



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

BRUNO HENRIQUE SIMÕES SOUSA

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM TRECHOS DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA
(BR-230), LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA PARÁ**

**ITAITUBA - PA
2024**

BRUNO HENRIQUE SIMÕES SOUSA

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM TRECHOS DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA
(BR-230), LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA-PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Itaituba, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Ma. Marcela Santos da Silva

**ITAITUBA – PA
2024**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- S725a Sousa, Bruno Henrique Simões
Análise de patologias em trechos da rodovia transamazônica (BR-230), localizado no município de Itaituba Pará / Bruno Henrique Simões Sousa – Itaituba, 2024.
67 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Marcela Santos da Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Itaituba, Curso de Bacharelado em Engenharia Civil.

1. Rodovia. 2. Infraestrutura. 3. Patologias. I. Silva, Marcela Santos da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 624



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao nono dia do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 14h30min, realizou-se de maneira exclusivamente virtual (Link da videochamada: <https://meet.google.com/xzt-wohj-sid>), a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Bruno Henrique Simões Sousa**, intitulado: “**Análise de patologias em trechos da Rodovia Transamazônica (BR 230), localizados no município de Itaituba - PA**”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pela professora Ma. **Marcela Santos da Silva**, orientadora do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, o professor Esp. **Andrews Malone Pontes da Costa** e o professor Me. **Marcos Antônio Barbosa da Silva Junior**. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 10,0. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Marcela Santos da Silva, na qualidade de professora orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 09 de outubro de 2024.

Documento assinado digitalmente



MARCELA SANTOS DA SILVA
Data: 23/10/2024 14:04:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Presidente/orientador(a): _____.

Documento assinado digitalmente



ANDREWS MALONE PONTES DA COSTA
Data: 09/10/2024 17:27:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

Documento assinado digitalmente



MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR
Data: 09/10/2024 17:21:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____.

BRUNO HENRIQUE SIMÕES SOUSA

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM TRECHO DA RODOVIA TRANSAMAZÔNICA
(BR-230), LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA PARÁ**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil.

Conceito:

Data de Aprovação __/__/__

Prof. Ma. Eng. Marcela Santos da Silva - Orientadora
Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Esp. Andrews Malone pontes da costa
Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Me. Marcos Antonio Barbosa Da Silva Junior
Universidade Federal do Oeste do Pará

Dedico este trabalho aos meus pais, que mesmo nas maiores tempestades nunca soltaram os remos e me guiaram até a terra firme.

AGRADECIMENTO

Ao longo dessa jornada de desafios e aprendizados, fui abençoado com o apoio incondicional de pessoas especiais que me ajudaram a chegar até aqui. Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar forças nos momentos de dificuldade e por guiar meus passos, iluminando minha mente e meu coração nos momentos de incerteza.

Aos meus amados Pais, meu eterno agradecimento. Vocês foram meus maiores incentivadores, sempre presentes em todas as etapas, oferecendo apoio, conforto e amor incondicional. Cada sacrifício que fizeram para que eu pudesse seguir este caminho jamais será esquecido. Meu agradecimento especial vai também para minha namorada, Monique Eva, pelo apoio e amor incondicional ao longo de toda essa jornada. Seu carinho e compreensão me fortaleceram nos momentos mais difíceis, e seu incentivo constante foi essencial para que eu pudesse seguir em frente com determinação.

À Professora Marcela Santos da Silva, minha orientadora, agradeço a sabedoria, paciência e generosidade ao compartilhar seus conhecimentos. Suas orientações precisas e seu exemplo de dedicação foram fundamentais para a qualidade e direção do meu trabalho.

Gostaria também de expressar meu profundo reconhecimento aos meus amigos Osmiro Junior, Wétonno Xavier, Jean Silva, Carlírio Redig e Andryo Henrique. Sua amizade e apoio inabalável foram essenciais para que eu pudesse superar os obstáculos da caminhada acadêmica. A presença de vocês ao meu lado, com conselhos e palavras de encorajamento, fez toda a diferença.

Por fim, a todos os meus professores, colegas de aula e à Empresa Júnior EngLab, da qual tive o privilégio de participar da criação e onde aprendi muito sobre o mercado de trabalho, o meu sincero agradecimento. O incentivo de cada um de vocês foi um pilar de força nesta jornada. Cada contribuição, grande ou pequena, impactou profundamente minha formação, tanto como estudante quanto como pessoa. A todos, o meu muito obrigado.

"Os cientistas estudam o mundo como ele é,
os engenheiros criam o mundo que nunca
foi." (KÁRMÁN, THEODORE)

RESUMO

Rodovia BR-230, conhecida como Transamazônica, desempenha um papel fundamental na economia do Brasil ao facilitar o transporte de mercadorias e o deslocamento de pessoas. No entanto, conforme destacado neste estudo, a infraestrutura precária da rodovia tem causado sérios problemas, como danos às mercadorias, aumento dos custos operacionais e uma queda na eficiência logística. A pesquisa realizada adotou uma abordagem de estudo de caso, com revisão bibliográfica e análise de normas técnicas, com foco na identificação e quantificação das patologias presentes no pavimento, utilizando métodos como o ensaio de mancha de areia. Essa metodologia foi essencial para mensurar a macrotextura da superfície do pavimento e identificar principais patologias, como panelas, trincas e afundamentos. As patologias foram catalogadas com base nas diretrizes das normas DNIT 005 e 006, permitindo uma avaliação detalhada através dos Índices de Gravidade Individual (IGI) e Global (IGG). Os resultados indicaram que muitas áreas da rodovia estão em estado avançado de deterioração, com trechos classificados como ruins ou péssimos pelo IGG. As principais causas observadas foram o fluxo intenso de veículos pesados e a falta de manutenção regular ao longo dos anos. O estudo ressalta a necessidade urgente de intervenções de restauração e manutenção na BR-230, especialmente em regiões críticas para o transporte de mercadorias. Entre as soluções propostas estão o fresamento e recapeamento, melhorias no sistema de drenagem e a implementação de um cronograma de manutenção contínua para prolongar a vida útil da rodovia e garantir a segurança dos usuários. Além disso, sugere-se a realização de futuras pesquisas que explorem os impactos ambientais e sociais da deterioração da BR-230, além de estudos comparativos com outras rodovias em condições semelhantes.

Palavras-chave: Rodovia. Infraestrutura. Patologias.

ABSTRACT

The BR-230 highway, known as the Transamazônica, plays a crucial role in Brazil's economy by facilitating the transport of goods and the movement of people. However, as highlighted in this study, the poor state of its infrastructure has caused serious issues, such as damage to goods, increased operational costs, and a decline in logistical efficiency. The research adopted a case study approach, including a literature review and analysis of technical standards, focusing on identifying and quantifying pavement pathologies using methods such as the sand patch test. This methodology was essential for measuring the surface macrotexture of the pavement and identifying key defects, such as potholes, cracks, and ruts. These pathologies were cataloged based on the guidelines from DNIT 005 and 006, allowing for a detailed evaluation through the Individual Severity Index (ISI) and the Global Severity Index (IGG). The results indicated that many sections of the road are in an advanced state of deterioration, with several stretches classified as poor or very poor by the IGG. The main causes observed were the heavy flow of freight vehicles and the lack of regular maintenance over the years. The study emphasizes the urgent need for restoration and maintenance interventions on the BR-230, particularly in critical regions for freight transport. Proposed solutions include milling and resurfacing, improvements to the drainage system, and the implementation of a continuous maintenance schedule to extend the road's service life and ensure user safety. Additionally, future research is suggested to explore the environmental and social impacts of the BR-230's deterioration, as well as comparative studies with other highways in similar conditions.

Keywords: Highway. Infrastructure. Pathologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do pavimento	21
Figura 2 - Aplicação de Imprimação	23
Figura 3 – Componentes do Pavimento Rígido	28
Figura 4 - Corte detalhado do pavimento rígido.....	29
Figura 5 - Componentes do pavimento flexível.....	29
Figura 6 - Deformação elástica.....	30
Figura 7 - Trinca transversal	32
Figura 8 - Trinca longitudinal	32
Figura 9 - Trinca "Couro de Jacaré"	33
Figura 10 - Trinca tipo "Bloco"	34
Figura 11 - Afundamento de trilha de roda	35
Figura 12 - Afundamento local.....	35
Figura 13 - Afundamento por consolidação	36
Figura 14 - Ondulação	36
Figura 15 - Escorregamento	37
Figura 16 - Exsudação.....	37
Figura 17 - Desgaste	38
Figura 18 - Panela/buraco	38
Figura 19 - Percurso do trecho nº 1	40
Figura 20 - Percurso do trecho nº 2.....	40
Figura 21 - Estações de Ensaio.....	40
Figura 22 - Croqui base de coordenadas das estações	41
Figura 23 - Locação de estação de ensaio.....	41
Figura 24 - Quarteamento de amostra de areia.....	43
Figura 25 - Secagem ao ar livre da areia.....	43
Figura 26 - Amostragem retida na peneira de 0,3 mm	44
Figura 27 - Representação de micro e macrotextura.....	44
Figura 28 - Limpeza do local para execução de ensaio.....	45
Figura 29 - Aplicação da areia	45
Figura 30 - Dispersão da areia	46
Figura 31 - Medição dos diâmetros da mancha.....	46
Figura 32 - Tabela de registro de mancha de areia	47

Figura 33 - Classe de Macrotextura (Mancha de areia).....	47
Figura 34 - Aplicação do Revestimento em função do HS.....	48
Figura 35 - Localização de estações de ensaio.....	51
Figura 36 - Panela	55
Figura 37 - Remendo profundo.....	55
Figura 38 - Locação de estações do trecho 2.....	57

LISTA E TABELAS

Tabela 1 – Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico	24
Tabela 2 - Comparativo entre pavimentos flexíveis e rígidos	30
Tabela 3 - Coordenadas de latitude e longitude das estações	41
Tabela 4 -Resultado de ensaio de granulometria da areia	44
Tabela 5 - Fator de ponderação para cálculo de IGG.....	48
Tabela 6 - Condição do pavimento em função do IGG	49
Tabela 7 - Coordenadas das estações do trecho 1	51
Tabela 8 - Diâmetro das manchas de areia das estações do trecho 1	52
Tabela 9 - Coordenadas das estações do trecho 2	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados de mancha de areia	53
Gráfico 2 - Nº de patologias por estação do trecho 1	54
Gráfico 3 - Porcentagem de predominância de patologias catalogadas	54
Gráfico 4 - Dados de mancha de areia	58
Gráfico 5 - Nº de patologias por estação do trecho 2	59
Gráfico 6 - Porcentagem de predominância de patologias catalogadas	60

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IGG	Índice de Gravidade Global

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	Objetivo.....	18
2.1	Objetivo Geral	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	JUSTIFICATIVA	19
4	Referencial Teórico.....	20
4.1	Pavimentação rodoviário no Brasil.....	20
4.2	Estrutura do Pavimento.....	20
4.2.1	Subleito	21
4.2.2	Regularização do Subleito	22
4.2.3	Reforço de Subleito.....	22
4.2.4	Sub-base.....	23
4.2.5	Base.....	23
4.2.6	Imprimação	23
4.2.7	Revestimento	24
4.3	Materiais dos pavimentos	25
4.3.1	Agregados.....	25
4.3.2	Ligantes asfálticos.....	26
4.4	Principais tipos de pavimentos	28
4.5.1	Comparativo entre tipos de pavimentos.....	30
4.6	Patologias no pavimento flexível.....	31
4.6.1	Fenda.....	31
4.6.4	Afundamento.....	34
4.6.4	Ondulação ou corrugação	36
4.6.5	Escorregamento.....	37

4.6.6	Exsudação	37
4.6.7	Desgaste	38
4.6.8	Remendo	39
5	Metodologia	39
5.1	Descrição dos trechos.....	39
5.2	Método de Amostragem	40
5.3	Análise visual de patologias nas estações.....	42
5.4	Ensaio de Mancha de Areia.....	42
5.4.1	Equipamentos utilizados	42
5.4.2	Da execução do ensaio.....	44
5.5	Índice de Gravidade Global (IGG).....	48
6	Resultados e discussões	51
6.1	Trecho 1	51
6.1	Trecho 2	56
7	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	64
	ANEXO A – inventário do estado da superfície do pavimento	66

1 INTRODUÇÃO

O modal rodoviário desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo responsável pelo transporte de grande parte das mercadorias e pelo deslocamento de pessoas em todo o país. A capilaridade e a flexibilidade das rodovias brasileiras permitem a interligação de cidades, estados e regiões, facilitando o acesso a áreas urbanas, centros de produção e portos. Esta extensa malha rodoviária é essencial para o transporte de mercadorias de diferentes setores, desde alimentos até produtos industrializados e matérias-primas. Segundo a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2022), o Transporte Rodoviário de Cargas é responsável por 64,7% da matriz de cargas do país.

A qualidade e o custo do frete no Transporte Rodoviário de Cargas - TRC brasileiro são diretamente proporcionais às condições da infraestrutura, incluindo pavimentação, traçado geométrico e sinalização. Burtet (2019) destaca que vias rurais, em condições precárias, resultam em: i) custos elevados; ii) maior consumo de combustível, e iii) aumento do tempo de frete, impactando a integridade das mercadorias transportadas, desde o ponto de origem até a chegada aos portos.

Dados do Anuário da Confederação Nacional de Transportes de 2022 revelam que a malha rodoviária brasileira tem uma extensão de 1.720.909 km, dos quais apenas 213.500 km (12,4%) são pavimentados. Essa situação dificulta a logística das transportadoras, e coloca em risco os usuários das rodovias.

A BR-230, conhecida como Transamazônica, é uma rodovia transversal, que apresenta mais de 4.000 quilômetros de extensão, que conecta o litoral nordestino ao oeste do Pará, passando por várias cidades e regiões. Apesar de sua importância, a BR-230 enfrenta inúmeros problemas relacionados à pavimentação. A falta de manutenções periódicas, as condições climáticas extremas e o tráfego intenso de veículos de carga, contribuem para o surgimento de patologias no pavimento. O "Ranking de Rodovias", elaborado pela CNT indica que a maioria dos trechos da BR-230 está em condições "regulares" ou "ruins", resultando em custos operacionais elevados, como no ano de 2022, que totalizaram R\$ 4.892.089.263,75. O trecho que interliga Itaituba - PA a Palestina do Pará - PA, com 772 km de extensão, é classificado como "ruim" e requer um investimento de R\$ 2.160.089.524,39 para sua reconstrução.

Nesse sentido, o presente trabalho busca levantar as patologias presentes em trechos específicos da BR-230, localizado no município de Itaituba, visando identificar

e classificar os principais defeitos no pavimento, além de avaliar suas principais causas. A metodologia inclui levantamentos *in loco*, técnicas de diagnóstico de patologias e uma análise comparativa com normas técnicas vigentes. Espera-se que os resultados forneçam subsídios para a implementação de medidas corretivas e preventivas, contribuindo para a melhoria da rodovia e para a eficiência do transporte rodoviário na região.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Identificar e classificar as principais patologias encontradas em trechos críticos, pré-definidos, na Rodovia Transamazônica (BR-230), localizada no município de Itaituba - PA.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir as condições de desgaste nos trechos da rodovia, considerando as patologias presentes no pavimento e o impacto gerado pelo tráfego;
- Catalogar e analisar as patologias observadas no pavimento, fundamentando-se em estudos prévios e nas normas técnicas vigentes;
- Classificar os trechos da rodovia em termos da condição funcional do pavimento;
- Investigar, por meio de revisão bibliográfica, as possíveis causas das patologias identificadas, avaliando fatores que influenciam os problemas e propondo melhorias específicas.

3 JUSTIFICATIVA

A BR-230, também conhecida como Transamazônica, foi projetada com o objetivo de conectar áreas isoladas da Amazônia ao restante do país, desempenhando um papel estratégico desde a década de 1970. Em Itaituba, a BR-230 é fundamental para a economia local, sendo a principal via de escoamento de produtos agrícolas e minerais, conectando a região a importantes centros urbanos e comerciais. Segundo Braga (2011), a criação da Transamazônica impulsionou a ocupação da Amazônia e transformou a dinâmica socioeconômica local, favorecendo o crescimento de Itaituba. Antes da construção da rodovia, o município enfrentava grandes dificuldades de acesso, limitando seu desenvolvimento. A chegada da BR-230 integrou a cidade à rede nacional de transporte, facilitando o fluxo de mercadorias e atraindo novos investidores, especialmente na área de mineração e agricultura.

Além de sua relevância econômica, a BR-230 teve um impacto social significativo, melhorando a qualidade de vida da população. De acordo com Marçal Braga (2011), a rodovia permitiu que comunidades isoladas tivessem acesso a serviços essenciais, como saúde e educação, contribuindo para o desenvolvimento social de Itaituba e das regiões vizinhas. No entanto, a infraestrutura da BR-230 ainda enfrenta desafios, especialmente relacionados à manutenção. Conforme Braga (2011), a falta de conservação regular eleva os custos de transporte e compromete a eficiência logística, afetando diretamente o escoamento de produtos agrícolas e minerais.

Diante desses desafios, este estudo torna-se relevante ao fornecer uma análise detalhada das condições de desgaste do pavimento da BR-230, identificando as patologias presentes e propondo soluções técnicas baseadas em normativas vigentes. Ao catalogar e avaliar as condições da rodovia, este trabalho trará contribuições importantes para a definição de estratégias de manutenção e recuperação, assegurando a funcionalidade da rodovia e minimizando os impactos negativos tanto na economia local quanto na segurança dos usuários.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Pavimentação rodoviário no Brasil

O termo “pavimento”, segundo Senço (2008), é utilizado para descrever a estrutura construída sobre uma terraplanagem, composta por camadas de espessuras definidas, cuja função é distribuir e resistir tanto aos esforços verticais quanto aos esforços horizontais que causam desgastes, ao mesmo tempo em que proporciona segurança e conforto aos usuários.

Ademais, a análise da CNT (2017) destaca que a eficácia do pavimento está diretamente ligada à três características principais sendo sua durabilidade, conforto e segurança. A durabilidade é relacionada à resistência ao tráfego e intempéries. A segurança depende da interação entre veículo e pavimento, enquanto o conforto se associa ao índice de serventia, indicando a capacidade de proporcionar rolamento suave em diversas condições de tráfego.

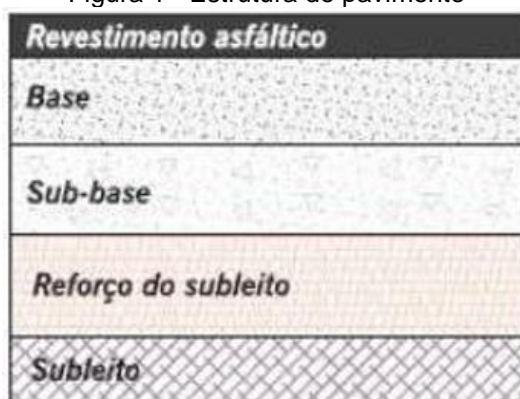
Na década de 1950 o cenário brasileiro, como descrito por Brasil (2006), testemunhou um notável avanço nas técnicas de pavimentação, resultante do intercâmbio entre o Brasil e os Estados Unidos. Esse progresso levou à necessidade de padronizar e normalizar as especificações de serviços e das técnicas de construções, culminando na publicação do Manual de Pavimentação em 1960 pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER. Todavia, apesar da pavimentação rodoviária no Brasil ter sido objeto de estudos e práticas realizados por técnicos do então DNER, essa iniciativa criou um marco crucial na história da engenharia rodoviária no Brasil, refletindo o compromisso do país em alcançar padrões de excelência na construção e manutenção de suas vias, garantindo a qualidade e segurança das estradas brasileiras, bem como impulsionando a mobilidade e o crescimento econômico do país.

4.2 Estrutura do Pavimento

Conforme Balbo (2008), a estrutura do pavimento é projetada, sob uma perspectiva puramente estrutural, para receber e transmitir esforços, aliviando as pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes, todas as partes do pavimento devem receber deformações compatíveis com sua natureza e capacidade de suporte. Essa abordagem visa evitar processos prematuros e inadvertidos de ruptura ou danificação nos materiais que compõem as diversas camadas do pavimento.

Outrossim, Balbo (2008), aponta que para essa deformação uniforme a estrutura do pavimento deverá compreender a diversas camadas, Figura 1, incluindo revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, sendo este último considerado a fundação e uma parte integral da estrutura. Em alguns casos, o pavimento pode não incluir camadas de sub-base ou reforço, quando o tráfego previsto para a via é de baixa intensidade ou quando o solo de subleito apresenta boas condições de suporte. No entanto, a presença de revestimento, mesmo que seja primário, e do subleito são condições mínimas para que a estrutura seja denominada pavimento.

Figura 1 - Estrutura do pavimento



Fonte: Bernucci et al., 2010.

4.2.1 Subleito

O subleito, de acordo com as definições de Senço (2008), é a camada de solo ou material que fica abaixo de todos os demais componentes do pavimento e atua como a fundação sobre a qual a infraestrutura é construída. Ele é composto por material natural consolidado e compactado, oferecendo suporte e estabilidade. A possibilidade de regularizar de sua superfície é fundamental para evitar afundamentos e movimentações que comprometeriam a durabilidade do pavimento.

Conforme Balbo (2008), a espessura do pavimento e a escolha dos materiais das camadas estão diretamente relacionadas ao estado do subleito. Quando ele apresenta condições desfavoráveis, pode ser necessário aumentar a espessura do pavimento, às vezes até realizar uma substituição parcial do subleito para melhorar a qualidade. Além disso, reconhece-se a importância de conduzir o estudo do solo do subleito, que geralmente ocorre após a terraplanagem, mas há uma tendência crescente de realizá-lo antes, integrando de maneira mais abrangente os aspectos de geotecnia e pavimentação no projeto rodoviário.

4.2.2 Regularização do Subleito

A "camada de regularização", conforme definido por Senço (2008), é uma parte essencial da preparação do subleito e tem como objetivo conformar o terreno de acordo com o projeto do pavimento, tanto transversal quanto longitudinalmente. A regularização, sempre que possível, deve ser executada em forma de aterro, evitando assim cortes complicados no material que já foi compactado pelo tráfego ao longo dos anos. Isso é importante para evitar a substituição de uma camada já naturalmente compactada por uma camada que, nem sempre, atinge o grau de compactação desejado no projeto.

Brasil (2006), define que em casos de execução de pavimento sobre um leito natural antigo de estrada de terra, a superfície do subleito poderá apresentar maior irregularidade e demandando mais atenção que solos nunca utilizados. Nesses casos, a regularização envolve a aplicação de uma camada de espessura variável, que pode chegar a até 20 centímetros.

Outrossim, a CNT (2017), expressa que embora a regularização do subleito possa não parecer uma tarefa complexa, é fundamental que seja executada de acordo com todos os requisitos técnicos da Norma DNIT 137/2010-ES. Haja vista que qualquer execução inadequada pode comprometer todo o trabalho de pavimentação, causando danos à estrutura como um todo.

4.2.3 Reforço de Subleito

A técnica do reforço do subleito de pavimento flexível, de acordo com a CNT (2017), envolve a construção de uma camada projetada para melhorar as características de suporte do solo de fundação da infraestrutura. Essa camada de reforço é implementada acima do subleito que foi regularizado e tem como principais funções a resistência e distribuição dos esforços verticais provenientes do tráfego. Sua espessura longitudinal pode variar de acordo com as necessidades do dimensionamento do pavimento e é frequentemente aplicada em situações que envolvem estruturas espessas, fundações de baixa qualidade ou tráfego de cargas pesadas. É importante destacar que os materiais selecionados para essa camada devem apresentar características técnicas superiores às do subleito, porém inferiores às do material da camada superior.

4.2.4 Sub-base

A sub-base, como mencionado por Senço (2008), é uma camada complementar à base e é utilizada quando, por questões técnicas e econômicas, não é viável construir a base diretamente sobre a regularização ou o reforço do subleito.

De acordo com Balbo (2008), se bem compactada a sub-base do pavimento pode ser composta por diversos materiais, incluindo solos, areia, seixos e outras combinações que ofereçam estabilidade e durabilidade adequadas para suportar as cargas.

Quanto a característica de drenagem da sub-base, a CNT (2017), descreve que ela controla a ascensão capilar da água, uma propriedade dos fluidos que permite sua ascensão hídrica por tubos extremamente finos. Essa característica é particularmente importante quando se trata de terrenos de fundação com umidade ou presença de água.

4.2.5 Base

A base, conforme destacado por Senço (2008), é a camada de um pavimento que desempenha o papel fundamental de aliviar os esforços advindos dos veículos sobre o revestimento e repassar para as camadas inferiores.

Quanto a capacidade estrutural, Balbo (2008), define que está intimamente relacionada às propriedades de resistência e rigidez dos materiais usados em sua composição, frequentemente apresentando características tecnológicas superiores em relação aos materiais da sub-base.

4.2.6 Imprimação

Em muitos casos faz-se necessário a utilização de técnicas que promovam a aderência entre camadas, chamadas de imprimação ou pintura asfálticas, Figura 2.

Figura 2 - Aplicação de Imprimação



Fonte: Bernucci et al., 2010.

De acordo com a CNT (2017), essa técnica, desempenha um papel fundamental na preparação de superfícies em pavimentos, uma vez que aumentar a coesão da superfície, fixar partículas soltas e impermeabilizar a camada antes da aplicação da camada superior. Em geral, é realizada entre a base e o revestimento, mas, em determinados casos, pode ser aplicada sobre a camada de sub-base. Por outro lado, a pintura de ligação, ou imprimadura ligante, tem como objetivo promover a aderência entre as camadas. Ela é aplicada sobre a superfície de uma camada asfáltica, tanto nova quanto antiga, especialmente em situações de reforço ou recapeamento.

4.2.7 Revestimento

De acordo com a explicação de Senço (2008), o revestimento, também conhecido como capa de rolamento, constitui a camada superior do pavimento que está diretamente exposta à ação do tráfego e intemperes. Sua função principal é melhorar as condições de rolamento em termos de conforto, segurança e ao mesmo tempo em que deve ser altamente resistente ao desgaste, visando a aumentar a durabilidade do pavimento.

A CNT (2017) enfatiza que, por motivos de ordem econômica, técnica e construtiva, é comum que os revestimentos asfálticos sejam compostos por duas ou mais camadas distintas, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico

Designação	Definição	Outras designações
Camada de rolamento	É a camada superficial do pavimento, diretamente em contato com as cargas e com ações ambientais.	Camada de desgaste, capa de rolamento, revestimento
Camada de ligação	É a camada intermediária, também em mistura asfáltica, entre a camada de rolamento e a base do pavimento.	Camada de Binder

(Continua)

(Continuação)

Designação	Definição	Outras designações
Camada de nivelamento	Sua função é corrigir os desníveis, afundamentos localizados e nivelar o perfil do greide.	Camada de reperfilagem ou simplesmente reperfilagem
Camada de reforço	Camada nova, executada para fins estruturais	“Recape” e recapeamento são termos populares (usa-se também a expressão “pano asfáltico”)

Fonte: Adaptado de CNT, 2017.

4.3 Materiais dos pavimentos

Conforme destacado por CNT (2017), a definição dos materiais para cada camada do pavimento envolve a utilização de métodos de seleção e caracterização de suas propriedades. Em linhas gerais, os materiais devem exibir boa resistência, deformação limitada e permeabilidade adequada às funções da camada específica na estrutura do pavimento em que serão aplicados. Esses materiais compreendem principalmente agregados, solos e ligantes.

4.3.1 Agregados

De acordo com Bernucci et. al. (2010), os agregados na engenharia de pavimentos são definidos como materiais inertes, de origem natural ou artificial, provenientes da desagregação de rochas ou de processos metalúrgicos, que podem ser aplicados em diversas obras de engenharia, como rodovias, ferrovias e barragens.

A classificação dos agregados desempenha um papel fundamental na seleção e utilização desses materiais em projetos de pavimentação. Segundo Bernucci et al. (2010), os agregados podem ser classificados com base em diferentes critérios, proporcionando uma compreensão abrangente de suas características. A classificação considera principalmente a origem, a forma e o tamanho das partículas.

De acordo com Bernucci et al. (2010), os agregados podem ser categorizados em duas principais origens, sendo os naturais, aqueles originados a partir da

desagregação natural de rochas; e os sintéticos, que são resultado de processos industriais, como a escória de aciaria.

A forma das partículas corresponde outro critério importante no ato da definição do material, pois influi diretamente nas propriedades das misturas asfálticas. Bernucci et al. (2010) propõem a seguinte classificação com base nas formas das partículas.

- a) arredondado: partículas com contornos suaves e arredondados. Exemplos incluem seixos rolados;
- b) angular: partículas com contornos irregulares e arestas agudas. Exemplos incluem alguns tipos de brita;
- c) lamelar: partículas com formato achatado. A lamelaridade pode afetar a adesividade do agregado ao ligante asfáltico.

Por fim, o tamanho das partículas é uma característica crítica, que impacta diretamente nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas. A classificação do tamanho das partículas, conforme Bernucci et al. (2010), pode ser realizada de acordo com as seguintes categorias:

- a) areia: partículas de diâmetro entre 0,05 mm e 4,75 mm;
- b) pedregulho: partículas de diâmetro entre 4,75 mm e 76 mm;
- c) brita: partículas de diâmetro entre 76 mm e 152 mm;
- d) seixo rolado: partículas arredondadas de diâmetro maior que 152 mm.

Segundo a CNT (2017), no caso das misturas para pavimentos, é fundamental que os agregados apresentem características como durabilidade, resistência e boa adesividade ao ligante para garantir a qualidade e o desempenho do pavimento.

Nesse contexto, o desempenho dos agregados em pavimentação asfáltica exige uma análise mais profunda de suas particularidades. Segundo Bernucci (2008), os agregados passam por um longo processo de evolução geológica, o que influencia diretamente sua aplicação em pavimentos. Compreender a origem e transformação desses materiais ao longo de milhões de anos é essencial para avaliar sua eficácia quando incorporados aos ligantes asfálticos. Além disso, sua durabilidade deve ser analisada em termos de engenharia, com períodos que abrangem anos ou até décadas, ressaltando a importância de seu histórico geológico para garantir o uso eficaz em pavimentação de longo prazo.

4.3.2 Ligantes asfálticos

Na construção de pavimentos, o papel dos ligantes asfálticos é essencial para garantir a durabilidade e coesão da estrutura. Bernucci et. al (2010), ressalta que

esses materiais são substâncias responsáveis por promover a ligação entre os componentes granulares do pavimento. Além de unir os agregados, os ligantes asfálticos conferem resistência e flexibilidade ao pavimento, fatores cruciais para suportar as cargas e as variações ambientais.

Os ligantes asfálticos apresentam diferentes conceituações, sendo essencial compreender suas distinções. De acordo com Bernnucci et. al (2010), há três categorias principais de ligantes asfálticos:

- a) betume: trata-se de uma mistura de hidrocarbonetos pesados, com propriedades ligantes, muitas vezes derivados do petróleo. Este componente, inflamável e de elevada viscosidade, pode ser encontrado na natureza ou produzido por destilação de fontes como petróleo, carvão, madeira ou resinas;
- b) asfalto: uma mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo, cujo principal constituinte é o betume. Esta mistura pode conter pequenas proporções de oxigênio, nitrogênio e enxofre. A nomenclatura "asfalto" varia globalmente, sendo no Brasil frequentemente associada ao ligante obtido do petróleo;
- c) alcatrão: designação genérica para um produto que contém hidrocarbonetos, obtido através da queima ou destilação do carvão. Similar ao betume, o alcatrão é um material betuminoso. No entanto, seu uso na pavimentação foi drasticamente reduzido devido a preocupações com seu potencial cancerígeno e baixa qualidade como ligante para pavimentação.

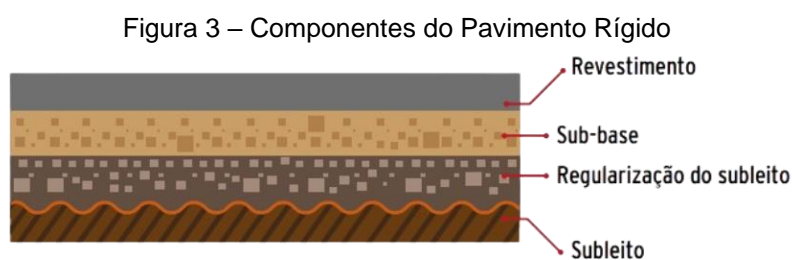
O processo de obtenção dos ligantes asfálticos é fundamental para determinar suas propriedades e aplicabilidade. Bernnucci et. al (2010), descreve que na produção de ligantes asfálticos ocorre, em sua maioria, a partir do processamento de petróleo bruto em refinarias especializadas. Diferentes processos são empregados com base na natureza do petróleo.

- a) destilação direta: utilizado em petróleos de base asfáltica, este processo, em um estágio, resulta em ligantes asfálticos adequados para pavimentação;
- b) destilação em dois estágios: necessário para petróleos não baseados em asfalto, este método compreende destilação atmosférica seguida de destilação a vácuo;
- c) desasfaltação por solvente: Aplicado a petróleos leves ou intermediários, esse processo envolve a extração dos resíduos de vácuo com solventes de baixa massa molar.

A CNT (2017), afirma que escolha do método de produção influencia diretamente nas propriedades finais do ligante, afetando sua consistência e comportamento durante a aplicação em pavimentos. O controle preciso desses processos é essencial para garantir ligantes asfálticos de alta qualidade e desempenho consistente ao longo do tempo.

4.4 Principais tipos de pavimentos

Segundo Bernucci et al. (2010), a classificação dos pavimentos divide-se em duas categorias principais, sendo o pavimento rígido caracterizado pelo uso de placas de concreto, Figura 3, enquanto o pavimento flexível é composto por camadas de materiais granulares cobertas por uma camada de eito de uma mistura de agregados minerais (como brita e areia) e ligantes asfálticos, que proporcionam a coesão e resistência necessárias para suportar o tráfego de veículos e as condições climáticas, também chamada de rolamento asfáltico.

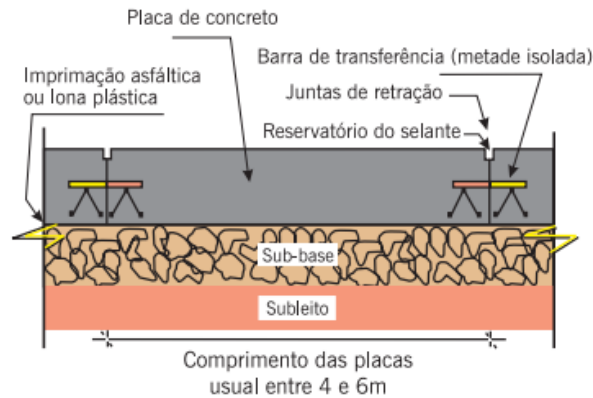


Fonte: CNT, 2017.

De acordo com Brasil (2006), no pavimento rígido a resistência à flexão dessas placas é o principal fator que garante a integridade estrutural desse tipo de pavimento, permitindo que ele suporte o tráfego intenso sem sofrer deformações significativas. A rigidez do concreto distribui as tensões de maneira eficiente pelas camadas inferiores e pelas juntas de retração, Figura 4, evitando danos profundos ao solo e, como resultado, oferecendo maior durabilidade e menor necessidade de manutenção em comparação aos pavimentos flexíveis.

Além da resistência à flexão, o desempenho do pavimento rígido depende diretamente da qualidade do projeto e da execução das juntas. Bernucci et al. (2010) ressaltam que o dimensionamento adequado das placas de concreto e o posicionamento correto das juntas são essenciais para prevenir fissuras e garantir a estabilidade ao longo do tempo. A correta distribuição das tensões entre as placas impede a propagação de trincas, resultando em um pavimento mais resistente tanto às variações climáticas quanto às cargas de tráfego.

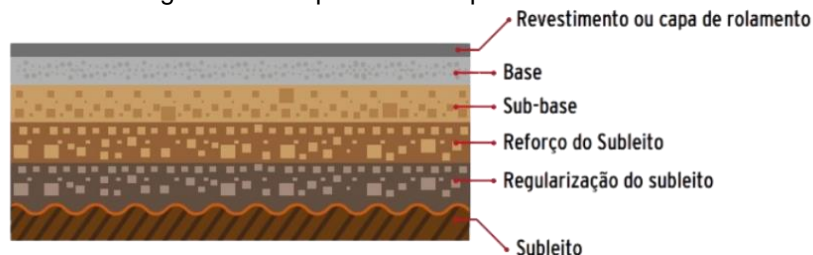
Figura 4 - Corte detalhado do pavimento rígido



Fonte: Bernucci et al, 2010.

O DNIT, conforme definido pelo Brasil (2006), caracteriza o pavimento flexível como composto por uma camada superficial asfáltica denominada de revestimento, sobre camadas de base, sub-base, reforço do subleito, regularização e pelo subleito, figura 5. O aspecto crucial desse tipo de pavimento é sua capacidade de sofrer deformação elástica sob cargas, permitindo a distribuição uniforme da pressão em todas as camadas.

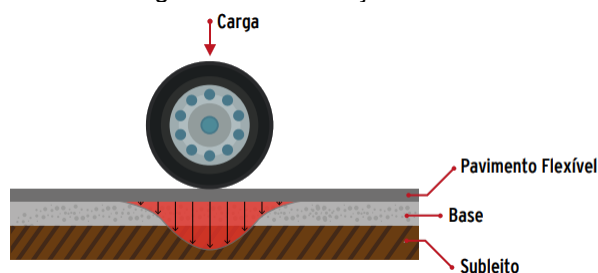
Figura 5 - Componentes do pavimento flexível



Fonte: CNT, 2017.

Segundo Silva (2008), a deformação elástica, figura 6, no pavimento flexível, conhecida no meio rodoviário como deflexão, é o processo pelo qual a absorção de esforços ocorre de forma segmentada verticalmente, concentrando-se nas camadas inferiores na proximidade da carga aplicada. Essa característica fundamental da deformação elástica no pavimento flexível desempenha um papel crucial na distribuição de tensões e na capacidade de absorção de cargas, influenciando diretamente a durabilidade e a eficiência das estradas.

Figura 6 - Deformação elástica



Fonte: CNT, 2017.

4.5.1 Comparativo entre tipos de pavimentos

Segundo Bernucci et al. (2010), a escolha entre pavimento rígido e pavimento flexível depende de diversos fatores, incluindo a durabilidade, custo inicial e manutenção ao longo do tempo. O pavimento rígido, composto por placas de concreto de cimento Portland, apresenta maior durabilidade e resistência a tráfegos pesados, sendo ideal para rodovias de alta demanda. Por outro lado, o pavimento flexível, que utiliza camadas de agregados e ligantes asfálticos, é mais comum no Brasil devido ao menor custo de construção inicial. No entanto, ele requer manutenções mais frequentes, o que pode elevar seu custo ao longo do tempo. A Tabela 2 classifica os principais diferenciais entre os dois tipos de pavimentos com base em fatores como durabilidade, manutenção e custo.

Tabela 2 - Comparativo entre pavimentos flexíveis e rígidos

	Pavimentos flexíveis	Pavimentos rígidos
Investimento inicial	Varia de acordo com cada região	30% menor que pavimentos flexíveis
Vida útil	8 a 12 anos	25 a 30 anos
Manutenção	Manutenção frequente e complexas	Pouca necessidade de manutenção.
Espessura	Maior quantidade de camadas	Menor quantidade de camadas
Distribuição das tensões	A carga é distribuída para todas as camadas	A placa absorve a maior parte das tensões
Materiais utilizados	Derivados do petróleo	Placas de concreto

(Continua)

(Continuação)

Aderência	Alto índice de aderência	Baixo índice de aderência
Difusão de luz	Menor índice de difusão de luz	Maior índice de difusão de luz.
Drenagem	Absorve a umidade com rapidez e requer maiores caimentos.	Melhores características de drenagem superficial.
Segurança quanto à derrapagem	Superfície escorregadia quando molhada.	Fornecer boa aderência do pneu, devido à textura dada a superfície.

Fonte: CNT, 2017.

4.6 Patologias no pavimento flexível

Para Reis (2009), as patologias em pavimentos flexíveis estão frequentemente relacionadas à deterioração dos componentes que compõem a estrutura. Esses problemas são comumente causados por erros na execução, falta de projeto adequado, ausência de drenagem, além do mal estudo acerca do tráfego de veículos que deverá solicitar a via.

A norma DNIT 005/2003 – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, identifica oito tipos de patologias para este tipo de pavimento, sendo elas, fenda, afundamento, ondulação ou corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, panela e remendo.

4.6.1 Fenda

Para Bernucci et. al. (2010) as fendas são consideradas aberturas na superfície do pavimento asfáltico e podem ser categorizadas como fissuras ou trincas, dependendo da visibilidade a olho nu a uma distância inferior ou superior a 1,5 metros, respectivamente. As fendas são classificadas com base em sua tipologia e gravidade. A gravidade das fendas é dividida em três classes: classe 1 (abertura de fendas não superior a 1 mm), classe 2 (abertura de fendas superior a 1 mm) e classe 3 (abertura de fendas superior a 1 mm com desagregação ou erosão nas bordas). Quanto a tipologia, as fendas poderão ser classificadas como trincas isoladas ou interligadas.

Quanto a causa de sua incidência em pavimentações, para Pinto (2003), existe diversas causas para o aparecimento de fissuras, tais como a ausência de capacidade

de suporte nas camadas granulares, a rigidez superior da camada superficial em relação às demais camadas e a utilização de materiais de baixa qualidade.

4.6.2 Trincas isoladas

4.6.2.1 Trinca transversal

As trincas transversais são fissuras isoladas que seguem uma direção perpendicular ao eixo da estrada. Segundo Brasil (2003), se a fissura tiver até 100 cm de extensão, é classificada como trinca transversal curta. Se ultrapassar 100 cm, é considerada trinca transversal longa. Essas trincas indicam desgaste do pavimento e podem variar em severidade, influenciando a necessidade de manutenção.

Figura 7 - Trinca transversal

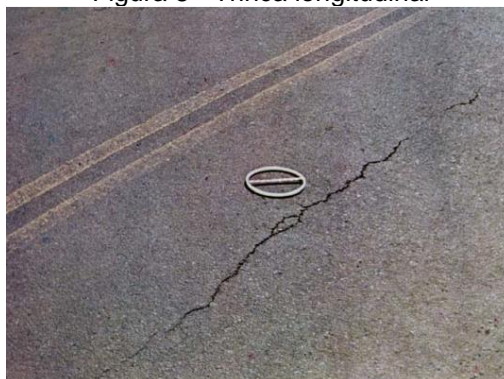


Fonte: Brasil, 2003.

4.6.2.2 Trinca longitudinal

As trincas longitudinais são fissuras que ocorrem de forma isolada e seguem a direção do eixo da estrada. Conforme Brasil (2003), quando a extensão da fissura é de até 100 cm, ela é classificada como trinca longitudinal curta. Caso a fissura ultrapasse 100 cm, ela é considerada uma trinca longitudinal longa. Essas fissuras indicam falhas no pavimento e variam em extensão, podendo requerer diferentes níveis de intervenção conforme sua severidade.

Figura 8 - Trinca longitudinal



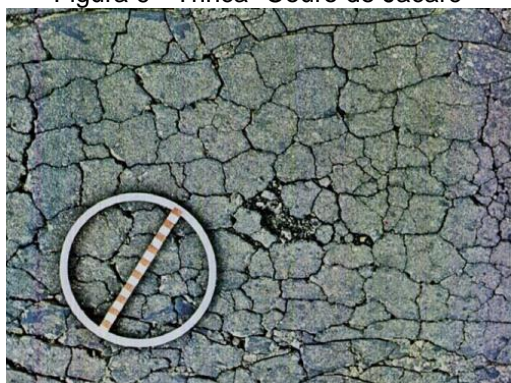
Fonte: Brasil, 2003.

4.6.3 Trincas Interligadas

4.6.3.1 Trinca “Couro de Jacaré”

As trincas em bloco, também conhecidas como trincas em "couro de jacaré", são caracterizadas por um conjunto de fissuras interconectadas que não seguem uma direção específica e lembram a aparência da pele de um jacaré. Segundo Brasil (2003), essas fissuras podem apresentar ou não desgaste acentuado nas bordas, dependendo da gravidade do dano no pavimento.

Figura 9 - Trinca "Couro de Jacaré"



Fonte: Brasil, 2003.

De acordo com Bernucci et. al. (2010), esses trincamentos podem surgir em áreas específicas, como trilhas de roda, nas bordas do pavimento ou de forma generalizada, tendo causas variadas.

repetição das cargas do tráfego exercendo pressão sobre o pavimento;

variações climáticas, como gradientes térmicos;

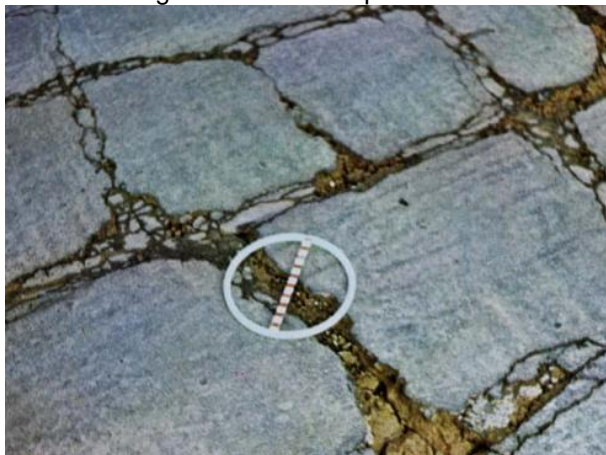
- a) envelhecimento do ligante e perda de flexibilidade ao longo do tempo ou devido ao aquecimento excessivo durante o processo de pavimentação;
compactação inadequada do revestimento;
- b) insuficiência na quantidade de ligante asfáltico;
- c) subdimensionamento da estrutura;
- d) rigidez excessiva do revestimento em estruturas com elevada deflexão;
- e) propagação de trincas de natureza semelhante;
- f) assentamentos diferenciais do solo, entre outras possíveis causas.

4.6.3.2 Trinca “Bloco”

As trincas em bloco são caracterizadas por um conjunto de fissuras interconectadas que formam blocos com bordas bem definidas. De acordo com Brasil

(2003), essas fissuras podem ou não apresentar desgaste acentuado nas extremidades, dependendo do estado de degradação do pavimento.

Figura 10 - Trinca tipo "Bloco"



Fonte: Brasil, 2003

De acordo com CNT (2017), as causas dos defeitos são:

- a) encolhimento da camada asfáltica devido às variações entre temperaturas elevadas e baixas;
- b) capacidade de resistência à tração da mistura asfáltica reduzida.

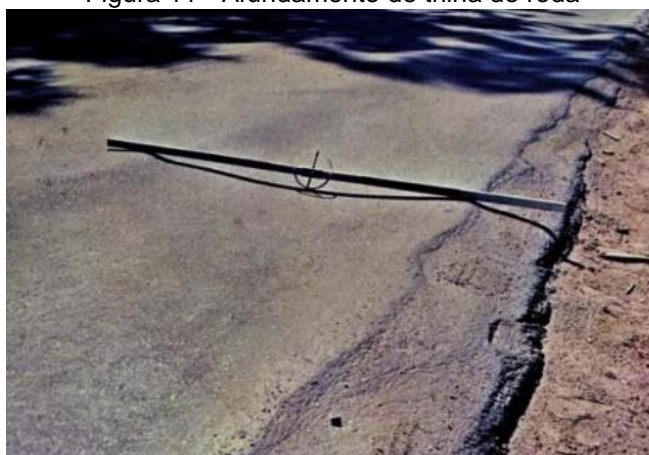
4.6.4 Afundamento

O afundamento é uma deformação permanente no pavimento, caracterizada pela presença de depressões na superfície, que podem ou não ser acompanhadas por elevações. Segundo Brasil (2003), essa deformação pode ocorrer como resultado de afundamento plástico ou consolidação. Para Silva (2008), o afundamento plástico acontece devido a deformações permanentes do pavimento, especialmente em áreas com até 6 metros de extensão, podendo ser acompanhadas de elevações. Quando essas deformações são maiores, são chamadas de afundamentos plásticos de trilha.

4.6.4.1 Afundamento plástico

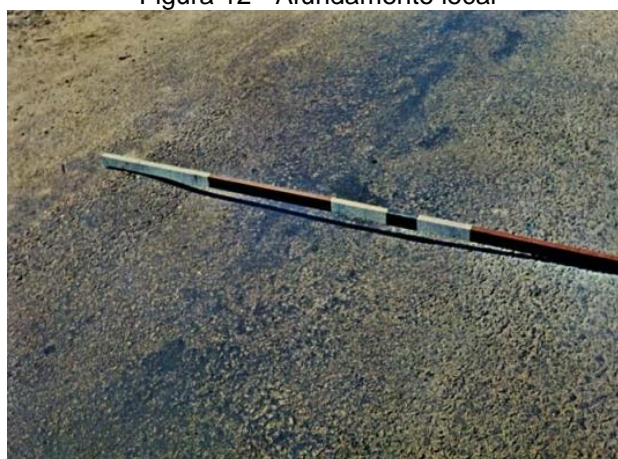
O afundamento plástico é caracterizado pelo afundamento resultante da fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, geralmente acompanhado de solevamento. Conforme Brasil (2003), quando esse afundamento ocorre em uma extensão de até 6 metros, é denominado afundamento plástico local. No entanto, se a extensão for superior a 6 metros e ocorrer ao longo da trilha de roda, ele é classificado como afundamento plástico da trilha de roda.

Figura 11 - Afundamento de trilha de roda



Fonte: Brasil, 2003.

Figura 12 - Afundamento local



Fonte: Brasil, 2003.

De acordo com CNT (2017), as causas dos defeitos são:

- a) deformação permanente de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito devido à fluência plástica;
- b) erro na proporção da mistura asfáltica - excesso de ligante asfáltico;
- c) seleção inadequada do tipo de revestimento asfáltico para suportar a carga aplicada.

4.6.3.2 Afundamento de consolidação

O afundamento de consolidação é uma deformação diferencial que ocorre em uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, sem que haja elevação. De acordo com Brasil (2003), quando essa deformação ocorre em uma extensão de até 6 metros, é chamada de afundamento de consolidação local. No entanto, quando ultrapassa 6 metros e está concentrada ao longo da trilha de roda, é denominada afundamento de consolidação da trilha de roda.

Figura 13 - Afundamento por consolidação



Fonte: Bernucci et. al; 2010.

De acordo com CNT (2017), as causas dos defeitos são:

- a) deformação permanente de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito devido à fluência plástica;
- b) compressão excessiva ou ruptura por cisalhamento das camadas abaixo do revestimento;
- c) problemas relacionados à compactação inadequada durante a construção;
- d) questões relacionadas à drenagem do pavimento.

4.6.4 Ondulação ou corrugação

A norma DNIT 005/2003 – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos o dese, define ondulação como uma deformação na forma de ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento. Para Silva (2008), a ocorrência de deformação plástica no revestimento deste tipo é resultada de uma base instável, decorrente de uma construção inadequada, que contém uma proporção excessiva de materiais finos e asfalto.

Figura 14 - Ondulação



Fonte: Brasil, 2003.

4.6.5 Escorregamento

Conforme Brasil (2003), o escorregamento é o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, resultando em fendas em forma de meia-lua, uma vez que ocorre a perda de aderência entre as camadas, comprometendo a estabilidade. Para Silva (2008), os principais causadores do escorregamento do revestimento, são os veículos durante o momento de frenagem.

Figura 15 - Escorregamento



Fonte: Brasil, 2003.

4.6.6 Exsudação

De acordo com Brasil (2006), esse fenômeno ocorre quando o asfalto, ao se expandir devido ao calor, encontra dificuldade em encontrar espaço para se acomodar. Isso acontece devido à reduzida quantidade de espaços vazios ou à presença de uma quantidade excessiva de substâncias aglutinantes no pavimento, resultando em menor viscosidade do asfalto.

Figura 16 - Exsudação



Fonte: Brasil, 2003.

4.6.7 Desgaste

A norma DNIT 005/2003 - TER, define esse defeito ocorre quando a progressiva remoção do agregado do pavimento resulta em uma superfície áspera, causando a aspereza do revestimento.

Figura 17 - Desgaste



Fonte: Brasil, 2003.

De acordo com CNT (2017), as causas dos defeitos são:

- a) problemas de ligação entre o aglutinante e os agregados;
- b) acúmulo de água e preenchimento de espaços vazios na camada de revestimento, resultando no deslocamento do aglutinante;
- c) quantidade insuficiente de aglutinante;
- d) questões relacionadas à execução ou ao projeto das misturas.

Panela/buraco

De acordo com a norma Brasil (2003), define como uma cavidade que surge no revestimento devido a várias razões, incluindo a falta de aderência entre camadas sobrepostas, o que resulta no deslocamento dessas camadas. Essa cavidade pode se estender até as camadas inferiores do pavimento e levar à desintegração dessas camadas.

Figura 18 - Panela/buraco



Fonte: Brasil, 2003.

Para a CNT (2017), as causas das panelas são:

- a) fissuras causadas por esforço repetitivo;
- b) deterioração concentrada na camada superficial da estrada;
- c) problemas relacionados à densidade inadequada durante a construção;
- d) presença de umidade excessiva em diferentes camadas do solo;
- e) falha no processo de preparação da superfície.

4.6.8 Remendo

Brasil (2003), define como uma vasilha contendo uma ou várias camadas de revestimento. Embora seja uma prática de preservação, é encarada como um problema por indicar uma área de fragilidade e afetar o conforto ao rolar. A degradação dos remendos refere-se ao conjunto de danos presentes em uma região reparada.

5 METODOLOGIA

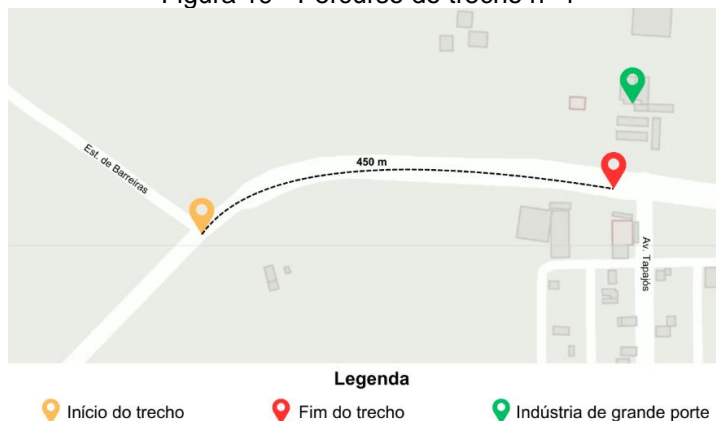
A metodologia utilizada neste estudo realizado no período de janeiro até setembro de 2024, segue uma abordagem técnica e normatizada, abrangendo a definição de trechos estratégicos, a divisão em estações de ensaio, a realização do ensaio de mancha de areia com controle tecnológico da areia, a identificação de patologias conforme a norma DNIT 005/2003 – TER, e o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) com base na norma DNIT 006/2003 – PRO.

5.1 Descrição dos trechos

Os trechos selecionados para análise situam-se em áreas de intenso tráfego na rodovia BR-230, onde o desgaste do pavimento é mais acentuado. O primeiro trecho vai da Estrada de Barreiras (4°14'51.6"S 56°01'37.1"W) até a Avenida Tapajós (4°14'50.4"S 56°01'21.9"W), conforme rota apresentada na Figura 19, uma área com presença de pista dupla com pavimento do tipo flexível e largura de 3 metros, o local possui um grande fluxo de veículos pesados devido à presença de uma indústria de grande porte no perímetro e por ser uma das principais rotas de transporte de grãos.

O segundo trecho, apresentado na Figura 20, está situado entre a Travessa Treze de maio (4°16'29.2"S 55°58'53.1"W) e Porto da Balsa (4°16'25.4"S 55°58'48.3"W), uma área com presença de pista única com pavimento do tipo flexível e largura de 3 metros e onde o tráfego de veículos pesados é constante por conta da travessia do rio. A escolha desses trechos se justifica pela necessidade de análise em áreas com alta carga de tráfego, o que contribui significativamente para o desgaste do pavimento.

Figura 19 - Percurso do trecho nº 1



Fonte: Autor, 2024.

Figura 20 - Percurso do trecho nº 2



Fonte: Autor, 2024.

5.2 Método de Amostragem

A subdivisão dos trechos em estações de ensaio foi realizada seguindo a norma DNIT 006/2003 – PRO, com o objetivo de garantir uma análise padronizada e representativa das condições da rodovia. As estações foram distribuídas a cada 20 metros, com uma área de 6 metros de extensão, abrangendo toda a largura da faixa de tráfego, conforme ilustra a Figura 21.

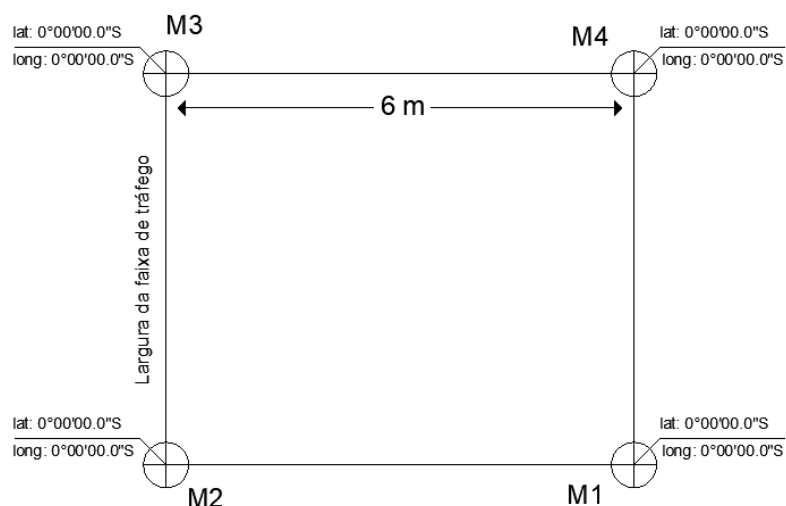
Figura 21 - Estações de Ensaio



Fonte: CNT, 2017.

Para garantir maior controle sobre as posições das estações de ensaio, foi elaborado um croqui base, que apresentava a locação das estações nos trechos estudados, conforme ilustrado nas Figuras 22 e 23. A metodologia incluiu o uso de quatro pontos, com locação de coordenadas geográficas com uso de Google Maps para cada estação de ensaio, aumentando o nível de controle espacial, e a precisão na localização das áreas de estudo, apresentados na Tabela 3.

Figura 22 - Croqui base de coordenadas das estações



Fonte: Autor, 2024.

Figura 23 - Locação de estação de ensaio



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 3 - Coordenadas de latitude e longitude das estações

Nº da estação	Coordenadas			
	M1	M2	M3	M4
EST 000	Latitude	Latitude	Latitude	Latitude
	Longitude	Longitude	Longitude	Longitude

Fonte: Autor, 2024.

5.3 Análise visual de patologias nas estações

Foi realizada a classificação e medição das patologias presentes nos pavimentos ao longo das estações dos trechos selecionados, obedecendo rigorosamente aos critérios estabelecidos pela norma DNIT 005/2003 – PRO. Para cada estação de ensaio, foi realizada uma inspeção visual detalhada, em que as patologias identificadas foram devidamente registradas e específicas de acordo com seu tipo, severidade e extensão.

Os dados quantitativos das patologias foram organizados e registrados de acordo com as diretrizes apresentadas no Anexo A do DNIT 006/2003 – PRO, que oferece uma estrutura padronizada para o preenchimento dos tipos de defeitos e sua localização ao longo da rodovia. Cada defeito encontrado nas estações foi descrito, medido e registrado individualmente, garantindo que a documentação fosse detalhada. Para cada trecho analisado, o Anexo A foi preenchido separadamente, o que permitiu uma comparação sistemática entre os diferentes segmentos da rodovia.

5.4 Ensaio de Mancha de Areia

O ensaio de mancha de areia foi empregado para medir a macrotextura superficial do pavimento e avaliar o grau de desgaste da camada de rolamento na rodovia BR-230, visando identificar e quantificar áreas afetadas pela patologia de desgaste.

5.4.1 Equipamentos utilizados

O ensaio de mancha de areia requer o uso de equipamentos simples, porém essenciais para garantir a precisão das medições e a padronização do processo. Os principais instrumentos utilizados no ensaio incluem:

- a) espalhador de areia: um equipamento feito de madeira revestida de borracha, utilizado para distribuir a areia de forma homogênea sobre a superfície do pavimento, preenchendo os vazios da macrotextura de maneira uniforme.
- b) fita métrica de precisão: ferramenta usada para medir o diâmetro da mancha de areia em quatro direções perpendiculares. As medições precisam ser exatas para garantir que o cálculo da altura média (HS) seja preciso.
- c) areia padronizada: a areia utilizada em ensaio com granulometria controlada, com grãos que variam entre 0,15 mm e 0,30 mm, conforme a norma NM 248:2001. A padronização da granulometria é essencial para garantir que a areia preencha adequadamente os vazios da macrotextura do pavimento.

5.4.1.1 Controle tecnológico da areia

Devido à dificuldade de aquisição de areia calibrada em Itaituba-PA, foi necessário realizar um controle tecnológico detalhado da amostra de areia utilizada no ensaio. A areia foi coletada com fornecedores locais de Itaituba, usando a técnica de quarteamento sobre superfície rígida apresentada na NM 27:2000, amostragem evidenciada na Figura 24, até ser realizado a uma amostragem total de 32 kg.

Figura 24 - Quarteamento de amostra de areia



Fonte: Autor, 2024.

O primeiro passo foi lavar a areia para remover impurezas como argilas, poeira e materiais orgânicos, seguindo os procedimentos da NBR NM 27:2000. Após a lavagem, a areia foi deixada para secar ao ar livre por 48 horas, ilustrado na Figura 25, devido à indisponibilidade de equipamentos para secagem artificial. Em seguida, foi realizado o peneiramento da amostra, de acordo com a norma NM 248:2001, utilizando peneiras com malhas de 0,3 mm e 0,15 mm, no laboratório da Universidade Federal do Oeste do Pará. Esse processo garantiu que a fração utilizada no ensaio tivesse grãos com diâmetro entre 0,15 mm e 0,30 mm, conforme exigido pelas especificações.

Figura 25 - Secagem ao ar livre da areia



Fonte: Autor, 2024.

Durante a peneiramento, foi identificado que 800 g de material foram retidos na peneira de 0,3 mm, Figura 26, sendo essa fração descartada. A fração restante, que atende à granulometria adequada, foi utilizada em ensaios. Esse processo de controle tecnológico foi fundamental para garantir a consistência e a confiabilidade dos resultados.

Figura 26 - Amostragem retida na peneira de 0,3 mm



Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 4 mostra que 85% da amostra estava dentro da faixa ideal de granulometria, atendendo às exigências para a realização do ensaio de mancha de areia. As frações maiores que 0,3 mm e menores que 0,15 mm foram descartadas para garantir que apenas a areia calibrada fosse utilizada.

Tabela 4 -Resultado de ensaio de granulometria da areia

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Percentual retido (%)
> 0,3	800	4%
0,15 mm - 0,3 mm	16700	85%
< 0,15 mm	2500	11%

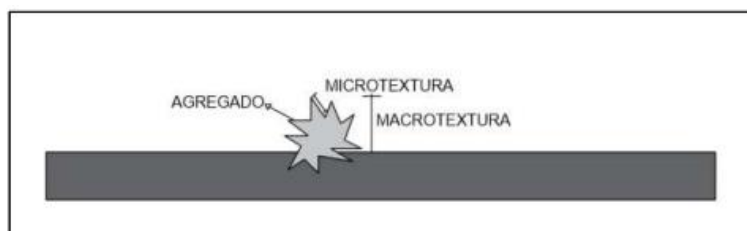
Fonte: Autor, 2024.

Esse controle tecnológico da areia foi crucial para garantir o resultado dos resultados obtidos no ensaio de mancha de areia, garantindo que a areia utilizada preenchesse os vazios da superfície do pavimento, permitindo uma medição precisa da macrotextura e uma avaliação confiável do desgaste da camada rolamento.

5.4.2 Da execução do ensaio

Conforme a Hunter (1994), a macrotextura é fundamental para a segurança dos pavimentos, pois superfícies com rugosidade, ilustrado na Figura 27, insuficiente elevam o risco de hidroplanagem, principalmente em condições de pista molhada.

Figura 27 - Representação de micro e macrotextura



Fonte: Hunter, 1994.

O ensaio foi realizado em quatro fases principais, conforme as diretrizes da norma ASTM E965-96 e da DNIT 006/2003 – PRO. Essas fases garantem que a medição da macrotextura seja precisa e que os impactos do desgaste da camada de rolamento sejam devidamente identificados.

Inicialmente, a superfície do pavimento foi limpa e seca, removendo qualquer tipo de impureza, como poeira e detritos, evidenciado na Figura 28. Essa etapa é fundamental para garantir que a areia penetre corretamente nos vazios da camada de rolamento, possibilitando uma medição precisa da macrotextura e uma avaliação realista do desgaste da superfície.

Figura 28 - Limpeza do local para execução de ensaio



Fonte: Autor, 2024.

Foi aplicada uma quantidade padronizada de 25 g de areia com granulometria controlada (entre 0,15 mm e 0,30 mm), conforme a NM 248:2001. A areia foi espalhada de maneira uniforme sobre a superfície do pavimento, cobrindo uma área circular, ilustrado na Figura 29. A distribuição exata da areia, com uso de ferramenta circular, é fundamental para medir com precisão o grau de macrotextura e verificar se o desgaste da camada de rolamento compromete a aderência e a drenagem. A Figura 30, ilustra essa disposição de material.

Figura 29 - Aplicação da areia



Fonte: Autor, 2024.

Figura 30 - Dispersão da areia



Fonte: Autor, 2024.

Após a aplicação da areia, o diâmetro da mancha foi medido em quatro direções perpendiculares utilizando uma fita de medição de alta precisão, Figura 31. Essas medições foram realizadas para obter o diâmetro médio (D) da mancha de areia, garantindo que os dados representassem com precisão as condições do pavimento nas diferentes estações de ensaio.

Figura 31 - Medição dos diâmetros da mancha



Fonte: Autor, 2024.

A altura média da areia (H_S) foi calculada com base nas medições obtidas. Essa variável indica o grau de rugosidade e desgaste da camada de rolamento, sendo calculada pela Equação 1.

$$HS = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (1)$$

Onde:

HS é a altura média da mancha de areia (em milímetros);

V é o volume de areia utilizado, padronizado em 25.000 mm³;

D é o diâmetro médio da mancha de areia, em milímetros.

Os dados obtidos durante o ensaio de mancha de areia foram organizados em uma planilha com o objetivo de facilitar a análise comparativa entre as diferentes estações de ensaio. Para cada ensaio, registrou-se o número trecho e da estação, identificando o local onde o ensaio foi realizado, bem como a data e a hora de sua execução. As medições do diâmetro da mancha de areia foram feitas em quatro direções perpendiculares, permitindo o cálculo do diâmetro médio (D), que foi obtido a partir da média dessas quatro medições. Por fim, o valor de HS, a altura média da mancha de areia, foi calculado com base na Equação 1, sendo registrado para cada estação de ensaio.

Figura 32 - Tabela de registro de mancha de areia

TRECHO	Estação de Ensaio	D1 (mm)	D2 (mm)	D3(mm)	D4(mm)	D MÉDIO (mm)	HS (mm)

Fonte: Autor, 2024.

Após o cálculo do HS (altura média da mancha de areia), foi realizada a classificação da macrotextura conforme ilustrado na Figura 33, seguida de uma análise, baseada na Figura 34, para verificar se o revestimento desgastado ainda é recomendado para a usabilidade da via. Esse processo teve como objetivo identificar e catalogar áreas afetadas por patologias do tipo desgaste.

Figura 33 - Classe de Macrotextura (Mancha de areia)

CLASSE DE MACROTEXTURA (ASTM E 965-96)	
Classe	Altura média da mancha de areia (mm)
Muito fina ou muito fechada	HS ≤ 0,2
Fina ou fechada	0,20 < HS ≤ 0,40
Média	0,40 < HS ≤ 0,80
Grosseira ou aberta	0,80 < HS ≤ 1,20
Muito grosseira ou muito aberta	HS ≤ 1,20

Fonte: Zenkner et al; 2018.

Figura 34 - Aplicação do Revestimento em função do HS

APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO		
Textura Superficial	Altura média da mancha de areia (mm)	Aplicação do revestimento
Muito fina ou muito fechada	HS ≤ 0,2	Não deve ser utilizado
Fina ou fechada	0,20 < HS ≤ 0,40	Reservado para zonas urbanas (V < 80km/h)
Média	0,40 < HS ≤ 0,80	Indicados para vias com 80km/h < V ≤ 120km/h
Grosseira ou aberta	0,80 < HS ≤ 1,20	Indicados para vias com V > 120km/h
Muito grosseira ou muito aberta	HS ≤ 1,20	Indicado em casos especiais (zonas de perigo constante com longos trechos retos, zonas onde há uma presença constante de contaminantes etc.).

Fonte: Zenkner et al; 2018.

5.5 Índice de Gravidade Global (IGG)

Após o processo de catalogação, foi realizada uma análise das patologias, por meio do Índice de Gravidade Global - IGG. Tal índice fornece uma avaliação objetiva da condição funcional do pavimento, ao limitar pesos específicos aos detalhes identificados, e medir sua severidade, e impacto na integridade estrutural da rodovia.

O IGG foi calculado com base nos dados observados durante a inspeção visual, conforme o procedimento descrito no DNIT 006/2003 – PRO, iniciando a partir do cálculo da Frequência Relativa (fr), que é realizada com base na proporção de estações de ensaio, onde uma determinada patologia foi observada. A frequência relativa foi determinada pela Equação 2.

$$fr = \frac{fa \times 100}{n} \quad (2)$$

Onde:

Fr é uma frequência relativa à patologia em um segmento homogêneo;

Fa é a frequência absoluta, ou seja, o número de estações em que a patologia foi identificada;

n é o número total de estações avaliadas no trecho.

Após o cálculo da Frequência Relativa (fr) foi realizada a identificação do Fator de Ponderação (fp), conforme a Tabela 5, extraída da norma DNIT 006/2003, que categoriza os defeitos em diferentes níveis de gravidade.

Tabela 5 - Fator de ponderação para cálculo de IGG

Tipo	Defeito	Fator de ponderação
1	Fissuras e trincas	0,2
2	Trincas de bloco ou tipo couro de jacaré sem erosão	0,5
3	Trincas de bloco ou tipo couro de jacaré com erosão	0,8
4	Afundamentos localizados ou nas trilhas	0,9
5	Ondulações (corrugação e panelas)	1,0
6	Exsudação	0,5
7	Desgaste	0,3
8	Remendo	0,6

Fonte: Brasil, 2003.

Com base nas frequências relacionadas e nos fatores de ponderação, foi possível calcular o Índice de Gravidade Individual - IGI, conforme a Equação 3, para cada patologia encontrada em cada estação de ensaio.

$$IGI = fr \times fp \quad (3)$$

Onde:

IGI é o Índice de Gravidade Individual para o tipo de defeito avaliado;

fr é a frequência relativa da patologia no trecho;

fp é o fator de ponderação associado à gravidade do defeito.

De posse do IGI para cada patologia identificada, o IGG foi determinado a partir da soma dos IGI, conforme apresenta a Equação 4, de todas as patologias presentes no trecho avaliado.

$$IGG = \sum IGI \quad (4)$$

O IGG resultante foi utilizado para classificar o estado geral do pavimento em em cada trecho analisado. A Tabela 6 ilustra os limites de IGG, apresentados de maneira crescente, partindo do conceito Ótimo, e finalizando com o conceito Péssimo.

Tabela 6 - Condição do pavimento em função do IGG

Conceito	Limites
----------	---------

Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: Brasil, 2003.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Trecho 1

No primeiro trecho, foram estabelecidas 10 estações de ensaio, conforme ilustra a Figura 35. Não foi possível avaliar a pista da direita, no sentido de ida ao porto da balsa, por essa pista não apresentar uma capa rolante bem pavimentada, inviabilizando tanto a avaliação visual, quanto a realização do ensaio de mancha de areia.

Figura 35 - Localização de estações de ensaio



Fonte: Autor, 2024.

A Tabela 7 apresenta as coordenadas geográficas de cada estação, facilitando a identificação e o acompanhamento dos pontos de medição.

Tabela 7 - Coordenadas das estações do trecho 1

Estação	Coordenadas			
	M1	M2	M3	M4
EST 001	4°14'51.5"S 56°01'08.3"W	4°14'51.8"S 56°01'08.2"W	4°14'51.8"S 56°01'08.2"W	4°14'51.8"S 56°01'08.3"W
EST 002	4°14'51.2"S 56°01'10.4"W	4°14'51.3"S 56°01'10.2"W	4°14'51.6"S 56°01'10.3"W	4°14'51.5"S 56°01'10.6"W
EST 003	4°14'49.3"S 56°01'26.2"W	4°14'49.3"S 56°01'26.0"W	4°14'49.2"S 56°01'27.1"W	4°14'49.5"S 56°01'27.0"W
EST 004	4°14'49.3"S 56°01'26.2"W	4°14'49.2"S 56°01'28.7"W	4°14'49.4"S 56°01'28.7"W	4°14'49.4"S 56°01'28.7"W

(Continua)

(Continuação)

Estação	Coordenadas			
	M1	M2	M3	M4
EST 005	4°14'49.4"S	4°14'49.2"S	4°14'49.2"S	4°14'49.4"S
	56°01'29.8"W	56°01'29.9"W	56°01'30.1"W	56°01'30.1"W
EST 006	4°14'49.4"S	4°14'49.2"S	4°14'49.2"S	4°14'49.4"S
	56°01'30.3"W	56°01'31.4"W	56°01'31.5"W	56°01'31.3"W
EST 007	4°14'49.3"S	4°14'49.3"S	4°14'49.3"S	4°14'49.3"S
	56°01'32.9"W	56°01'33.1"W	56°01'32.6"W	56°01'32.4"W
EST 008	4°14'49.5"S	4°14'49.5"S	4°14'49.5"S	4°14'49.5"S
	56°01'33.8"W	56°01'33.9"W	56°01'33.9"W	56°01'33.9"W
EST 009	4°14'50.2"S	4°14'50.2"S	4°14'50.3"S	4°14'50.3"S
	56°01'35.6"W	56°01'35.5"W	56°01'35.7"W	56°01'35.7"W
EST 010	4°14'51.2"S	4°14'51.0"S	4°14'51.1"S	4°14'50.9"S
	56°01'37.3"W	56°01'37.3"W	56°01'37.0"W	56°01'37.2"W

Fonte: Autor, 2024.

Após a locação dos pontos de coordenadas das estações de ensaio, realizou-se o ensaio de mancha de areia, a fim de verificar se as estações apresentavam a patologia do tipo “desgaste”. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos a partir do ensaio.

Tabela 8 - Diâmetro das manchas de areia das estações do trecho 1

Estação	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D(médio)	HS (mm)
EST 001	16	15,1	15,5	15,5	15,5	1,36
EST 002	15,5	16,2	15,1	15,4	15,4	1,32
EST 003	9,8	9,7	9,9	9,7	9,7	3,32
EST 004	13,1	12	12,1	11,9	11,9	2,10
EST 005	12,9	13,7	13,4	13	13	1,80

(Continua)

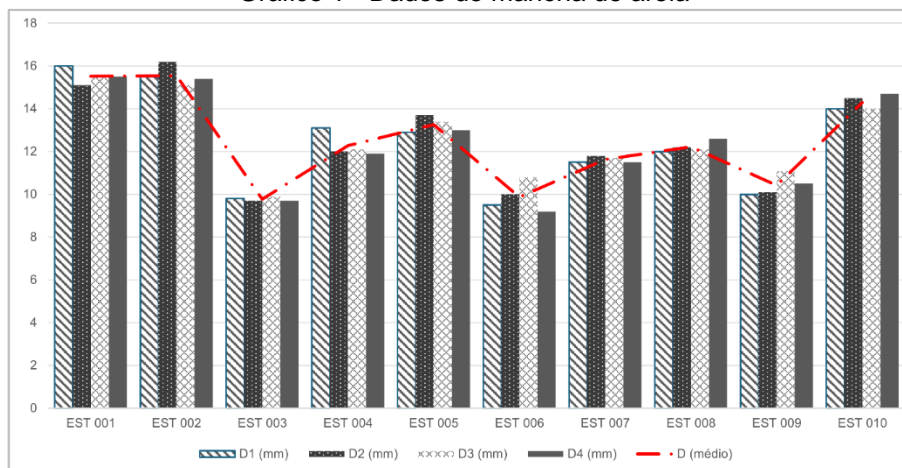
(Continuação)

Estação	D1 (mm)	D1 (mm)	D1 (mm)	D1 (mm)	D(médio)	HS (mm)
EST 006	9,5	10	10,8	9,2	9,2	3,21
EST 007	11,5	11,8	11,7	11,5	11,5	2,35
EST 008	12	12,2	12,1	12,6	12,6	2,11
EST 009	10	10,1	11,1	10,5	10,5	4,15
EST 010	14	14,5	14	14,7	14,7	1,54

Fonte: Autor, 2024.

O Gráfico 1 sintetiza os dados obtidos na Tabela 8, levantados no ensaio de mancha de areia.

Gráfico 1 - Dados de mancha de areia

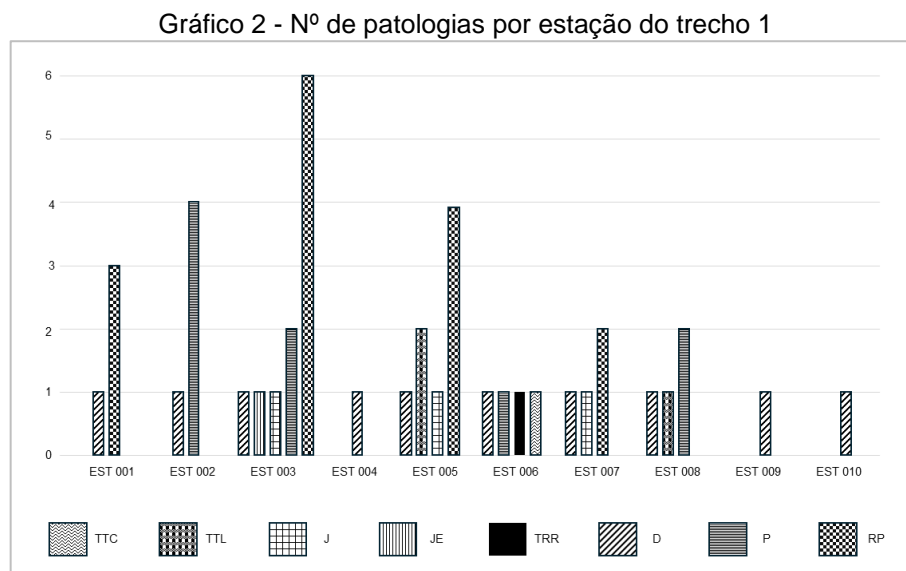


Fonte: Autor, 2024.

A partir dos resultados obtidos, foi possível avaliar de forma precisa a macrotextura da camada de rolamento do pavimento. Todos os valores de HS registrados nas estações, apresentaram-se acima de 1,20 mm, classificando o pavimento como muito grosseiro ou muito aberto.

Essa condição reflete um desgaste severo na camada de rolamento, que não apenas compromete o conforto dos usuários da rodovia, como também aumenta, significativamente, os riscos de hidroplanagem em períodos de chuva, devido à capacidade reduzida de drenagem de água. Em situações em que a rugosidade superficial é extrema, como verificado nas estações analisadas, é comum que o pavimento apresente patologias de desgaste avançado, caracterizadas por erosão superficial e uma perda progressiva da integridade da camada de rolamento.

O Gráfico 2 apresenta a distribuição das patologias por estação no trecho 1, evidenciando a quantidade de painéis (P), remendos profundos (RP), desgastes (D), além de trincas em couro de jacaré (TTC), e trincas longitudinais longas (TTL).

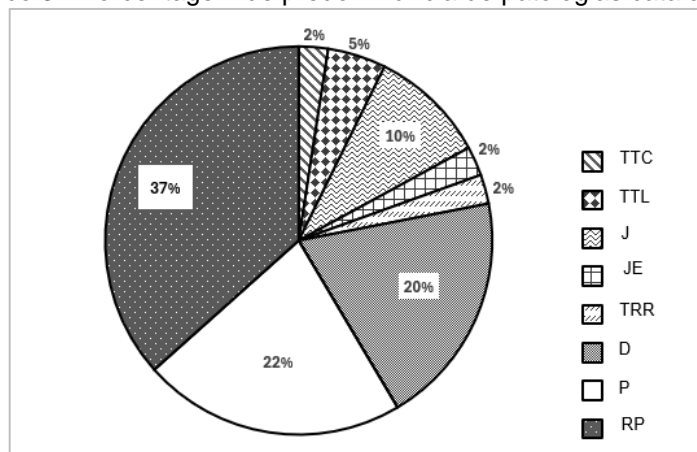


Fonte: Autor, 2024.

As estações 3, 5 e 7 foram as que apresentaram o maior número de patologias. A estação 3 se destacou pelo elevado número de remendos profundos (RP), indicando que as intervenções de reparo não foram adequadas. Na estação 7, os remendos e desgastes (D) foram predominantes, enquanto a estação 5 mostrou uma combinação de patologias, com o desgaste sendo o principal problema. Esses dados sugerem que os pontos mais críticos do pavimento estão localizados em áreas que sofreram reparos inadequados, ou que são submetidas a condições de tráfego severas.

O Gráfico 3 apresenta a predominância percentual das patologias identificadas.

Gráfico 3 - Porcentagem de predominância de patologias catalogadas



Fonte: Autor, 2024.

As panelas (P), Figura 36, representam 34% do total de defeitos, seguidas por desgastes (D) com 22% e remendos profundos (RP), Figura 37, com 20%. Esses três tipos de patologias correspondem a maior parte das falhas observadas no pavimento, sugerindo que o trecho está em um estágio avançado de degradação.

Figura 36 - Panela



Fonte: Autor, 2024.

Figura 37 - Remendo profundo



Fonte: Autor, 2024.

De acordo com Brasil (2006), as causas mais comuns para o surgimento de panelas estão relacionadas a falhas na aderência entre as camadas do pavimento, o que resulta no descolamento, e desintegração progressiva das camadas superficiais. Além disso, a infiltração de água e o tráfego intenso de veículos pesados também aceleram esse processo de degradação.

Já para defeitos, como remendos profundos, Brasil (2006) afirma que ocorrem principalmente devido à execução inadequada de reparos anteriores, onde não se seguiu corretamente as etapas de preparação da superfície, e compactação do material de preenchimento. Isso resulta em áreas que rapidamente voltam a se deteriorar. O desgaste observado pode ser atribuído à insuficiência de ligante asfáltico

e à exposição prolongada do pavimento a condições climáticas adversas, como chuvas constantes, que agravam a desagregação da superfície.

Brasil (2006), no Manual De Restauração De Pavimentos Asfálticos destaca que os principais problemas de infraestrutura rodoviária, como panelas e desgastes, podem ser resolvidos com intervenções como fresagem do pavimento, recomposição com materiais adequados e melhorias na drenagem. Essas intervenções garantem que o pavimento tenha maior vida útil e proporcionem uma rodovia mais segura, com menor risco de acidentes e redução de custos de manutenção.

Após a análise quantitativa das patologias do trecho, foi realizado o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) com o objetivo de avaliar a condição geral do pavimento e identificar a gravidade dos defeitos presentes. O valor obtido foi de 109, o que classifica o pavimento como "Ruim", conforme a norma DNIT 006/2003. Essa classificação indica que o pavimento está em um estágio avançado de deterioração, apresentando defeitos que comprometem a segurança dos usuários e a trafegabilidade da rodovia. Defeitos como as panelas e os remendos mal executados podem causar transtornos graves no trânsito, aumentar o desgaste dos veículos e elevar o risco de acidentes.

Segundo a CNT (2024), rodovias mal-conservadas geram custos operacionais adicionais, como maior consumo de combustível e tempo de transporte, além de desgaste acelerado dos veículos.

6.1 Trecho 2

No trecho 2 da rodovia BR-230, foram estabelecidas 8 estações de ensaio para avaliar a condição do pavimento, conforme ilustrado na Figura 38. Diferentemente do trecho 1, todas as estações puderam ser avaliadas, já que a pista estava em condições adequadas, permitindo tanto a avaliação visual quanto a realização do ensaio de mancha de areia.

Figura 38 - Locação de estações do trecho 2



Fonte: Autor, 2024.

Na Tabela 9 são apresentadas as coordenadas das estações, referentes ao trecho de estudo 2.

Tabela 9 - Coordenadas das estações do trecho 2

Estação	Coordenadas			
	M1	M2	M3	M4
EST 001	4°16'28.9"S	4°16'28.9"S	4°16'28.3"S	4°16'28.9"S
	55°58'53.0"W	55°58'52.6"W	55°58'51.5"W	55°58'53.0"W
EST 002	4°16'28.3"S	4°16'28.3"S	4°16'28.3"S	4°16'28.9"S
	55°58'51.5"W	55°58'51.6"W	55°58'51.6"W	55°58'52.7"W
EST 003	4°16'28.4"S	4°16'28.2"S	4°16'28.2"S	4°16'28.3"S
	55°58'52.0"W	55°58'51.5"W	55°58'51.6"W	55°58'51.5"W
EST 004	4°16'27.9"S	4°16'27.7"S	4°16'27.3"S	4°16'27.4"S
	55°58'50.8"W	55°58'50.5"W	55°58'50.3"W	55°58'50.0"W
EST 005	4°16'27.1"S	4°16'27.2"S	4°16'27.2"S	4°16'27.1"S
	55°58'50.0"W	55°58'49.7"W	55°58'49.4"W	55°58'49.7"W
EST 006	4°16'26.9"S	4°16'26.4"S	4°16'26.9"S	4°16'26.8"S
	55°58'49.7"W	55°58'49.5"W	55°58'49.6"W	55°58'49.7"W
EST 007	4°16'27.1"S	4°16'27.3"S	4°16'27.1"S	4°16'27.2"S
	55°58'49.4"W	55°58'49.4"W	55°58'49.5"W	55°58'49.4"W

(Continua)

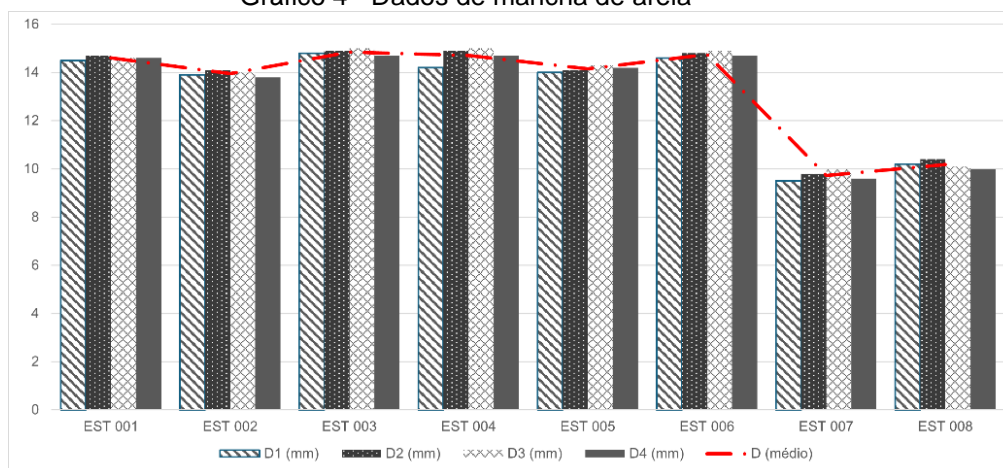
(Continuação)

Estação	Coordenadas			
	M1	M2	M3	M4
EST 008	4°16'26.6"S	4°16'26.8"S	4°16'26.6"S	4°16'26.7"S
	55°58'48.8"W	55°58'48.8"W	55°58'48.9"W	55°58'48.5"W

Fonte: Autor, 2024.

Durante a execução dos ensaios, foi constatado que as estações 1 a 6 apresentavam boa qualidade de macrotextura, refletindo condições adequadas da superfície do pavimento, conforme ilustra o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Dados de mancha de areia



Fonte: Autor, 2024.

No entanto, as estações 7 e 8 revelaram resultados críticos, com valores de HS indicando um desgaste significativo na camada de rolamento. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos, evidenciando que o pavimento nessas duas últimas estações está em um estado mais avançado de deterioração.

Tabela 10 - Diâmetro das manchas de areia das estações do trecho 2

Estação	D1 (mm)	D1 (mm)	D1 (mm)	D1 (mm)	D(médio)	HS (mm)
EST 001	14,5	14,7	14,6	14,6	14,6	14,65
EST 002	13,9	14,1	14	13,8	13,95	13,95
EST 003	14,8	14,9	15	14,7	14,85	14,85
EST 004	14,2	14,9	15	14,7	14,70	14,85
EST 005	14	14,1	14,3	14,2	14,2	14,15

(continua)

(continuação)

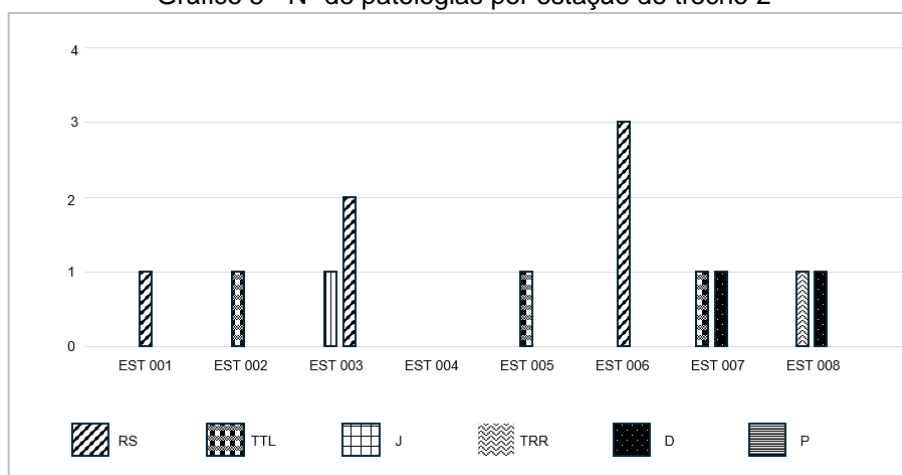
Estação	D1 (mm)	D1 (mm)	D1 (mm)	D1 (mm)	D(médio)	HS (mm)
EST 006	14,6	14,8	14,9	14,7	14,7	14,75
EST 007	9,5	9,8	10	9,6	9,6	9,73
EST 008	10,2	10,4	10,1	10	10	10,18

Fonte: Autor, 2024.

Esse desgaste acentuado da macrotextura nas estações 7 e 8 pode aumentar significativamente o risco de acidentes, especialmente em dias de chuva, quando a capacidade de drenagem do pavimento fica comprometida.

No Gráfico 5, é possível observar que a distribuição das patologias, por estação, ao longo do trecho 2 da rodovia.

Gráfico 5 - Nº de patologias por estação do trecho 2



Fonte: Autor, 2024.

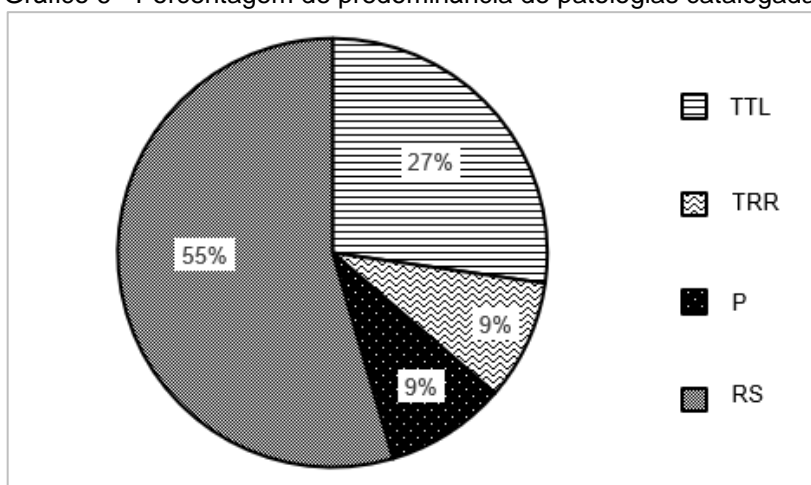
As principais patologias identificadas foram remendos superficiais (RS), trincas longitudinais longas (TTL), e panelas (P), seguidas de patologias menores como fissuras (J) e erosões (E). As estações 3 e 6 apresentam a maior concentração de patologias, com destaque para a predominância de remendos superficiais. Esses resultados indicam que a deterioração do pavimento nas estações mais críticas, particularmente nas estações 6 e 8, está associada a intervenções superficiais inadequadas, onde a manutenção não foi capaz de corrigir completamente os defeitos estruturais.

Conforme apontado pela CNT (2024), o tráfego pesado e as condições climáticas da Amazônia, como chuvas intensas e períodos prolongados de seca, agravam as patologias rodoviárias. No trecho analisado da BR-230, essas condições

são especialmente presentes, resultando em trincas por fadiga e aumento do desgaste

O Gráfico 6 destaca a porcentagem de predominância das patologias catalogadas no trecho 2. Os remendos superficiais (RS) correspondem a 55% do total de defeitos identificados, seguidos por trincas longitudinais longas (TTL) com 27% e outras patologias menores representando 9% cada. A alta incidência de remendos superficiais reflete uma deterioração significativa no pavimento que foi tratada de forma inadequada, resultando em uma correção paliativa que não solucionou os problemas estruturais subjacentes. A presença de trincas longitudinais longas também indica que o pavimento sofre de problemas de carga, o que pode estar associado ao tráfego de veículos pesados, como observado nas estações 6 e 8, onde o desgaste é mais evidente.

Gráfico 6 - Porcentagem de predominância de patologias catalogadas



Fonte: Autor, 2024.

Após a análise quantitativa das patologias do trecho 2, foi realizado o cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG, para avaliar a condição geral do pavimento e a gravidade dos defeitos identificados. O valor obtido foi de 81,25, o que classifica o pavimento como estando em "ruim", de acordo com a norma DNIT 006/2003. Essa classificação sugere que, apesar da presença de algumas patologias, como remendos superficiais e trincas longitudinais, o pavimento ainda apresenta um nível satisfatório de trafegabilidade e segurança para os usuários.

No entanto, as estações 7 e 8, onde foram detectados sinais de desgaste mais acentuado, indicam a necessidade de intervenções preventivas para evitar o agravamento das condições. A predominância de remendos superficiais, que representa 55% das patologias observadas, sugere que reparos anteriores foram

realizados, mas não comprometeram significativamente a integridade do pavimento. A manutenção contínua, focada principalmente nessas estações mais críticas, poderá garantir a durabilidade e a funcionalidade da via.

7 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciaram a condição crítica do pavimento da rodovia BR-230, especialmente nos trechos analisados, onde o ensaio de mancha de areia foi fundamental para mensurar a macrotextura da camada de rolamento. As variações significativas nas medições indicaram áreas com desgaste elevado, comprometendo a segurança e a funcionalidade da rodovia. A aplicação das normas DNIT 005 e 006 permitiu catalogar as principais patologias encontradas, como panelas, trincas e afundamentos, o que resultou no cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG). Esse indicador revelou que a maior parte do pavimento se encontrava em condições de ruim, com alguns trechos classificados como péssimos, exigindo ações corretivas imediatas.

A análise mostrou que a principal causa das patologias é o tráfego pesado e a falta de manutenção contínua. Além disso, o desgaste da macrotextura aumentou o risco de hidroplanagem em áreas onde a rugosidade era insuficiente. Esse cenário é especialmente preocupante em regiões com grande fluxo de veículos pesados, como as próximas a centros logísticos e comerciais, que aceleram o processo de deterioração. O estudo reforçou que a simples aplicação de novas camadas asfálticas não será suficiente para corrigir os problemas observados; soluções mais estruturais, como fresagem e recapeamento, aliadas à melhoria do sistema de drenagem, são essenciais para garantir a durabilidade do pavimento.

A melhoria do sistema de drenagem também foi destacada como um fator crucial para evitar a reincidência das patologias. O acúmulo de água nas camadas superiores do pavimento acelera a degradação da superfície, agravando problemas como o desgaste e a formação de panelas. Portanto, qualquer ação de restauração deve incluir o aprimoramento da drenagem para prolongar a vida útil da rodovia e evitar a necessidade de reparos frequentes.

Com base nos achados, conclui-se que a BR-230 requer intervenções emergenciais, tanto nas camadas superficiais quanto nas camadas estruturais, como a base e a sub-base. O estudo apontou a necessidade de um programa contínuo de manutenção preventiva para evitar a degradação acelerada do pavimento e garantir condições seguras de tráfego. A implementação de técnicas modernas de pavimentação, além de monitoramento constante, será fundamental para assegurar a durabilidade das intervenções realizadas.

Por fim, sugere-se que futuros estudos explorem os impactos econômicos e sociais decorrentes da deterioração da BR-230, além de comparações com outras rodovias de características semelhantes. Um acompanhamento das soluções implementadas também é essencial para avaliar a eficácia das técnicas aplicadas e, assim, ajustar as estratégias de manutenção e conservação ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **E965: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture using a Volumetric Technique**. Pennsylvania: ASTM International, 1996.

Associação MERCOSUL de Normalização. **NM 248:2001 - Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: AMN, 2001.

Associação MERCOSUL de Normalização. **NM 26:2000 - Agregados - Amostragem**. Rio de Janeiro: AMN, 2000.

Associação MERCOSUL de Normalização. **NM 27:2000 - Agregados - Redução da amostra de campo para ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro: AMN, 2000.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2010.

BRAGA, M. M. M. BR 230: **Nordestinos na rota Transamazônica (1970-1974)**. In: XXVI Simpósio Nacional de História – ANPUH, São Paulo, 2011.

Burtet, C. M.. **Influência das condições da rodovia nos custos operacionais para escoamento da produção agrícola entre a RSC-392 e BR-158**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2019

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2024: Relatório Gerencial**. Brasília: CNT, SEST SENAT, 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2022: Relatório Gerencial**. Brasília: CNT, SEST SENAT, 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2019: Relatório Gerencial**. Brasília: CNT, SEST SENAT, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017.

Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (DNER). **Manual de pavimentação**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). **Manual de pavimentação**. Publicação IPR-719. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 005/2006 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **PRO 006/2003: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2003b.

HUNTER, R. N. **Bituminous mixtures in road construction**. London: Thomas Telford, 1994.

OLIVEIRA, F. et al. **A reconquista da Amazônia**. In: D'INCAO, M. A.; SILVEIRA, I. M. da (Orgs.). *A Amazônia e a crise da modernização*. Belém: ICSA/UFPA; Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009.

PINTO, S.; PINTO, I. E. **Pavimentação Asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

REIS, N. **Análise estrutural de pavimentos rodoviários: aplicação a um pavimento reforçado com malha de aço**. 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2008.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico do anel viário do município de Palmas (TO)**. Brasília: CNT, SEST SENAT, 2024.

ZENKNER, Thais Freitas *et al.* **Avaliação da macrotextura do pavimento asfáltico do anel viário do município de Palmas (TO)**. Sustenere: Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 2018.

