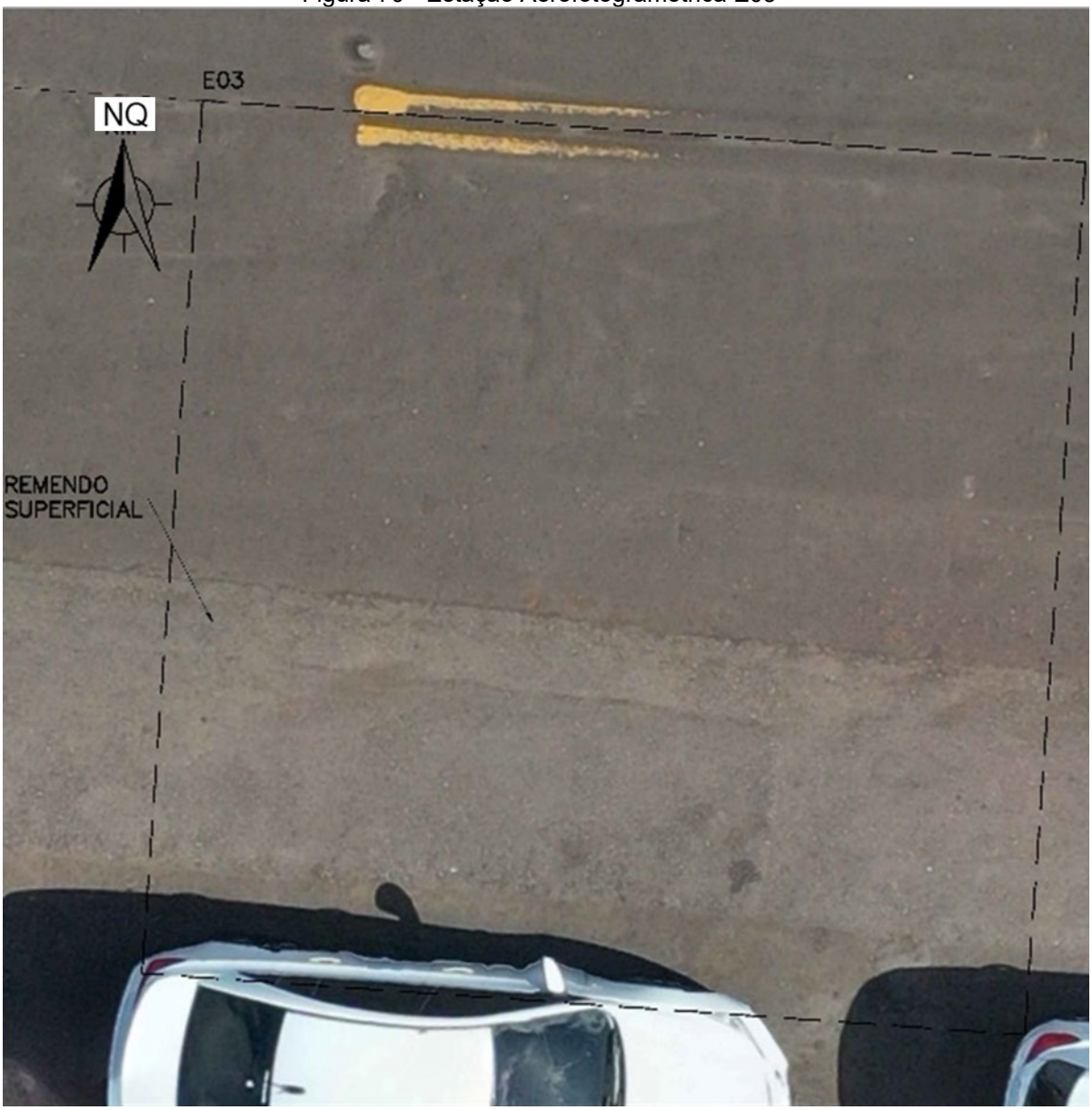
Figura 69 - Estação aerofotogramétrica E02



Fonte: Autoria própria, 2026.

c) Estação E03 (Figura 70): Foi identificado manifestação patológica do tipo remendo superficial

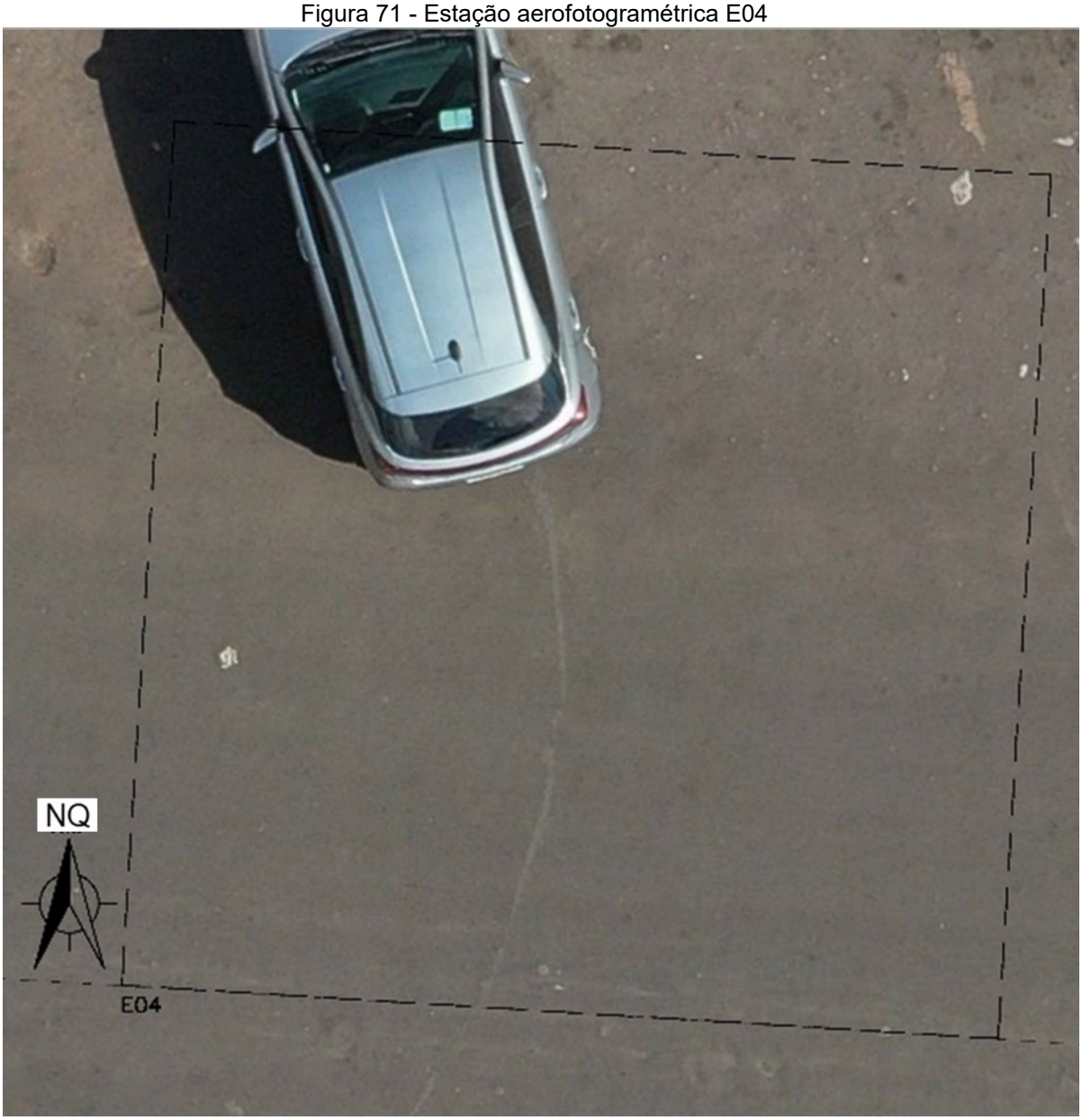
Figura 70 - Estação Aerofotogramétrica E03



Fonte: Autoria própria, 2026.

d) Estação E04 (Figura 71): Não foi identificada manifestação patológica através da imagem obtida por SARP

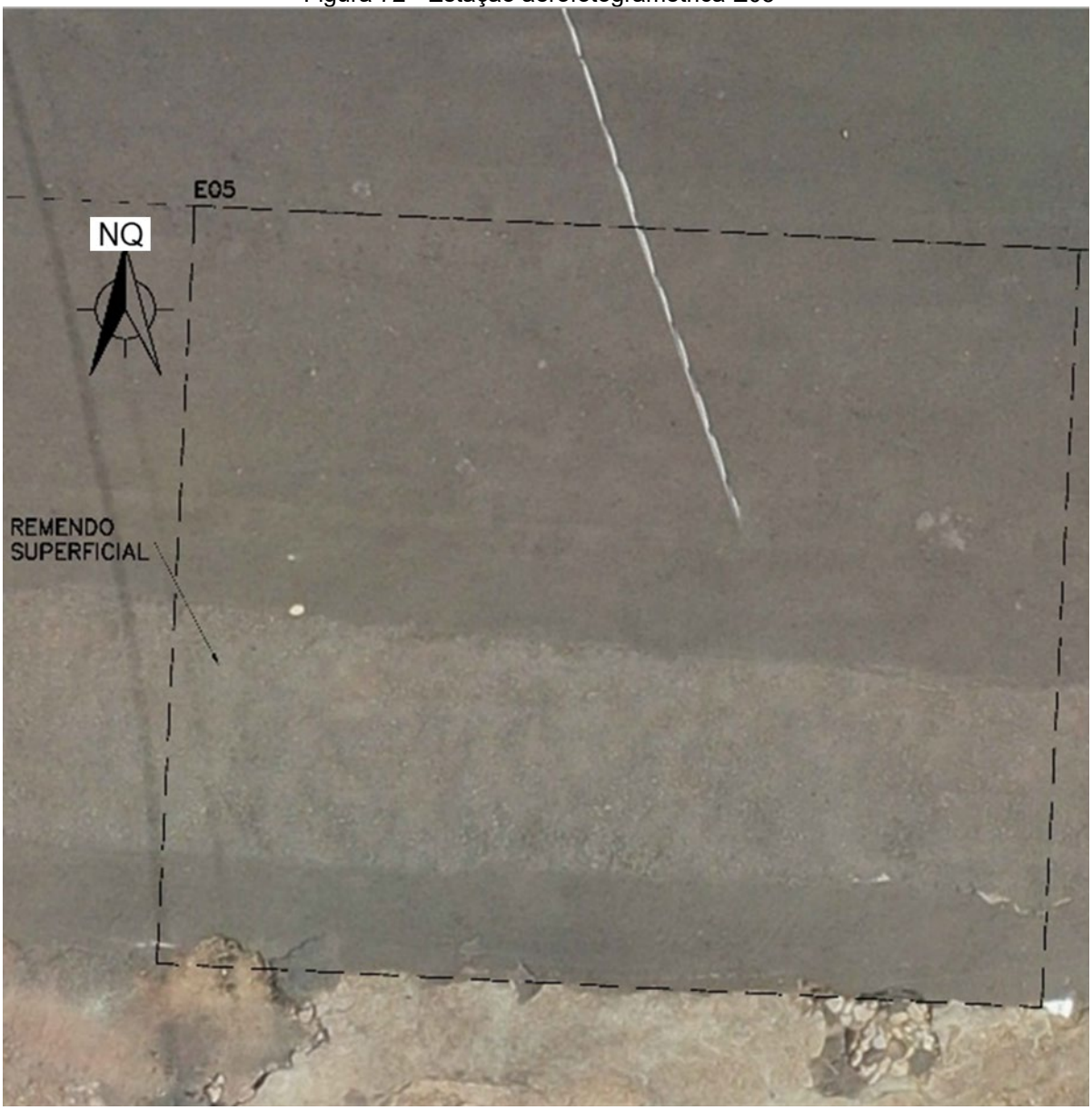
Figura 71 - Estação aerofotogramétrica E04



Fonte: Autoria própria, 2026.

e) Estação E05 (Figura 72): Foi identificada manifestação patológica do tipo remendo superficial

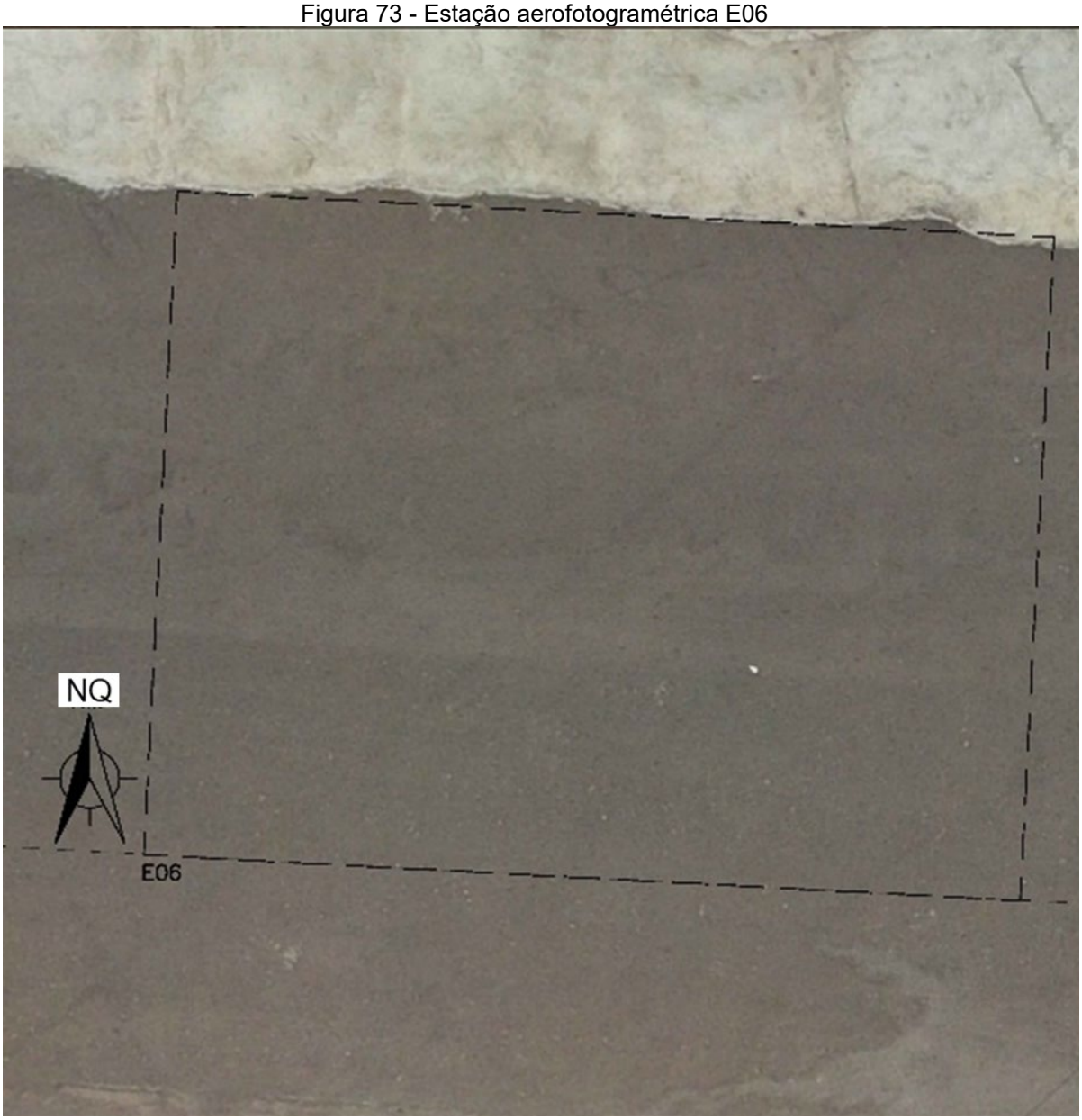
Figura 72 - Estação aerofotogramétrica E05



Fonte: Autoria própria, 2026.

f) Estação E06 (Figura 73): Não foi identificada manifestação patológica através da imagem obtida por SARP.

Figura 73 - Estação aerofotogramétrica E06



Fonte: Autoria própria, 2026.

g) Estação E07 (Figura 74): Foi identificada manifestação patológica do tipo trincas longitudinais longas

Figura 74 - Estação aerofotogramétrica E07

Fonte: Autoria própria, 2026.

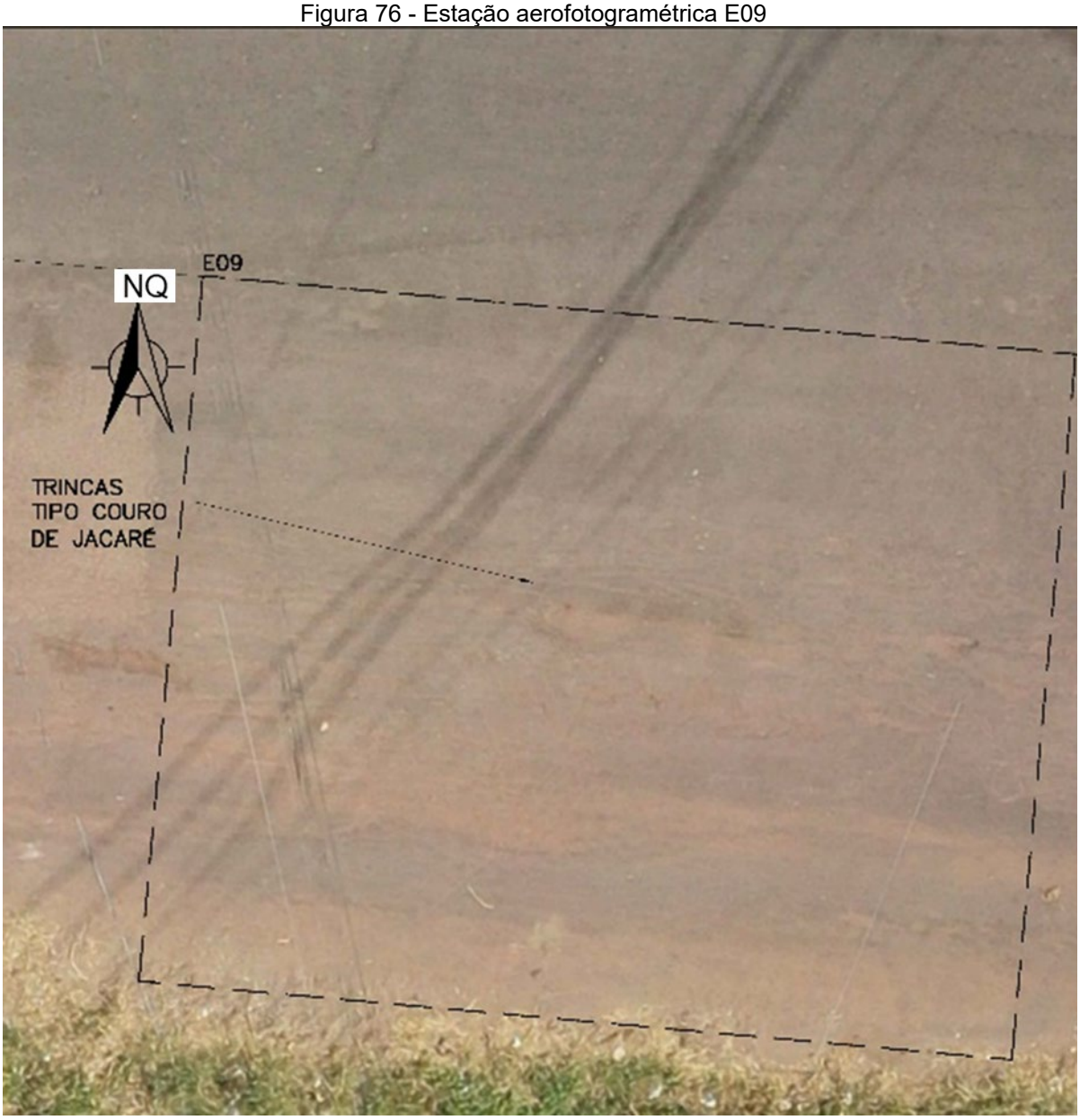
h) Estação E08 (Figura 75): Foram identificadas manifestações patológicas do tipo trincas tipo couro de jacaré, trincas longitudinais longas e panela

Figura 75 - Estação aerofotogramétrica E08

Fonte: Autoria própria, 2026.

i) Estação E09 (Figura 76): Foi identifica manifestação patológica do tipo couro de jacaré

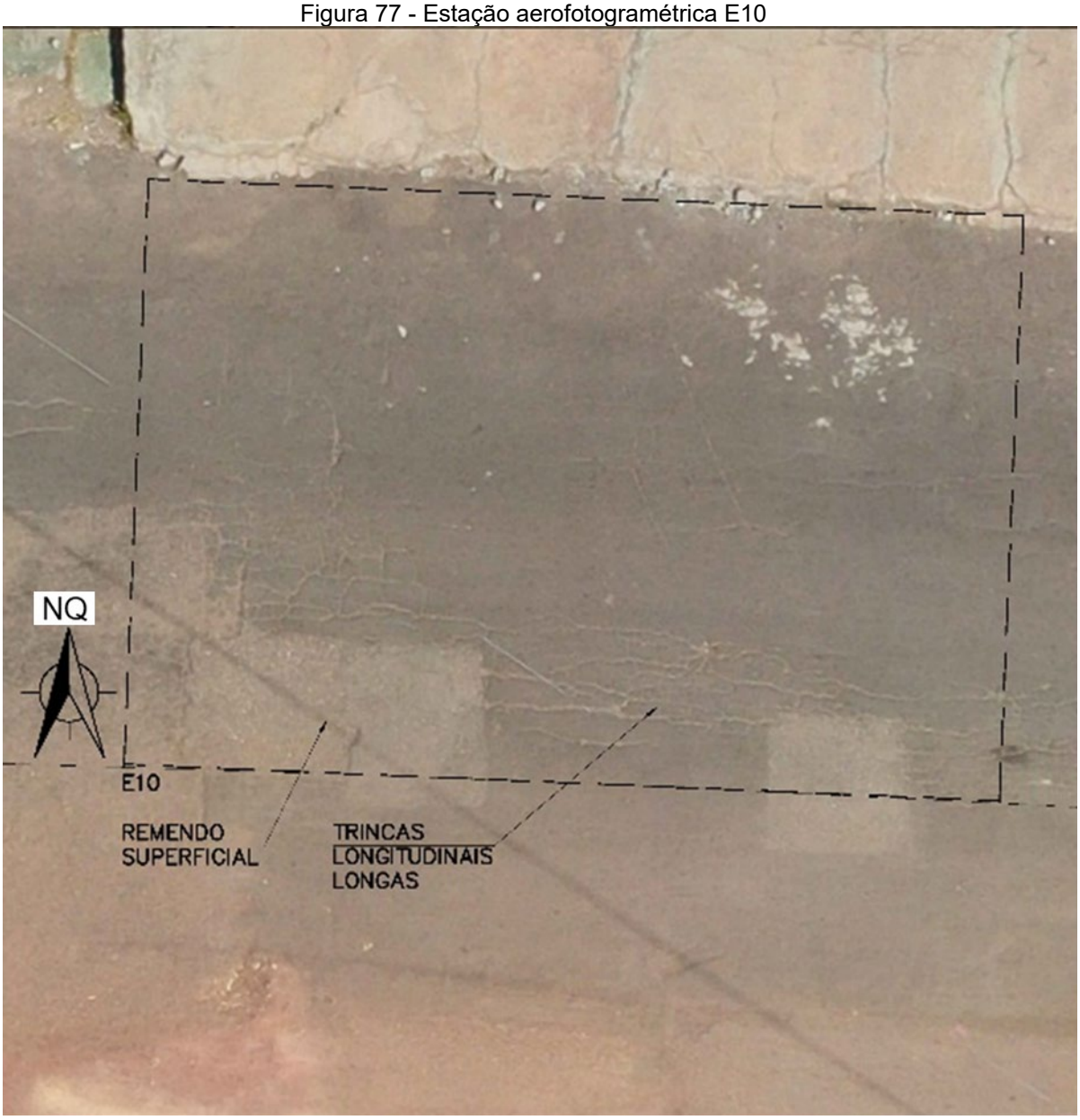
Figura 76 - Estação aerofotogramétrica E09



Fonte: Autoria própria, 2026.

j) Estação E10 (Figura 77): Foram identificadas trincas longitudinais do tipo couro de jacaré e longas

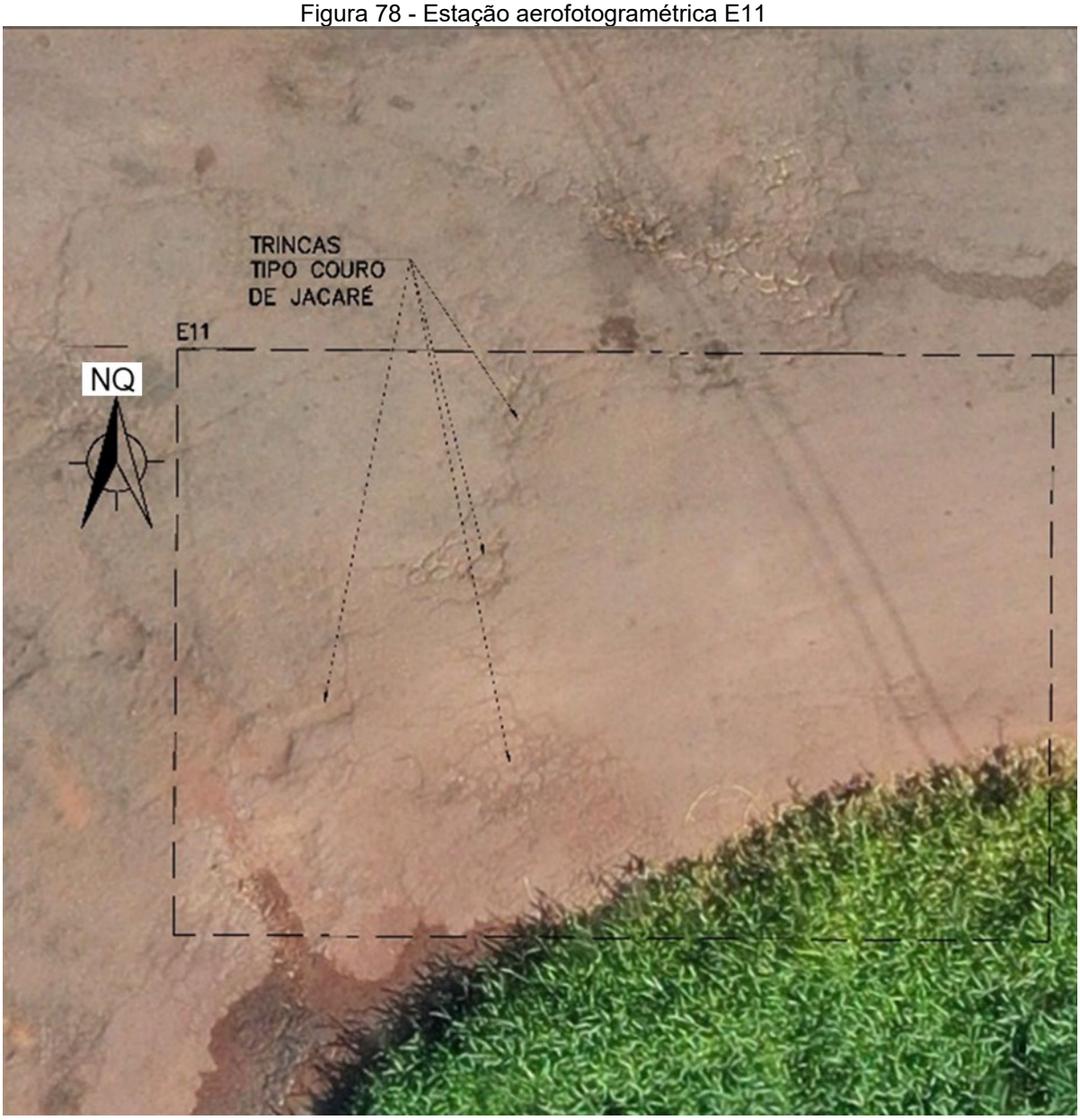
Figura 77 - Estação aerofotogramétrica E10



Fonte: Autoria própria, 2026.

k) Estação E11 (Figura 78): Foi identificada manifestação patológica do tipo couro de jacaré

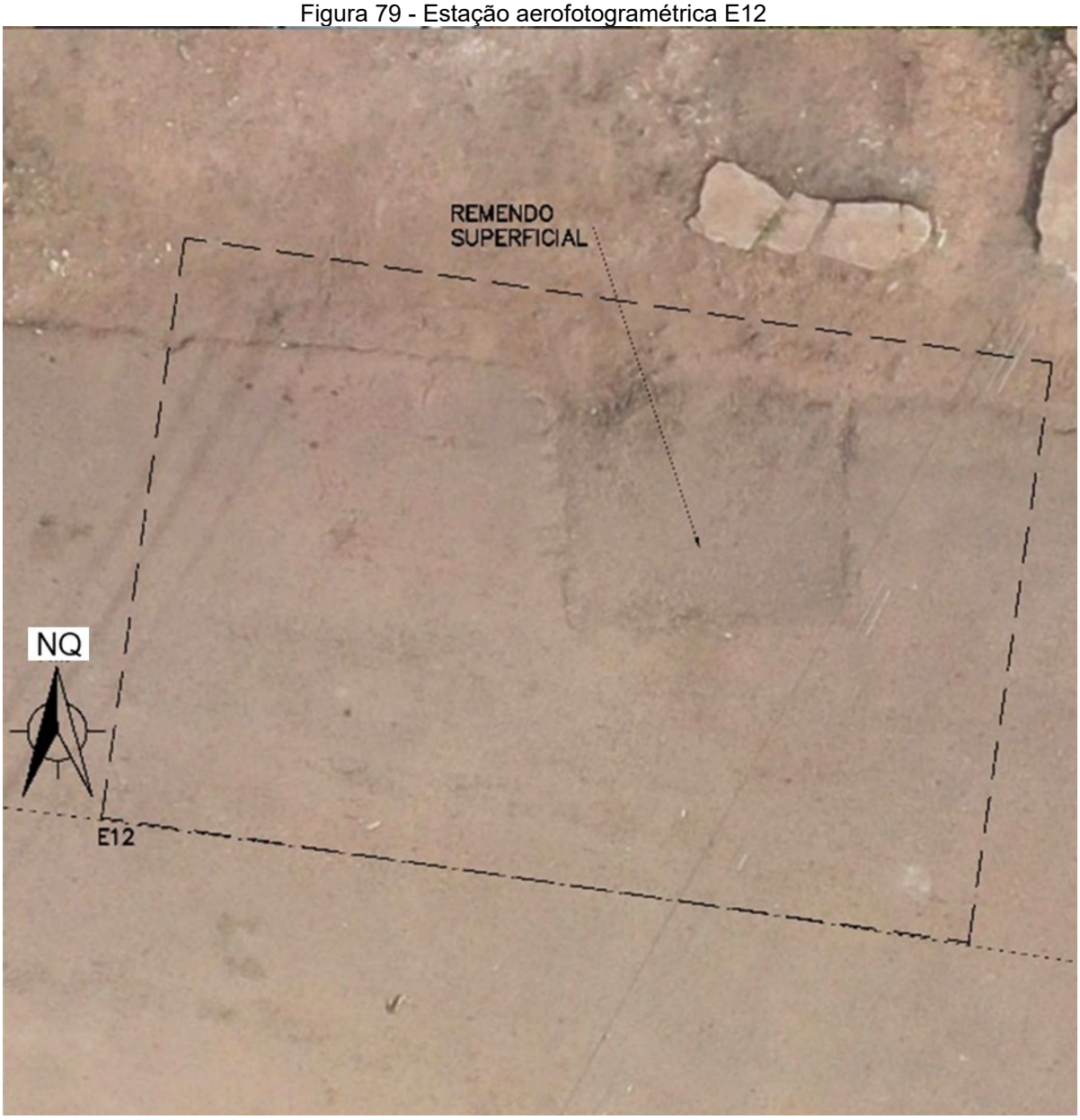
Figura 78 - Estação aerofotogramétrica E11



Fonte: Autoria própria, 2026.

l) Estação E12 (Figura 79): Foi identificada manifestação patológica do tipo remendo superficial

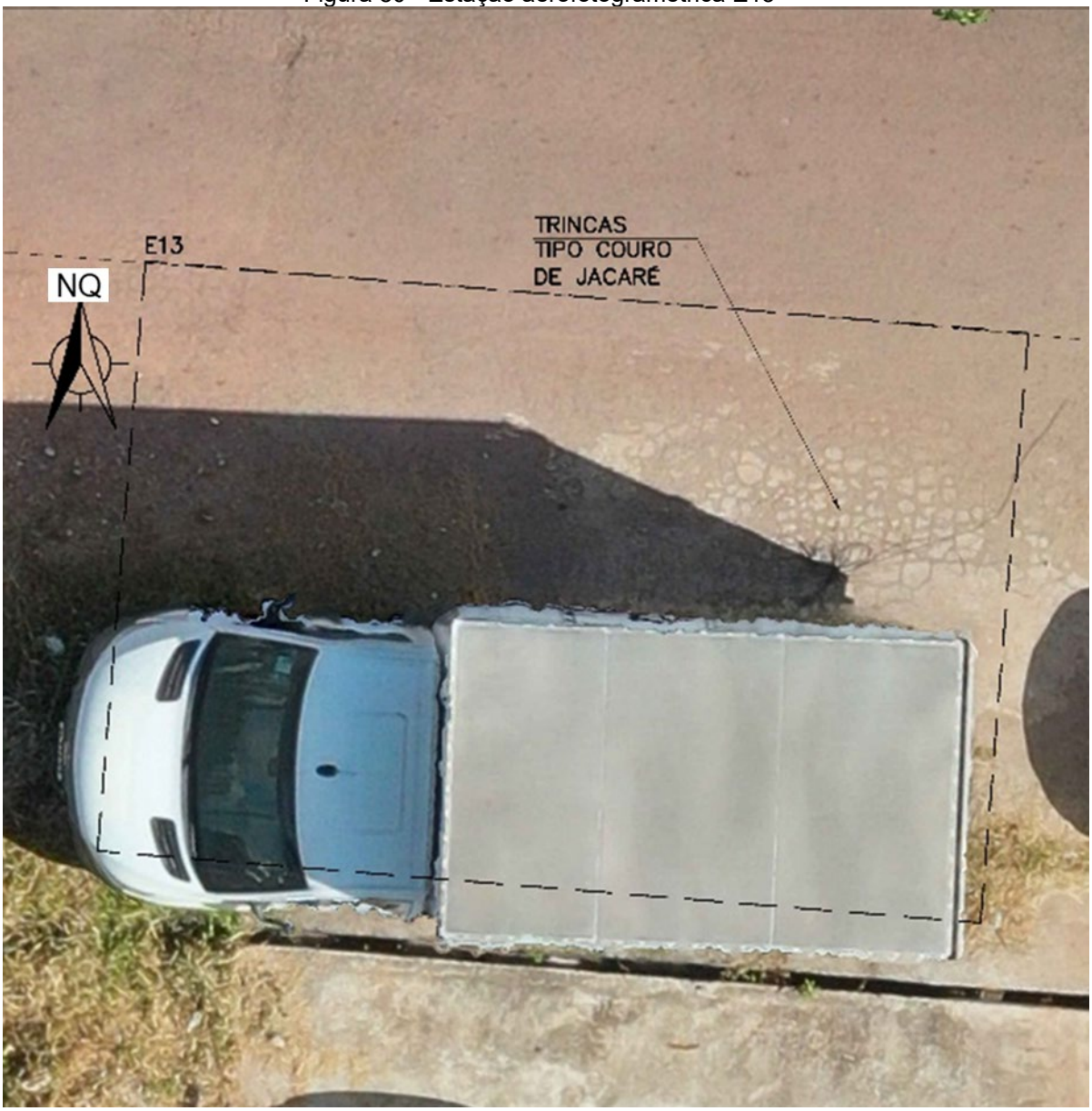
Figura 79 - Estação aerofotogramétrica E12



Fonte: Autoria própria, 2026.

m) Estação E13 (Figura 80): Foi identificada manifestação patológica do tipo trincas couro de jacaré

Figura 80 - Estação aerofotogramétrica E13



Fonte: Autoria própria, 2026.

n) Estação E14 (Figura 81): Não foi identificada nenhuma manifestação patológica pelas imagens obtidas através do uso de ARP, a manifestação patológica do tipo trinca identificada nesta estação através do IGG não teve abertura suficiente para ser visualizada na captação das imagens

Figura 81 - Estação aerofotogramétrica E14

Fonte: Autoria própria, 2026.

4.2.1 Ocorrências identificadas

No Quadro 6 encontra-se o resultado das ocorrências de defeitos identificados por meio de uso de ARP comparados aos defeitos identificados pelo método IGG.

Quadro 6 - Ocorrência de defeitos IGG x SARP

ESTAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO								
		Corrugação (O)	Remendo Superficial (RS)	Panela (P)	Desgaste (D)	Trincas isoladas longitudinais longas (TLL FC-3)	Trincas interligadas tipo jacaré com erosão acentuada nas bordas das trincas (JE FC-3)	Trincas isoladas transversais curtas (TTC FC-3)	Trincas isoladas longitudinais curtas (TCL FC-3)
E01	IGG	☑							
	ARP	☑							
E02	IGG		☑	☑					
	ARP		☑	☑					
E03	IGG		☑	☑	☑				
	ARP		☑	✕	✕				
E04	IGG			☑	☑	☑			
	ARP			✕	☑	✕			
E05	IGG		☑						
	ARP		☑						
E06	IGG	☑							
	ARP	✕							
E07	IGG		☑			☑			
	ARP		✕						
E08	IGG			☑		☑	☑		
	ARP						☑		
E09	IGG						☑		
	ARP						☑		
E10	IGG		☑				☑		
	ARP		☑				☑		
E11	IGG						☑		
	ARP						☑		
E12	IGG		☑					☑	
	ARP		☑					✕	
E13	IGG						☑		
	ARP						☑		
E14	IGG							☑	☑
	ARP							✕	✕

Fonte: Autoria própria, 2026.

Observa-se que nas estações E04, E05, E06, E07, E12 e E14 não foi possível identificar as mesmas manifestações patológicas ou outras além dos que foram encontradas por meio da metodologia convencional probabilística baseada no IGG.

Ressalta-se que parte dos defeitos de pavimentação de pequenas dimensões são pode ser identificada por meio de análise das imagens ortorretificadas obtidas com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP).

Essa limitação decorre da resolução espacial das imagens, bom como da escala de inspeção adotada, que restringem a detecção de manifestações patológicas de reduzida abertura ou extensão, com microfissuras, fissuras superficiais e outros defeitos incipientes.

No Quadro 7, observa-se um comparativo de vantagens entre os métodos. Ressalta-se que a metodologia da norma DNIT 006/2003 - PRO já amplamente difundida e consolidada no cenário brasileiro, enquanto o método espacializado ainda enfrenta carência de instruções técnicas e normativas, no entanto, diariamente avanços nesse método vem acontecendo.

Quadro 7 - Comparativo IGG x método espacializado

Vantagens	Método IGG	Método espacializado	Observações
Confiabilidade e consolidação	Presente	Em construção	IGG é um método confiável e amplamente utilizado
Avaliação detalhada das manifestações patológicas	Presente	Parcial	IGG fornece diagnóstico detalhado; ARP necessita validação adicional
Cobertura de áreas extensas	Ausente	Presente	ARP permite avaliar grandes áreas rapidamente
Rapidez na coleta de dados	Ausente	Presente	ARP reduz o tempo de levantamento
Exposição de operadores a riscos	Presente	Menor	ARP diminui a exposição direta dos operadores
Necessidade de inspeção visual direta	Presente	Ausente	IGG exige inspeções visuais in loco
Detecção automática de defeitos	Ausente	Parcial	ARP ainda necessita de validação visual; automatização limitada
Segurança operacional	Menor	Maior	ARP pode oferecer maior segurança aos operadores
Precisão de delimitação de áreas degradadas	Ausente	Presente	ARP possibilita delimitar áreas com alta precisão

Fonte: Autoria própria, 2026.

Na Tabela 2, observa-se o cálculo de IGG através do uso das imagens coletadas por SARP

Tabela 2 - Resumo das ocorrências de defeitos com uso de SARP

Classificação	Estações de ocorrência	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	IGI
Corrugação (O)	1	1	7,14	1	7,14
Remendo superficial (RS)	2, 3, 5, 10, 12	5	35,71	0,6	21,43
Panela (P)	2, 8	2	14,29	1	14,29
Trincas isoladas longitudinais longas (TLL FC-3)	7, 8, 10	3	21,43	0,2	4,29
Trincas interligadas tipo jacaré com erosão acentuada nas bordas das trincas (JE FC-3)	8, 9, 11, 13	4	28,57	0,8	22,86
				IGG	**70,00**

Fonte: Autoria própria, 2026.

O índice alcançado para o cálculo de IGG usando as imagens coletadas por VANT foi de 70, qualificando o pavimento com conceito Regular, de acordo com a norma DNIT 006/2003

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação do estado de conservação do pavimento asfáltico flexível da Avenida Princesa Isabel, no bairro Jesus de Nazaré, em Macapá/AP, utilizando a metodologia tradicional consolidada e difundida do Índice de Gravidade Global (IGG). Aliada à esta metodologia, também foi apresentado um método complementar baseado na análise de imagens obtidas pelo SARP.

De acordo com o índice obtido, correspondente a 108,6, o pavimento foi classificado em estado geral ruim, evidenciando elevado nível de degradação funcional e estrutural. Essa classificação decorre de incidência significativa de manifestações patológicas, dentre as quais se destacam corrugações, remendos superficiais, panelas e diferentes tipos de trincas. O tempo gasto para realização do IGG foi de aproximadamente 1h45min, etapa esta que contempla desde o momento de chegada, calibração de equipamentos e adoção de medidas de proteção contra a radiação solar

A presença desses defeitos compromete as condições de trafegabilidade da via, reduzindo a segurança operacional, o conforto dos usuários e o desempenho funcional do pavimento. Além disso, o estágio de deterioração observado indica a necessidade de implementação imediata de medidas de manutenção e reabilitação, visando reestabelecer as condições adequadas de serviço, evitar a progressão dos danos e minimizar o aumento dos cursos de recuperação em intervenções futuras.

A utilização do método de aerofotogrametria permitiu identificar os defeitos além possibilitar a delimitação de forma precisa as áreas degradadas ao longo do trecho estudado, possibilitando uma visão espacializada e não apenas localizada na estação definida pelo método probabilístico baseado no IGG, além de grau de detalhamento relativo à escala das imagens coletadas, o que traz uma importante contribuição para o levantamento e monitoramento do pavimento. Através da verificação da zona de voo restrito, ou No Fly Zone, foi possível obter uma permissão prévia automática atendendo aos critérios de altitude máxima. A rapidez na coleta de dados estimada em cerca de 30min, desde a solicitação de permissão de voo até o ultimo pouso da aeronave diminui o tempo de exposição dos operadores em campo

em favor da segurança. Estima-se em aproximadamente 4h o tempo gasto para tratamento das imagens e geração de ortomosaico através do software *metashape.* O índice calculado de 70 e conceito atribuído como “regular” demonstra que não houve a equivalência de defeitos identificados para ambos os métodos.

Ao comparar os dois métodos, observou-se que, embora o IGG seja um indicador confiável e consolidado para avaliação funcional, sua aplicação exige inspeção direta em campo, envolvendo mais tempo, pessoal e exposição a riscos operacionais. Já o método com uso de SARP demonstrou potencial como ferramenta complementar, ampliando a cobertura da avaliação, redução drástica do tempo gasto para coleta das imagens e reduzindo as limitações do levantamento manual, porém carecendo de aprimoramento nas técnicas de análise automatizadas para detecção precisa dos defeitos.

Em relação às limitações, a metodologia baseada em SARP apresentou desafios relacionados à interpretação visual das imagens, exigindo validação criteriosa com dados de campo para evitar possíveis erros. Além disso, condições adversas ambientais como baixa iluminação solar, sombreamento, veículos estacionados ou em locomoção pela via e transeuntes comprometem a boa coleta de imagens.

Por fim, recomenda-se a integração dos dois métodos como abordagem contínua para monitoramento dos pavimentos urbanos, aproveitando o rigor técnico do método probabilístico baseado no IGG e a agilidade da aerofotogrametria. Esta combinação pode auxiliar gestores públicos e privados a planejar e priorizar intervenções de manutenção de forma mais eficiente, contribuindo para a conservação da malha viária e a melhoria da mobilidade urbana no modal rodoviário

Assim, este estudo contribui tanto academicamente, ao inovar na aplicação conjunta de técnicas tradicionais e tecnológicas, quanto tecnicamente, ao fornecer subsídios para a gestão e conservação dos pavimentos asfálticos flexíveis em âmbito local.

Visando potencializar a detecção e análise das manifestações patológicas em pavimentos flexíveis, recomenda-se ampliar a pesquisa por meio da utilização de

diferentes tipos de tecnologias, como captação de imagens térmicas que podem revelar variações nos defeitos. O emprego de modelos de aprendizado baseado em inteligência artificial para análise automática e diagnóstico precoce das manifestações patológicas.

Essas estratégias visam aprimorar a acuracidade, agilidade e abrangência das avaliações, alinhado com a gestão preventiva e sustentável da infraestrutura viária urbana

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, Jean-Pierre. **Roman building: materials and techniques**. London: Routledge, 1994.

ALMEIDA, Larissa Pereira. **Aplicação do método IGG – Índice de Gravidade Global – para avaliação e determinação de serviços de reabilitação de pavimentos flexíveis: estudo de caso: Rua 01 da Universidade Federal do Amapá – Campus Marco Zero**. 2023. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERBEL, Mauê Foloni. **Aplicação do método do PCI – Pavement Condition Index – para determinação de serviços de restauração e manutenção em um trecho da Avenida Tupi de Pato Branco-PR**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14499/1/PB_COECI_2016_2_40.pdf >. Acesso em: 10 dez. 2025.

BERNUCCI, Liedi Bariani **et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial**. Brasília: CNT; SEST SENAT, 2018. Disponível em:<https://repositorio.itl.org.br/jspui/bitstream/123456789/148/2/Pesquisa%20CNT%20de%20Rodovias%202018%20-%20principais%20dados.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2025.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003a.

FEITOZA, Cley Jackson. **Aplicação do método aerofotogramétrico em levantamentos planimétricos e projetos de Engenharia Civil: estudo de caso IFAP-Campus Santana**. 2024. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2024

FLORES, Diego Moraes et al. **Aplicação da aerofotogrametria com VANT para análise de pavimentação asfáltica**. Contribuições a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, v. 18, n. 2, p. 01-24, 2025. DOI: 10.55905/revconv.18n.2-379. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/15841/9242.>Acesso em: Acesso em: 3 jan. 2026

NASCIMENTO, Eduardo Dornelas. **Avaliação de pavimentos flexíveis utilizando o método IGG – Índice de Gravidade Global: estudo de caso da Av. Caubi Sérgio Melo localizada no bairro Renascer em Macapá-AP**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Macapá, 2024. 136 f.

OLIVEIRA, Mateus Gonçalves et al. **Análise bibliográfica sobre avaliação funcional e estrutural de pavimentos em dois municípios brasileiros**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 27056-27068, abr. 2022. Disponível em:< https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/46564/pdf>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SANTOS, Isabela da Silva. **Análise Comparativa entre os Métodos de Levantamento Planialtimétrico (Topografia Convencional e Aerofotogramétrica). Estudo de Caso: Entorno da Ponte Sergio Arruda**. 2022. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2022

SILVA, K. C. S.; LOPES, G. H. Q.; ÁVILA, C. A. A. **Dimensionamento de pavimento flexível: Um comparativo entre os métodos DNIT e Medina aplicado a um trecho da avenida Minas Gerais em Governador Valadares (MG).** ForScience, v. 13, n. 1, p. e001318, 14 jul. 2025.

SILVA, Irineu da; SEGANTINE, Paulo Cesar Lima. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. São Paulo: LTC, 2015. 412 p. ISBN 978-8535284782