

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PEDRO MATHIAS FUHR

**A INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM NA SEGURANÇA VIÁRIA:
ANÁLISE EM UM TRECHO DA BR-163, TOLEDO-PR**

TOLEDO

2025

PEDRO MATHIAS FUHR

**A INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM NA SEGURANÇA VIÁRIA:
ANÁLISE EM UM TRECHO DA BR-163, TOLEDO-PR**

**The influence of drainage systems on road safety: analysis of a section of BR-163,
Toledo-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Narayana Saniele Massocco

Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Silvana da Silva

TOLEDO

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

PEDRO MATHIAS FUHR

**A INFLUÊNCIA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM NA SEGURANÇA VIÁRIA:
ANÁLISE EM UM TRECHO DA BR-163, TOLEDO-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 18 / 11 / 2025

Narayana Saniele Massocco
Doutorado em Geotecnia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Silvana da Silva
Doutorado em Desenvolvimento Rural Sustentável
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Alana Dias de Oliveira
Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Arlete Martins Diniz
Mestrado em Engenharia de Produção
Departamento de Estradas de Rodagem (DER)

TOLEDO
2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de toda sabedoria e força, por me guiar e sustentar em cada etapa desta caminhada. À minha orientadora, Prof^a Dr^a Narayana Saniele Massocco, expresse profunda gratidão pela paciência, dedicação e por acreditar neste trabalho. À coorientadora Prof^a Ms. Patrícia Casarotto de Oliveira que, mesmo precisando se ausentar por um motivo tão belo e abençoado, deixou sua marca com ensinamentos valiosos; e à Prof^a Dr^a Silvana da Silva que assumiu com generosidade e responsabilidade, garantindo a continuidade e o sucesso desta jornada. Agradeço também à minha família, por todo amor, apoio e compreensão nos momentos de cansaço, e aos amigos que estiveram ao meu lado, oferecendo palavras de incentivo e companhia nas horas mais difíceis. A cada um, o meu sincero muito obrigado.

RESUMO

A drenagem rodoviária ineficiente é um agente crítico na degradação de pavimentos e na segurança viária. Este trabalho objetivou analisar a influência dos sistemas de drenagem na ocorrência de acidentes em um trecho da BR-163 em Toledo-PR. A metodologia integrou a avaliação objetiva do pavimento pelo Índice de Gravidade Global (IGG) , o desenvolvimento de um Índice de Drenagem Superficial (IDS) e a análise comparativa de dados de sinistros (DER/PR) e precipitação (IAT). Os resultados classificaram o pavimento como "Péssimo", com IGG de 266,42 , destacando o afundamento de trilha de roda (ATP) como patologia predominante. Foi observada uma correlação direta entre os piores escores do IDS (drenagem deficiente) e os maiores afundamentos de trilha de roda (20-26 mm). A análise de sinistros revelou maior frequência de acidentes em meses secos devido ao provável aumento da confiança e conseqüentemente da velocidade, sugerindo que o comportamento do motorista modula a frequência total. Conclui-se que falhas na drenagem causam a degradação estrutural (afundamentos) que elevam o risco técnico de aquaplanagem, mesmo que o comportamento do condutor seja o fator dominante na frequência geral de acidentes.

Palavras-chave: Drenagem Rodoviária; Segurança Viária; Patologias de Pavimento; IGG; Afundamento de Trilha de Roda.

ABSTRACT

Inefficient highway drainage is a critical factor in pavement degradation and road safety. This study aimed to analyze the influence of drainage systems on the occurrence of accidents along a segment of BR-163 in Toledo, Paraná. The methodology combined an objective pavement evaluation using the Global Severity Index (IGG), the development of a Surface Drainage Index (IDS), and a comparative analysis of accident data (DER/PR) and precipitation records (IAT). The results classified the pavement as 'Very Poor,' with an IGG of 266.42, highlighting wheel-path rutting (ATP) as the predominant distress. A direct correlation was observed between the worst IDS scores (poor drainage) and the greatest rut depths (20–26 mm). Accident analysis showed a higher frequency of crashes during dry months due to increased driver confidence and, consequently, higher speeds, suggesting that driver behavior modulates overall accident frequency. It is concluded that drainage failure causes structural degradation (rutting) that increases the technical risk of hydroplaning, even though driver behavior remains the dominant factor in the overall accident frequency.

Keywords: Road Drainage; Road Safety; Pavement Distress; Global Severity Index; Rutting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma representativo da revisão bibliográfica	17
Figura 2 - Influência dos comprimentos de onda de textura na interação pneu/pavimento	20
Figura 3 - Conceito das três zonas de superfície molhada	21
Figura 4 - Principais componentes de um sistema de drenagem de rodovias	24
Figura 5 - Evolução da deterioração em pavimentos rodoviários	29
Figura 6 - Fluxograma de delineamento metodológico da pesquisa	38
Figura 7 - Localização geográfica do trecho estudado e geologia	39
Figura 8 - Vista de satélite da Rodovia BR-163, km 247 e vista ao nível da rodovia	40
Figura 9 - Perfil esquemático do pavimento do trecho estudado	41
Figura 10 - Distribuição mensal das chuvas e temperaturas médias no município de Toledo-PR - Ano de 2024	42
Figura 11 - Fluxograma de delineamento da Pesquisa	44
Figura 12 - Georreferenciamento do trecho de análise da rodovia BR-163	46
Figura 13 - Esquema visual de delimitação de estações conforme o método IGG	46
Figura 14 - Trena Metálica com Roda	48
Figura 15 - Cavalete de madeira para medição das flechas de trilha de roda	48
Figura 16 - Análise Visual dos Km 0+0 até 0+200	54
Figura 17 - Patologias encontradas - Km 0+0 até 0+200	55
Figura 18 - Análise Visual dos Km 0+220 até 0+400	56
Figura 19 - Patologias encontradas - Km 0+220 até 0+400	56
Figura 20 - Análise Visual dos Km 0+420 até 0+600	57
Figura 21 - Patologias encontradas - Km 0+420 até 0+600	57
Figura 22 - Análise Visual dos Km 0+620 até 0+800	58
Figura 23 - Patologias encontradas - Km 0+620 até 0+800	58

Figura 24 – Análise Visual dos Km 0+820 até 0+960	59
Figura 25 – Patologias encontradas - Km 0+820 até 0+960	60
Figura 26 – Patologias encontradas em todo trecho	61
Figura 27 – Detalhamento dos afundamentos de trilha de roda internos e externos para cada estação	62
Figura 28 – Cálculo do Índice de gravidade global.....	63
Figura 29 – Exemplo de afundamento de trilha de roda no trecho estudado	65
Figura 30 – Valeta lateral tomada por vegetação e sedimentos na BR- 163	66
Figura 31 – Afundamento plástico com acúmulo de água na trilha de roda.....	66
Figura 32 – Trincas interligadas com erosão nos bordos.....	67
Figura 33 – Formação de panelas em zonas com drenagem ineficiente.....	67
Figura 34 – Erosão lateral em pontos de surgimento de panelas.....	68
Figura 35 – IDS's calculados para cada estação	70
Figura 36 – Comparativo de Sinistros da BR-163 e as médias pluviométricas mensais em Toledo-PR.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do estado de conservação de rodovias com base no IGG	31
Tabela 2 - Classificação do Índice de Drenagem Superficial.....	34
Tabela 3 - Comparativo resumido dos estudos de caso apresentados	37
Tabela 4 - Pontuação para classificação do desempenho de escoamento superficial através da deflexão dos trilhos de roda	49
Tabela 5 - Pontuação para classificação do desempenho de escoamento superficial através da deflexão dos trilhos de roda	50

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
Officials	
ATP	Afundamento Plástico de Trilha
BR	Rodovia Federal
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DER/PR	Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	Escorregamento do Revestimento Betuminoso
EX	Exsudação do Ligante Betuminoso no Revestimento
FHWA	Federal Highway Administration
FIA	Fédération Internationale de l'Automobile
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
IAT	Instituto Água e Terra
IDS	Índice de Drenagem Superficial
J	Trinca Tipo “Couro de Jacaré” sem Erosão Acentuada
JE	Trinca Tipo “Couro de Jacaré” com Erosão Acentuada nas Bordas
MINEROPAR	Minerais do Paraná
NASCAR	National Association for Stock Car Auto Racing
P	Panela ou Buraco decorrente da Desagregação do Revestimento
PCI	Pavement Condition Index
PIARC	World Road Association (Association Mondiale de la Route)
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RS	Remendo Superficial
RP	Remendo Profundo
SIMEPAR	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Segurança Viária e Fatores de Risco	17
2.2 A Dinâmica da água na superfície rodoviária	19
2.3 Sistemas de drenagem rodoviária	22
2.3.1 Classificação e componentes dos sistemas de drenagem	22
2.4 Manutenção dos sistemas de drenagem rodoviária	25
2.4.1 Impactos da Ausência ou Ineficiência da Manutenção	26
2.4.2 A Importância da Gestão Preventiva	27
2.5 Método do Índice de Gravidade Global (IGG)	30
2.5.1 Definição e Objetivo do IGG	30
2.5.2 Metodologia de cálculo	30
2.5.3 Critérios de Avaliação e Classificação	31
2.6 Índice de Drenagem Superficial (IDS)	32
2.6.1 Conceito de Índices Sintéticos na Avaliação de Pavimentos	32
2.6.2 Relação entre Drenagem e Indicadores Funcionais	33
2.6.3 Fundamentação do Índice Final de Drenagem Superficial (IDS)	33
2.7 Estudos de Caso	34
2.7.1 Metodologias de Avaliação de Pavimentos (IGG e PCI):	34
2.7.2 Análise da Degradação e Causas em Estudos de Caso	35
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	38

3.1. Área de Estudo	38
3.2 Delineamento, abordagem e tipo da Pesquisa	42
3.1.1. Coleta de Dados e Fontes de Informação	44
3.1.2. Análise de campo e equipamentos utilizados	45
3.1.3. Procedimentos de Análise	51
4. RESULTADOS E ANÁLISES	53
4.1. Avaliação visual e identificação dos trechos	53
4.2. Avaliação Objetiva do pavimento	61
4.2.1. Condição estrutural: Afundamentos de trilha de roda	61
4.2.2. Índice de Gravidade global	63
4.2.3. Exemplificação de patologias encontradas	64
4.3. Avaliação da Drenagem na Deterioração e na Segurança Viária	68
4.3.1. Avaliação da deficiência de drenagem	69
4.3.2. Relação com a segurança viária	71
4.4. Diretrizes de Intervenção e Manutenção	74
5. CONCLUSÃO	76
5.1. Verificação dos Objetivos	77
5.1.1. Identificar os principais critérios técnicos de eficiência da drenagem.	77
5.1.2. Avaliar o impacto da ausência de manutenção nos dispositivos de drenagem e sua relação com patologias e riscos.	77
5.1.3. Estabelecer correlações entre pontos críticos de drenagem e registros de acidentes	77
5.1.4. Analisar o papel da drenagem preventiva como estratégia de prolongamento da vida útil	78
5.1.5. Propor medidas de melhorias e soluções técnicas	78
5.2. Limitações e Recomendações para Trabalhos Futuros	78
5.3. Considerações Finais	78
REFERÊNCIAS	80

ANEXOS	84
APÊNDICES.....	88

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil, em suas diversas vertentes, tem como um de seus pilares fundamentais a concepção e aprimoramento de sistemas que garantam a segurança, a eficiência e a durabilidade de infraestruturas e processos. No âmbito das vias de transporte, sejam elas estradas, ferrovias ou pistas de competição, a busca por soluções que minimizem riscos e otimizem o desempenho é uma constante. A complexidade de fatores envolvidos desde as interações dinâmicas entre veículos e superfícies até as imprevisíveis condições ambientais exige uma abordagem multidisciplinar e o desenvolvimento contínuo de tecnologias e metodologias construtivas e de manutenção.

Em ambientes de alto desempenho e risco controlado, como as pistas de automobilismo e competições de alta velocidade, a engenharia de segurança atinge um patamar de excelência. Nesses cenários, a otimização da segurança é primordial e intrinsecamente ligada ao desempenho. A concepção de pistas, por exemplo, envolve a análise minuciosa da micro e macrotextura do pavimento para garantir a máxima aderência em diferentes condições climáticas, assim como sistemas de drenagem superdimensionados e eficientes, projetados para evacuar grandes volumes de água em frações de segundos, prevenindo fenômenos como a aquaplanagem (NASCAR, 2023; FIA, [s.d.]). Tais avanços, embora desenvolvidos para o esporte, servem como laboratórios de inovação cujos princípios podem ser transpostos e adaptados para o aprimoramento da segurança nas rodovias de uso cotidiano.

No contexto das rodovias, a segurança viária representa um dos maiores desafios para a infraestrutura de transportes no Brasil. O crescente volume de tráfego, as instabilidades climáticas e as particularidades geográficas do território nacional impõem uma demanda contínua por infraestruturas resilientes e seguras (DER/PR, 2023).

Um dos elementos cruciais para a segurança e a longevidade das rodovias, frequentemente subestimado, é a eficiência dos sistemas de drenagem. A água, em suas diversas manifestações, é um dos principais agentes deterioradores de pavimentos asfálticos. Sua presença excessiva, seja na estrutura do pavimento ou na superfície da pista, acelera a degradação e compromete severamente as condições de trafegabilidade (Jabôr, 2022).

A infiltração de água no subleito e nas camadas do pavimento asfáltico pode levar a degradação dos materiais, à perda de capacidade de suporte e ao desenvolvimento de patologias como panelas, trincas e afundamentos, reduzindo significativamente a vida útil da estrutura (Oliveira; Barbosa, 2013; Silva et al., 2020). Mais diretamente ligada à segurança viária, a formação de lâminas d'água na superfície da pista em períodos chuvosos acarreta

uma redução drástica do atrito entre o pneu e o pavimento. Esse fenômeno aumenta consideravelmente a distância de frenagem, o risco de derrapagens e a ocorrência da hidroplanagem, onde o veículo perde completamente o contato com a superfície da rodovia, resultando em perda de controle e consequentes acidentes (Carvalho, 2019; Carvalho; Machado; Bernucci, 2020).

Reconhecendo a criticidade do controle hídrico, órgãos como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) estabelecem manuais e diretrizes técnicas para o projeto e a execução de sistemas de drenagem em rodovias, como o Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006) e o Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem (DNIT, 2018). Tais documentos são fundamentais para orientar a construção de infraestruturas que garantam o escoamento adequado da água e a proteção do pavimento. Contudo, a efetividade desses sistemas depende não apenas de um projeto adequado, mas também de uma execução rigorosa e, principalmente, de uma manutenção contínua e eficaz (Lima; Sousa; Matos; Silva, 2022).

A negligência na manutenção periódica de dispositivos como bueiros, sarjetas e valetas é um fator preponderante para a colmatagem do solo e a perda da capacidade de escoamento, culminando no acúmulo de água e na aceleração da deterioração da rodovia (Campos; Mota, 2020; Siqueira Rego, 2022). No trecho da BR-163 em Toledo, essa deficiência de manutenção se reflete em um pavimento intensamente degradado, com afundamentos pronunciados em trilha de roda e comprometimento do escoamento superficial. Esse quadro coincide com um histórico relevante de acidentes, o que indica que a deterioração estrutural associada à ineficiência da drenagem contribui para a redução da estabilidade veicular e para o aumento do risco operacional. Neste contexto, esta pesquisa propõe-se a analisar a influência dos sistemas de drenagem na ocorrência de acidentes rodoviários, considerando aspectos técnicos e operacionais da infraestrutura viária. Objetiva-se, portanto, responder aos seguintes questionamentos: os sistemas de drenagem impactam a segurança viária de uma rodovia? E de que maneira?

O objeto de estudo consiste em um trecho do pavimento da rodovia BR-163, localizado no contorno norte do município de Toledo-PR, nas proximidades do Parque do Povo - Luiz Cláudio Hoffmann. Para tanto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos: identificar os critérios técnicos de eficiência da drenagem; avaliar o impacto da ausência de manutenção e sua relação com patologias e riscos à segurança; correlacionar pontos críticos de drenagem com registros de acidentes; e propor medidas de melhorias e soluções técnicas para a mitigação de riscos associados à drenagem insuficiente. A

compreensão aprofundada desses aspectos visa embasar o desenvolvimento de infraestruturas rodoviárias mais seguras e duráveis no Brasil.

1.1 Justificativa

A malha rodoviária é a espinha dorsal do transporte brasileiro, essencial para o desenvolvimento socioeconômico e a mobilidade da população. Contudo, a segurança viária permanece um desafio crítico no país, com altos índices de acidentes que geram perdas humanas e impactos socioeconômicos (DER/PR, 2023). Um fator preponderante na ocorrência desses acidentes, especialmente em condições de chuva, é a presença de lâminas d'água na pista, que compromete a aderência pneu-pavimento e aumenta o risco de derrapagens e hidroplanagem (Carvalho, 2019; Carvalho et al., 2020).

Nesse cenário, a eficiência dos sistemas de drenagem rodoviária assume papel crucial. A água é o principal agente deteriorador de pavimentos asfálticos, infiltrando-se nas camadas e causando patologias como buracos e trincas, que reduzem a vida útil da estrutura e criam perigos diretos para os usuários (Jabôr, 2022; Silva et al., 2020; Oliveira; Barbosa, 2013). Assim, a drenagem inadequada, a falta de manutenção e o mal dimensionamento de pavimentos não só elevam os custos de conservação, mas também potencializa os acidentes, resultando em incalculáveis perdas sociais e humanas (Pinheiro et al., 2021).

Embora existam diretrizes técnicas para drenagem (DNIT, 2006; 2018), a aplicação e a manutenção na prática muitas vezes são deficientes. A obstrução de bueiros e sarjetas, por exemplo, é comum e leva ao acúmulo de água, acelerando a degradação da via e o risco de acidentes (Campos; Mota, 2020; Siqueira Rego, 2022). A crescente frequência de eventos climáticos extremos agrava essa vulnerabilidade.

No contexto local, o trecho da BR-163 localizado no Contorno Norte de Toledo apresenta um histórico significativo de acidentes e uma condição estrutural que evidencia deficiências de drenagem e degradação acumulada. As análises realizadas no presente estudo identificaram afundamentos expressivos em trilha de roda, trincamentos interligados, erosões laterais e formação recorrente de lâmina d'água, patologias que comprometem a aderência pneu-pavimento e aumentam o risco operacional da rodovia. Somado a isso, o acúmulo de sedimentos e o funcionamento precário de dispositivos como sarjetas e valetas indicam que a drenagem superficial não tem desempenhado adequadamente seu papel, potencializando tanto a deterioração do pavimento quanto a probabilidade de sinistros. Assim, a escolha deste trecho justifica-se pela necessidade concreta de compreender como a interação entre

drenagem deficiente, pavimento deteriorado e comportamento dos condutores influencia diretamente os índices de acidentes, reforçando a relevância prática e regional desta investigação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência dos sistemas de drenagem na ocorrência de acidentes rodoviários, com ênfase nas condições de pista molhada, considerando aspectos técnicos e operacionais da infraestrutura viária.

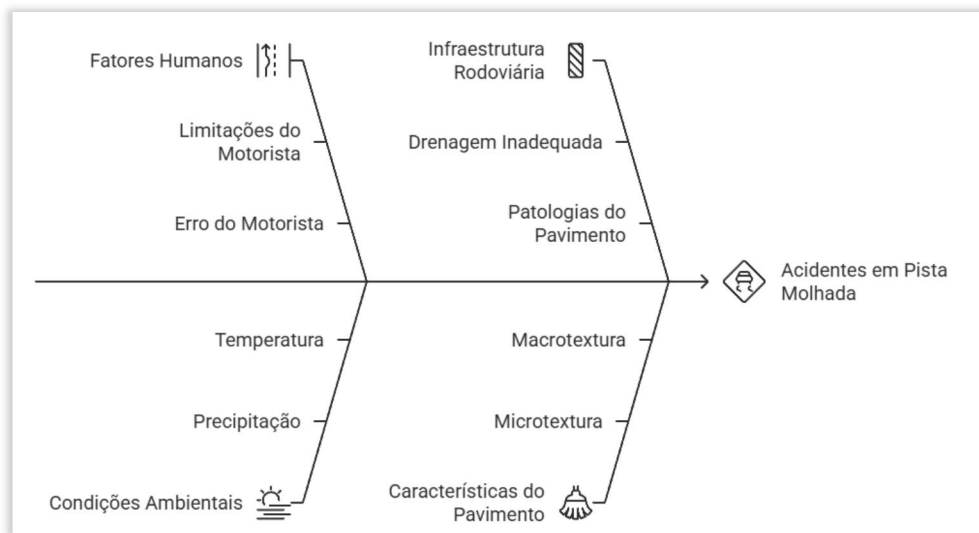
1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os principais critérios técnicos que regem a eficiência dos sistemas de drenagem em pavimentos asfálticos.
- Avaliar o impacto da ausência de manutenção periódica nos dispositivos de drenagem e sua relação com o agravamento de patologias no pavimento e riscos à segurança viária.
- Estabelecer correlações entre pontos críticos de drenagem e registros de acidentes em trechos com histórico de pista molhada.
- Propor medidas de melhorias e soluções técnicas para a mitigação de riscos associados à drenagem insuficiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar um panorama aprofundado sobre os conceitos, teorias e estudos relevantes que fundamentam a presente pesquisa. A Figura 1 a seguir ilustra, por meio de um fluxograma, as etapas de desenvolvimento desta revisão bibliográfica. Serão abordados temas essenciais como a segurança viária e seus fatores de risco, a dinâmica da água na superfície rodoviária, os diferentes tipos e componentes dos sistemas de drenagem rodoviária, e a crucial importância da manutenção preventiva para a eficiência e longevidade dessas infraestruturas. A análise crítica da literatura existente busca contextualizar o problema da ineficiência da drenagem e seu impacto direto na segurança das rodovias, especialmente em condições de pista molhada. Por fim, a revisão de literatura aborda estudos de casos que englobam tópicos ligados a eficiência da drenagem, acidentes e patologias do pavimento rodoviário.

Figura 1 - Fluxograma representativo da revisão bibliográfica



Fonte: Autoria própria (2025)

2.1 Segurança Viária e Fatores de Risco

A busca por um ambiente rodoviário que minimize perigos e suas consequências, operando com regras e infraestrutura adequadas, constitui a própria essência da segurança viária. Lima et al. (2022) afirmam que esforços globais são direcionados continuamente à segurança nas rodovias, buscando a redução de lesões e fatalidades no trânsito. Para esses autores, embora a mobilidade e os propósitos econômicos sejam prioridades frequentes para

os gestores, a garantia de uma operação segura para todos os usuários da via possui importância equivalente ou complementar a esses objetivos.

Acidentes de trânsito configuram-se como eventos complexos e multifatoriais. Carvalho, Machado e Bernucci (2020) descrevem que esses eventos frequentemente resultam da falha do motorista em interagir adequadamente com o ambiente da via. As limitações físicas, perceptivas e cognitivas dos condutores são identificadas como as maiores fontes de erro, o que demanda a implementação de medidas no sistema viário para atenuá-las.

Apesar da intrínseca multifatorialidade dos acidentes, os fatores relacionados à infraestrutura da via, especialmente quando associados a condições climáticas adversas, desempenham um papel significativo nas ocorrências. Um estudo de Carvalho (2019), focado na textura superficial dos pavimentos asfálticos, destaca essa influência. Dada a dificuldade de controle integral sobre os fatores humanos e veiculares, a gestão eficaz de sistemas viários exige a implementação de ações robustas nas áreas passíveis de controle, como a própria infraestrutura.

Nesse contexto, as condições ambientais e a resposta da infraestrutura viária a elas emergem como elementos críticos para a segurança. Conforme apontado por Carvalho, Machado e Bernucci (2020), a presença de água na superfície do pavimento, por exemplo, é um fator ambiental que notoriamente compromete a segurança viária.

Oliveira e Barbosa (2013) sugerem que a deterioração das estradas rodoviárias, frequentemente exacerbada pela má drenagem, pode ser prevenida por métodos de drenagem eficazes. Pesquisas de Pinheiro, Coutinho e Ferreira (2021) demonstram que rodovias desprovidas de sistemas de drenagem adequados apresentam um índice de acidentes sensivelmente superior ao de vias equipadas com dispositivos de escoamento dimensionados conforme as normas técnicas.

Essa disparidade é ainda mais acentuada em regiões propensas a eventos climáticos extremos. A camada de água na pista de rolamento reduz drasticamente a aderência entre os pneus e o pavimento, um fator crítico para a manutenção do controle do veículo e a execução segura de manobras, conforme evidenciado por Carvalho (2019) e Linhares (2021). Essa redução de atrito, particularmente em condições de pista molhada, pode culminar em fenômenos como a aquaplanagem, elevando o risco de acidentes por derrapagem (Silva et al., 2020).

Adicionalmente, Oliveira e Barbosa (2013) reforçam que a drenagem é reconhecida como um dos trabalhos auxiliares mais importantes na engenharia rodoviária, sendo essencial para a conservação e funcionalidade das estradas.

A interação complexa entre os elementos do sistema de trânsito (humano, veículo, via e meio ambiente) demandam uma abordagem integrada no projeto e gestão rodoviária, com atenção especial à influência das condições climáticas na superfície do pavimento. A relevância de investigar essa correlação entre as condições superficiais das rodovias e o número de acidentes, particularmente em pista molhada, é sublinhada por Carvalho (2019), dada a imperatividade de buscar soluções para mitigar esses riscos.

Jabôr (2022) define a drenagem como a remoção do excesso de água (superficial e subterrânea) de uma área, desempenhando um papel vital no desempenho e na vida útil de um pavimento. Por sua vez, Lima et al. (2022) alertam que a negligência na implementação de um sistema de drenagem eficiente pode ocasionar patologias estruturais significativas, como o enfraquecimento e a desagregação das camadas do pavimento, resultando na diminuição da segurança da via e comprometendo a infraestrutura do transporte rodoviário.

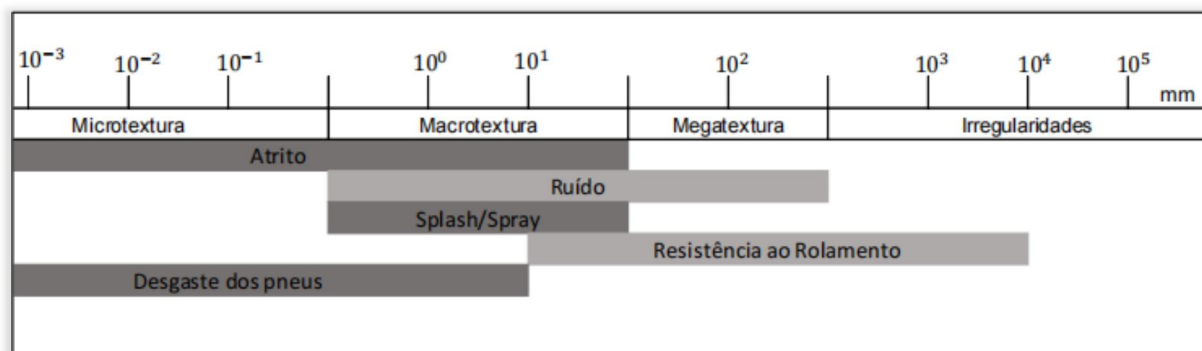
2.2 A Dinâmica da água na superfície rodoviária

A presença de água na superfície da pista de rolamento é um fator ambiental crítico que compromete diretamente a segurança viária. Carvalho, Machado e Bernucci (2020) afirmam que o acúmulo de água sobre o pavimento, frequentemente devido à precipitação, pode formar um filme que potencializa o efeito prejudicial da água: a redução da resistência à derrapagem.

A principal consequência da presença de água na pista é a redução da aderência (atrito) entre os pneus dos veículos e o pavimento. Conforme explicam Carvalho, Machado e Bernucci (2020) e Linhares (2021), o atrito pneu-pavimento é essencial para a manutenção do controle do veículo e para a execução segura de manobras, como frenagem e direção. A água atua como um lubrificante nessa interface, diminuindo o atrito disponível. A interação entre o pneu e o pavimento molhado depende significativamente das características superficiais do pavimento.

A textura superficial do pavimento desempenha um papel fundamental na manutenção do atrito em condições molhadas. Um estudo de Carvalho (2019) detalha como as diferentes escalas de textura influenciam o atrito de maneiras distintas (Figura 2).

Figura 2 - Influência dos comprimentos de onda de textura na interação pneu/pavimento



Fonte: Carvalho (2019)

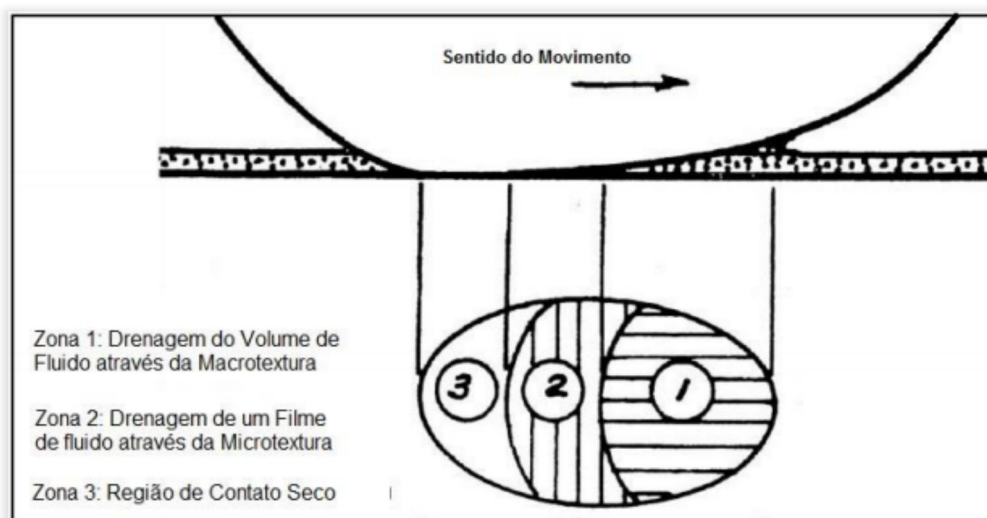
A microtextura, que atua em uma escala menor (inferior a 1 mm), provê adesão e é essencial para penetrar finas camadas de água, permitindo o contato direto entre o pneu e o pavimento. A macrotextura, que atua em uma escala maior (entre 1 mm e 10 mm), provê canais para a drenagem da água, dispersando o filme entre o pneu e a superfície, sendo fundamental para o escoamento superficial das águas.

Carvalho (2019) destaca que, juntas, a microtextura e a macrotextura auxiliam na manutenção do atrito pneu-pavimento. A falta de drenagem superficial adequada, influenciada pela macrotextura, aumenta o risco de degradação prematura do revestimento asfáltico. Defeitos na geometria da via, como afundamentos em trilha de roda, também facilitam o acúmulo de água (Oliveira; Barbosa, 2013).

Um dos fenômenos mais críticos associados à presença de lâminas d'água na pista é a aquaplanagem, também conhecida como hidropplanagem. Segundo Silva et al. (2020), a aquaplanagem ocorre quando os pneus perdem parcial ou totalmente o contato com a superfície do pavimento devido à interposição de uma camada de água. Nessa situação, o atrito disponível é drasticamente reduzido, comprometendo severamente o controle direcional e a capacidade de frenagem do veículo. Linhares (2021) e Carvalho (2019) explicam que o fenômeno é complexo, influenciado pela espessura da lâmina d'água, velocidade do veículo, características da macrotextura do pavimento e das características dos pneus (profundidade dos sulcos, pressão de inflação). O risco de aquaplanagem aumenta com a velocidade, pois a água sob o pneu não consegue ser expelida totalmente a tempo.

A área de contato entre o pneu e o pavimento molhado pode ser dividida em zonas distintas (Figura 3) que ilustram o fenômeno da aquaplanagem, conforme detalhado por Carvalho (2019).

Figura 3 - Conceito das três zonas de superfície molhada



Fonte: Carvalho (2019)

- Zona 1 (Zona Molhada): Região de contato inicial onde ocorre a hidrodinâmica, sujeita a uma lâmina de água espessa. O pneu empurra a água para frente, criando uma pequena onda.
- Zona 2 (Zona de Transição): Região intermediária, sujeita à hidrodinâmica viscosa, onde uma lâmina de água delgada atua como lubrificante. Nesta zona, o pneu tenta expulsar a água através dos sulcos.
- Zona 3 (Zona Seca): Região final onde, teoricamente, ocorre o contato total entre o pneu e o pavimento, e o atrito disponível contribui para a desaceleração e controle do veículo. A proporção dessas zonas não é constante e varia com a espessura da lâmina d'água, a pressão dos pneus, o tipo de manobra e, principalmente, a velocidade do veículo. A contaminação da água por finos de poeira ou outros materiais também pode afetar o atrito.

Além da perda de aderência e da aquaplanagem, a presença de água na superfície do pavimento contribui para outros problemas que afetam a segurança, como os fenômenos de splash e spray, que reduzem a visibilidade dos motoristas. O filme de água também pode criar uma reflexão de luz, dificultando a visualização da sinalização horizontal por parte dos motoristas (Carvalho, 2019).

A complexa dinâmica da água na superfície rodoviária, com a formação de lâminas d'água, a redução da aderência devido à interposição do filme d'água e a ocorrência de aquaplanagem, aumenta significativamente o risco de acidentes, especialmente acidentes por derrapagem. Dados históricos generalizados frequentemente compilados por estudos como de

Silva et al. (2020) e Carvalho (2019) mostram que o número de acidentes em pista molhada excede o de pista seca, evidenciando a importância de soluções que aprimorem as características superficiais do pavimento, como a macrotextura e o atrito, para melhorar a drenagem e a aderência em condições molhadas.

2.3 Sistemas de drenagem rodoviária

A drenagem rodoviária constitui uma ciência fundamental na engenharia de transportes, cujo objetivo principal é remover ou impedir tecnicamente o excesso de águas superficiais e profundas que possam influenciar a estrutura da rodovia. Conforme Pinheiro, Coutinho e Ferreira (2021) destacam, trata-se de um elemento indispensável para assegurar a conservação da rodovia, prevenindo acidentes decorrentes do acúmulo de água (como a aquaplanagem) e garantindo a segurança do tráfego. Um sistema de drenagem bem projetado, construído e conservado aumenta significativamente a durabilidade da rodovia, dos elementos estruturais e a integridade dos taludes de corte e aterro, além de proteger obras de contenção e reduzir despesas com conservação. O Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (BRASIL, 2006), assim como Jabôr (2022), enfatiza que o sistema busca garantir a integridade do corpo estradal e do seu entorno, bem como a segurança dos usuários da via, idealmente com o menor custo de implantação e manutenção. Sua finalidade última é interceptar e/ou conduzir para local adequado toda a água que possa atingir e causar danos ao corpo estradal.

O sistema de drenagem de rodovias compreende um conjunto de dispositivos com objetivos específicos, que devem ser dimensionados, projetados e detalhados. Delgado (2008) ressalta que a sua concepção e dimensionamento eficaz requerem conhecimentos básicos de hidrologia e estudos topográficos, além da escolha adequada de estruturas e métodos.

Os procedimentos técnicos orientam a elaboração de projetos para a redução de alagamentos e melhoria das condições da via. É importante observar os impactos e ganhos ambientais da drenagem (Namy, 1999). A manutenção do sistema deve ser preventiva antes do período de chuvas e corretiva executada no começo da temporada seca (Lima et al., 2022).

2.3.1 Classificação e componentes dos sistemas de drenagem

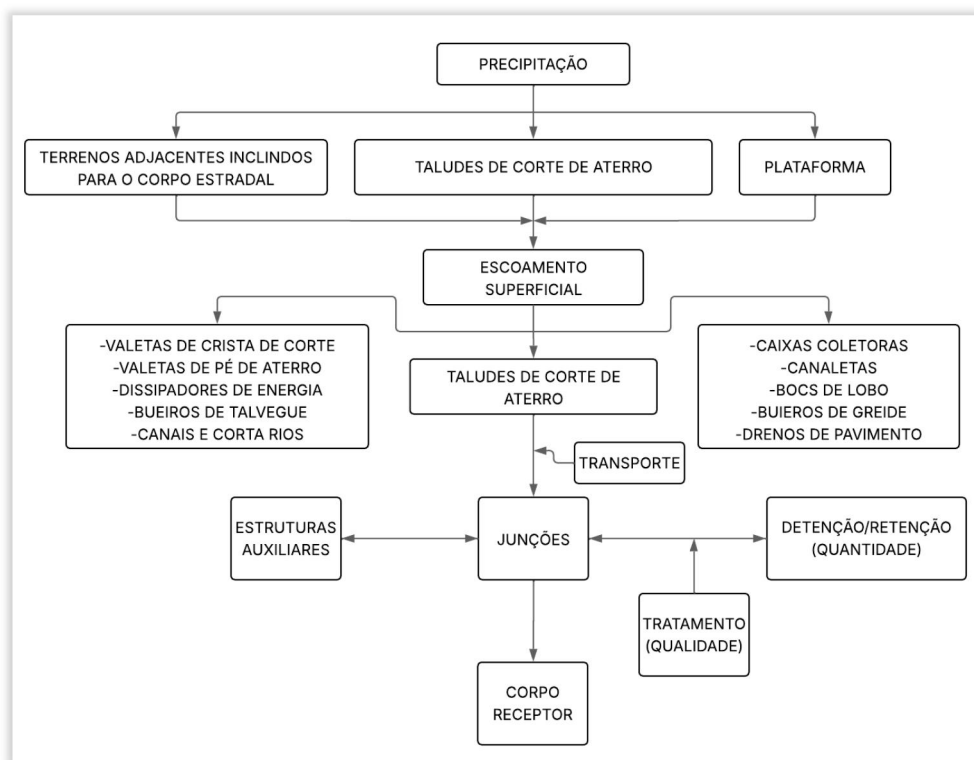
Os sistemas de drenagem rodoviária podem ser classificados de diferentes maneiras, geralmente com base na sua localização e função em relação ao corpo da estrada, conforme

detalhado no Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (Brasil, 2006) e por Jabôr (2022), a classificação pode ser:

- a) Drenagem Superficial: Tem como objetivo interceptar e captar as águas provenientes de áreas adjacentes e aquelas que se precipitam diretamente sobre o corpo estradal, conduzindo-as para um deságue seguro, a fim de resguardar a segurança e estabilidade da rodovia.
- b) Drenagem do Pavimento (ou Subsuperficial): Busca impedir a ação prejudicial das águas que atingem ou atravessam as camadas do pavimento. Visa, sobretudo, impedir as águas sobre a superfície da rodovia.
- c) Drenagem Subterrânea (ou Profunda): Destina-se a interceptar e/ou remover, coletar e conduzir as águas provenientes do lençol freático ou da percolação. Sua função principal é rebaixar o nível do lençol freático e interceptá-lo a montante do corpo estradal.
- d) Drenagem de Transposição de Talvegues (ou Drenagem de Grota): Visa possibilitar a passagem segura da água de um lado para o outro da estrada em travessias de cursos d'água. Além dessa classificação funcional, o Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasil (2022) e Acioli (2005) abordam os sistemas de drenagem urbana que se integram à drenagem rodoviária em travessias urbanas, que podem ser categorizados em níveis como drenagem na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte atua em locais como lotes e estacionamentos, sendo um tema de estudo para o controle do escoamento superficial (Acioli, 2005).

Os principais componentes e dispositivos utilizados em um sistema de drenagem rodoviária podem ser visualizados na Figura 4 e incluem, de acordo com o Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem do DNIT (Brasil, 2018) e Jabôr (2022):

Figura 4 - Principais componentes de um sistema de drenagem de rodovias



Fonte: Adaptado de Jabôr (2022)

Dispositivos de Superfície: Valetas de proteção de corte e aterro, sarjetas de corte e aterro (incluindo sarjeta de canteiro central e meio-fio-sarjeta conjugados), saídas d'água (dispositivos de transição entre sarjetas de aterro e descidas d'água), descidas d'água (para conduzir águas pelos taludes), caixas coletoras (para coletar e canalizar águas), bueiros de greide (para transpor fluxos coletados superficialmente), dissipadores de energia (para reduzir a velocidade da água) e escalonamento de taludes. Muretas de proteção em corte de rocha e corta-rios também podem compor o sistema superficial.

- Dispositivos do Pavimento: Inclui camada drenante, drenos laterais de base e drenos transversais (para interceptar e conduzir águas através das camadas do pavimento).
- Dispositivos Subterrâneos: Drenos profundos longitudinais (para rebaixar ou interceptar o lençol freático), drenos espinha de peixe (para drenar grandes áreas), drenos sub-horizontais, colchão drenante e drenos verticais (em aterros sobre solos moles). Estes drenos são constituídos por valas, materiais drenante e filtrante, e podem ter tubos.
- Dispositivos de Transposição de Talvegues: É realizada por meio de bueiros, pontilhões e pontes. O Álbum de Projetos-Tipo do DNIT (Brasil, 2018) detalha que bueiros podem ser tubulares, celulares ou especiais (arco, elipse, ovoide); simples

ou múltiplos; e de concreto, metálicos ou outros materiais. As pontes são obras de maior porte para vencer talvegues não transponíveis por bueiros ou pontilhões. Em trechos de travessia urbana, os dispositivos podem incluir sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias, conforme abordado pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (DISTRITO FEDERAL, 2009). Dispositivos de transposição de talvegues, como bueiros, são considerados obras de arte correntes ou especiais.

2.4 Manutenção dos sistemas de drenagem rodoviária

O sistema de drenagem de rodovias, composto por um conjunto de dispositivos, possui como objetivos fundamentais garantir a integridade do corpo estradal e do seu entorno, bem como a segurança dos usuários da via. Pinheiro, Coutinho e Ferreira (2021) e o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (Brasil, 2006) indicam que, para que este sistema desempenhe suas funções de maneira eficaz, ele depende não apenas de um projeto e construção adequados, mas, de suma importância, da manutenção desses dispositivos. A relevância da drenagem como componente essencial da infraestrutura rodoviária é enfatizada por Jabôr (2022).

A gestão da conservação rodoviária compreende operações rotineiras, periódicas e de emergência. A manutenção dos dispositivos de drenagem insere-se nessas atividades. Lima et al. (2022) argumentam que a conservação rotineira dos dispositivos de drenagem e obras de arte correntes tem o propósito de garantir boas condições de captação, escoamento e destinação das águas. Tais ações contribuem, por sua vez, para manter as características de aderência das pistas, preservar as estruturas e oferecer conforto e segurança aos usuários.

Da mesma forma, a gestão da vegetação lindeira às rodovias desempenha um papel crucial na funcionalidade dos sistemas de drenagem. O acúmulo excessivo de vegetação densa, seja ela nativa ou proveniente de plantações próximas, pode alterar significativamente o fluxo natural da água. Conforme apontado pela AGR Serviços (2020), essa alteração agrava problemas como a degradação das margens e o acúmulo de água na própria pista de rolamento, o que eleva diretamente o risco de acidentes. A manutenção e o controle adequados da vegetação são, portanto, essenciais para garantir que valas de escoamento e canais operem conforme projetado, direcionando a água de forma eficiente e prevenindo o entupimento e suas consequências adversas para a segurança viária e a integridade da infraestrutura.

2.4.1 Impactos da Ausência ou Ineficiência da Manutenção

A ausência ou a execução ineficiente da manutenção nos sistemas de drenagem rodoviária acarreta consequências severas, impactando a durabilidade da via, a segurança viária e os custos associados, as consequências mais usuais, são:

- a) Redução drástica da vida útil do pavimento: Estudos gerais de engenharia rodoviária, como os apresentados por Bernucci et al. (2022) em seu compêndio sobre pavimentação asfáltica, apontam que um pavimento que não é adequadamente drenado pode ter sua vida útil reduzida em até 70%.
- b) Deterioração acelerada da estrutura rodoviária: Oliveira e Barbosa (2013) detalham que a penetração da água nas camadas inferiores acelera a degradação estrutural. Isso leva ao surgimento de defeitos como fissuras, depressões, afundamentos (particularmente em trilhas de roda, que facilitam o acúmulo de água), panelas/buracos (cuja evolução é influenciada pela falta de manutenção e tráfego), escorregamento do revestimento, e comprometimento da estabilidade de taludes e aterros. Namy (1999) também corrobora que a água, associada a deslizamentos, recalques, erosões e defeitos no pavimento, é causa direta ou indireta da maioria dos problemas. Além disso, a água carrega partículas de solo do subleito e sub-base para as interfaces entre as camadas, favorecendo o surgimento de vazios na seção do pavimento.
- c) Aumento do risco de acidentes: O acúmulo de água na superfície da rodovia é um fator que contribui diretamente para acidentes, como a aquaplanagem. Pinheiro, Coutinho e Ferreira (2021) demonstram que a falta de drenagem superficial adequada aumenta o risco de acidentes. Defeitos no pavimento causados pela infiltração de água, como afundamentos, também comprometem o controle direcional dos veículos. Uma análise realizada por Lima et al. (2022) identifica a falta de manutenção dos dispositivos de drenagem como uma das principais causas da formação de lâminas d'água. O mau estado das rodovias, frequentemente ligado a problemas de drenagem, eleva os custos operacionais dos veículos.
- d) Aumento significativo dos custos: Observações de Lima et al. (2022) indicam que o mau estado das rodovias, frequentemente ligado a problemas de drenagem, eleva os custos operacionais dos veículos. A negligência da manutenção preventiva culmina na necessidade de reparos mais complexos e caros, como a recuperação ou restauração da via. Ainda sobre o tema, Bernucci et al. (2022) abordam que a

restauração, por exemplo, visa restabelecer o perfeito funcionamento e as características técnicas originais da via, estendendo sua vida útil, mas é uma intervenção de maior magnitude.

- e) Interrupção ou restrição do tráfego: Problemas graves decorrentes da falta de manutenção, como erosões significativas em aterros ou cortes, podem levar à interrupção ou restrição do tráfego rodoviário (BRASIL, 2006).
- f) Impactos ambientais negativos: A ineficiência ou ausência de dispositivos de drenagem adequados pode resultar em erosões. Namy (1999) explica que essas erosões podem levar ao assoreamento de cursos d'água e à alteração da qualidade da água. O Ministério do Desenvolvimento Regional (2022) recomenda firmemente que os sistemas sejam projetados para cumprir seu papel de forma eficiente, evitando erosões que causem assoreamento e alteram a qualidade da água de fontes hídricas à jusante. Acioli (2005) também discute que o lançamento inadequado de águas drenadas pode acarretar sérios problemas ambientais.

2.4.2 A Importância da Gestão Preventiva

Para mitigar os impactos negativos e assegurar o bom desempenho da infraestrutura rodoviária, a gestão da manutenção dos sistemas de drenagem deve ser predominantemente preventiva. Dentre os benefícios de uma gestão preventiva adequada, descam-se:

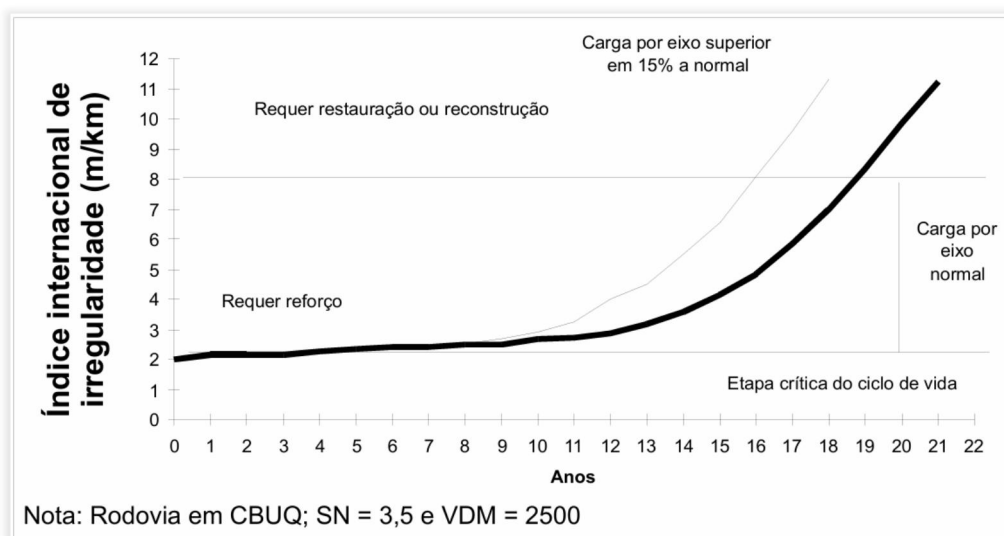
- a) Prevenção de defeitos: A manutenção preventiva periódica tem como objetivo primário evitar o surgimento ou agravamento de patologias. Oliveira e Barbosa (2013) e Lima et al. (2022) destacam que manter as obras de drenagem (como valetas, sarjetas e bueiros, e dispositivos de drenagem profunda como drenos laterais e poços de visita) funcionando corretamente é uma forma de conservação preventiva que combate as principais causas de danos nos pavimentos. Jabor (2022) sugere que para estruturas de percolação, por exemplo, a manutenção preventiva (idealmente trimestralmente) é necessária para evitar o entupimento. Dispositivos para retenção de sedimentos na entrada de estruturas de infiltração devem ser limpos regularmente, com maior frequência em áreas grandes ou com muito material obstrutivo (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022).
- b) Redução de custos: A manutenção preventiva é significativamente mais econômica do que as ações corretivas ou a recuperação da via. Para Lima et al. (2022), investir em prevenção evita gastos futuros maiores com reparos extensivos e obras refeitas prematuramente. Estes mesmos autores ainda pontuam que, para cada R\$ 1,00

investido em rodovias, pode haver uma redução de quase R\$ 3,00 no custo operacional dos veículos, evidenciando a relação custo-benefício da conservação.

- c) **Garantia da segurança viária:** Um sistema de drenagem bem conservado é crucial para a segurança dos usuários. Como afirmado por Pinheiro, Coutinho e Ferreira (2021), a conservação rotineira contribui para manter a aderência da pista e a segurança.
- d) **Aumento da durabilidade:** A manutenção, especialmente a preventiva, contribui para a longevidade da rodovia e protege o investimento realizado em sua construção e recuperação (Lima et al., 2022).
- e) **Inibição de problemas maiores:** Muitos problemas de grande escala podem ser prevenidos com manutenção periódica, sem a necessidade de implantação de novos dispositivos de drenagem. O Manual de Drenagem de Rodovias (BRASIL, 2006) enfatiza que a conservação rotineira adequada, em conjunto com outros serviços, pode evitar que uma rodovia deteriore a ponto de requerer restauração completa.
- f) **Gerenciamento eficiente e monitorado:** Uma gestão eficiente envolve o gerenciamento da manutenção, a fiscalização e a aplicação de regulamentação. O Ministério do Desenvolvimento Regional (2022) destaca que a inspeção regular é uma parte fundamental da manutenção preventiva. Recomenda-se que equipes de inspeção estejam equipadas para resolver pequenos problemas e realizar manutenção preventiva, registrando as condições do dispositivo e as tarefas executadas em fichas de inspeção, complementadas com documentação fotográfica. As fichas de inspeção devem ser refinadas com o tempo.

Acioli (2005) e o Ministério do Desenvolvimento Regional (2022) ressaltam que um monitoramento mais intensivo é geralmente realizado durante o primeiro ano de funcionamento de um dispositivo, passando a inspeções anuais posteriormente. A continuidade desse monitoramento é fundamental para verificar alterações de desempenho e evitar que o ativo entre em sua "Etapa crítica do ciclo de vida", como ilustrado na Figura 5. O gráfico demonstra, no contexto de um pavimento, como a degradação (medida pelo Índice de Irregularidade) se acelera, exigindo intervenções de "restauração ou reconstrução". Portanto, o monitoramento contínuo de dispositivos como pavimentos permeáveis é vital para planejar o "reforço" no momento certo, antes que custos maiores sejam incorridos.

Figura 5 - Evolução da deterioração em pavimentos rodoviários



Fonte: DNIT (2006)

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal (DISTRITO FEDERAL, 2009) indica que, em bacias de detenção, é necessário prever pontos de acesso compatíveis com o maquinário para facilitar a manutenção. Por outro lado Lima et al. (2022) sugerem que informações visíveis sobre o objetivo e funcionamento das bacias podem tornar os usuários co-responsáveis pela manutenção e segurança, ou seja, investir na comunicação visual relacionada à manutenção das rodovias.

Acioli (2005) discute que técnicas alternativas de drenagem urbana, como pavimentos permeáveis, áreas verdes como bacias de detenção, e dispositivos de infiltração/detenção/retenção, buscam compensar na fonte os efeitos da urbanização e favorecer processos hidrológicos alterados. A autora, também observa que esses dispositivos podem ser eficientes e econômicos, com potencial de integração estética ao ambiente e ao paisagismo (no caso de dispositivos abertos como áreas de estacionamento, parques e passeios), além de facilitarem a limpeza. Entretanto, sua aplicação é ainda limitada, em parte devido à "errônea ideia de que os mesmos possuem implementação mais onerosa e têm benefícios econômicos limitados".

A complexidade da manutenção dos sistemas de drenagem rodoviária, com ênfase na abordagem preventiva e rotineira, configura um campo de contínua atuação e aprimoramento na engenharia de transportes. Essa perspectiva é amplamente sustentada por diversas publicações relevantes, como o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (BRASIL, 2006) e os estudos de Lima et al. (2022). A compreensão de que a negligência na manutenção resulta em deterioração acelerada, aumento significativo de custos, riscos

elevados de acidentes e impactos ambientais negativos reforça a necessidade de estratégias proativas. Portanto, o foco na gestão eficiente e no investimento contínuo na manutenção preventiva da drenagem é fundamental para a sustentabilidade e o desempenho otimizado da malha rodoviária brasileira, promovendo avanços e resiliência diante dos desafios hidrológicos e operacionais.

2.5 Método do Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global (IGG) é um método de avaliação da condição de pavimentos flexíveis e semirrígidos, amplamente utilizado no Brasil para determinar a necessidade de serviços de restauração e manutenção em vias (Silva, 2018). Esse método foi estabelecido pela Norma DNIT 006/2003 – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento, sendo complementado pela DNIT 005/2002-TER, que define a codificação dos tipos de defeitos e seus fatores de ponderação.

2.5.1 Definição e Objetivo do IGG

O método do IGG (Índice de Gravidade Global) visa expressar numericamente a condição em que o pavimento se encontra, classificando-o conforme a intensidade e frequência dos defeitos observados. O valor do IGG varia de 0 (ótimo) a 160 (péssimo) (DNIT, 2003). Esse procedimento fornece um indicador quantitativo do estado funcional do pavimento, sendo amplamente aplicado em avaliações de campo para subsidiar decisões de manutenção e reabilitação (Silva, 2018).

Conforme destacado por DER/SP (2024), a inspeção visual e o levantamento contínuo de defeitos são fundamentais para o monitoramento da condição funcional e estrutural de pavimentos, permitindo manter o desempenho técnico e a segurança do usuário.

2.5.2 Metodologia de cálculo

O IGG é calculado a partir da ocorrência dos defeitos observados nas seções avaliadas, por meio do somatório dos Índices de Gravidade Individual (IGI) equação(1):

$$IGG = \sum IGI \quad (1)$$

Cada IGI (equação 2) é determinado pela multiplicação entre a frequência relativa (fr) e o fator de ponderação (fp), conforme definido na DNIT 005/2002-TER:

$$IGI = fr \times fp \quad (2)$$

A frequência relativa (fr), demonstrada pela equação 3, é obtida pela razão entre a frequência absoluta (fa) e o número de vezes em que o defeito ocorre e o número total de estações levantadas (n), multiplicada por 100 (DNIT, 2003):

$$fr = \left(\frac{fa}{n^{\circ} \text{ Estações}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Já o fator de ponderação (fp) varia de acordo com o tipo de defeito demonstrado pelo Anexo C.

Conforme o IP-DE-P00/007A (DER/SP, 2024), quando múltiplos defeitos são observados em uma mesma estação, deve-se considerar para o cálculo apenas o tipo de maior gravidade, evitando superposição de ocorrências.

2.5.3 Critérios de Avaliação e Classificação

Em rodovias de pista dupla, a DNIT 006/2003 recomenda que as avaliações sejam realizadas a cada 20 metros, preferencialmente na faixa mais solicitada. O estado do pavimento é classificado através o valor do IGG obtido como mostra a Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação do estado de conservação de rodovias com base no IGG

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

Fonte: Adaptado de DNIT(2003)

Em estudo de caso conduzido por Silva (2018), a aplicação do método IGG em um trecho urbano resultou em uma classificação de Bom para a Faixa 1 ($IGG = 25,30$) e Ótimo para a Faixa 2 ($IGG = 17,812$), demonstrando a eficiência do método na determinação da condição funcional do pavimento.

De forma semelhante, o DER/SP (2024) e o DNIT (2011) destacam que o monitoramento contínuo das rodovias, aliado a levantamentos de textura e irregularidade, permite estabelecer planos de manutenção mais precisos e econômicos. Além disso, Lima et al. (2022) e Rego (2022) destacam que a drenagem e a conservação superficial são fatores determinantes para a durabilidade do pavimento, uma vez que a presença de água potencializa defeitos estruturais e acelera a deterioração do revestimento.

De forma complementar, o Relatório da Concessionária Autopista Planalto Sul (2022) mostra que a monitoração contínua da drenagem e das obras de arte corrente é prática recorrente nas rodovias concedidas, indicando a importância do controle integrado entre condição de pavimento e eficiência do sistema de drenagem.

Finalmente, conforme apontado pelo Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária (DER/PR, 2023), pavimentos em boas condições de regularidade e drenagem contribuem diretamente para a redução de sinistros, reforçando a importância de métodos objetivos como o IGG no contexto da segurança viária.

2.6 Índice de Drenagem Superficial (IDS)

2.6.1 Conceito de Índices Sintéticos na Avaliação de Pavimentos

A aplicação de índices sintéticos para avaliar o desempenho funcional de pavimentos é amplamente reconhecida em sistemas de gerenciamento rodoviário. De acordo com a AASHTO (2020), a utilização de indicadores numéricos integrados facilita o diagnóstico, a priorização de intervenções e a uniformização das avaliações, especialmente em contextos onde o tempo ou os recursos para análises detalhadas são limitados. A Federal Highway Administration (FHWA, 2019) reforça que índices compostos permitem traduzir condições físicas complexas em parâmetros objetivos e de fácil interpretação, agregando diferentes elementos que impactam o desempenho da via.

Com base nessa abordagem, índices funcionais desenvolvidos para drenagem buscam sintetizar informações observáveis do pavimento e do entorno, permitindo avaliar a capacidade do sistema de escoar a água e prevenir infiltrações. Essa lógica fundamenta o

método utilizado neste estudo, materializado através do Índice Final de Drenagem Superficial (IDS).

2.6.2 Relação entre Drenagem e Indicadores Funcionais

A drenagem superficial é apontada por diversos autores como elemento determinante para o desempenho do pavimento. O DNIT (2006) descreve a água como o principal fator de degradação, contribuindo para perda de suporte, deformações permanentes e surgimento de patologias como trincamentos e exsudação. A FHWA (2005; 2019) destaca que deficiências de drenagem aumentam significativamente o risco de hidroplanagem, reduzem a vida útil da camada de rolamento e elevam custos de manutenção.

Indicadores funcionais, como o afundamento de trilha de roda, são apontados como respostas diretas à presença de água e às falhas de escoamento superficial (FHWA, 2013; DNIT, 2003). Já os elementos laterais — especialmente acostamentos e sarjetas — são responsáveis pelo encaminhamento da água para fora da plataforma, sendo sua degradação associada ao acúmulo de lâmina d'água e infiltração (PIARC, 2015). Assim, um índice que combine o estado do pavimento e o desempenho do acostamento fornece uma medida sensível e representativa da condição da drenagem.

2.6.3 Fundamentação do Índice Final de Drenagem Superficial (IDS)

A estruturação de índices ponderados é prática consolidada em sistemas de gerenciamento de pavimentos (AASHTO, 2020), especialmente quando o objetivo é atribuir maior importância ao parâmetro que possui maior influência na deterioração causada pela água. Dessa forma, o IDS foi desenvolvido para integrar, em uma única métrica, o desempenho da drenagem superficial a partir dos scores de afundamento de trilha de roda e da condição do acostamento. O cálculo é realizado por meio de uma combinação ponderada desses dois parâmetros, conforme a equação 4 apresentada a seguir, na qual o score das deflexões possui peso de 70% e o score do acostamento, 30%.

$$IDS = 0,7 \times ScoreDeflexão + 0,3 \times ScoreAcostamento \quad (4)$$

Essa ponderação reflete a maior sensibilidade do pavimento às deformações relacionadas à umidade, conforme discutido em DNIT (2006) e FHWA (2019). Após a fórmula, a Tabela 2 apresenta as faixas de classificação utilizadas para interpretar os valores resultantes do IDS.

Tabela 2 - Classificação do Índice de Drenagem Superficial

Classificação	Índice de Drenagem Superficial
Bom	$IDS \geq 4,0$
Regular	$3,0 \leq IDS < 4,0$
Ruim	$IDS < 3,0$

Fonte: Elaborado pelo autor com base em DNIT (2006), FHWA (2019) e AASHTO (2020).

O Índice Final de Drenagem Superficial (IDS) foi concebido como um indicador numérico composto, integrando dois parâmetros funcionalmente relacionados ao desempenho hidrológico do pavimento:

Score do afundamento de trilha de roda, relacionado diretamente à resposta mecânica do pavimento à presença de água (FHWA, 2019; DNIT, 2003).

Score do acostamento, refletindo a capacidade do sistema lateral de remover a água da superfície (DNIT, 2006; PIARC, 2015).

Essa estrutura de classificação segue o padrão dos índices funcionais utilizados por FHWA (2013) e pelas metodologias de avaliação contínua do DNIT (2003), que segmentam valores numéricos em classes de desempenho para facilitar interpretação e tomada de decisão.

2.7 Estudos de Caso

A avaliação da condição de pavimentos flexíveis é um tema de extrema relevância para a engenharia rodoviária e urbana, pois permite o planejamento eficiente de atividades de manutenção e restauração, visando garantir segurança e funcionalidade aos usuários. Os estudos de caso analisados abordam tanto as metodologias de avaliação — Índice de Gravidade Global (IGG) e Pavement Condition Index (PCI) — quanto a aplicação dessas ferramentas em pavimentos tradicionais deteriorados e a experimentação de soluções inovadoras, como o concreto permeável.

2.7.1 Metodologias de Avaliação de Pavimentos (IGG e PCI):

Duas das metodologias mais utilizadas para a avaliação da condição superficial de pavimentos são o Índice de Gravidade Global (IGG) e o Pavement Condition Index (PCI). O IGG é determinado a partir do Índice de Gravidade Individual (IGI), calculado pela frequência relativa dos defeitos multiplicada por um fator de ponderação específico para o tipo de ocorrência, conforme o procedimento estabelecido na norma DNIT 006/2003 – PRO

(BRASIL, 2003). Essa metodologia classifica o pavimento em uma escala que vai de Ótimo ($0 < IGG \leq 20$) a Péssimo ($IGG > 160$) (DNIT, 2006).

Um estudo comparativo realizado por Vieira et al. (2016) demonstrou as diferenças entre as duas metodologias. A aplicação do IGG em pavimentos flexíveis urbanos resultou em um valor médio de 34,65, classificando o pavimento como Bom, enquanto o PCI obteve um valor médio de 54,23, resultando na classificação Regular.

Apesar das divergências numéricas, o estudo concluiu que o método PCI é mais completo e apropriado, uma vez que considera o tipo, a severidade e a área afetada dos defeitos. Contudo, observou-se que o IGG, em certos contextos, reflete melhor a condição real da via, principalmente quando defeitos significativos como panelas, trincas do tipo couro de jacaré e remendos não são detectados nas amostras aleatórias do PCI (Silva, 2018; Vieira et al., 2016). Assim, o IGG se mostra vantajoso para avaliações rápidas em grandes extensões (nível de rede).

2.7.2 Análise da Degradação e Causas em Estudos de Caso

A aplicação do método IGG em rodovias federais e estradas rurais tem permitido diagnosticar o estado crítico de conservação e identificar as principais causas de deterioração, associadas a tráfego pesado, deficiências de drenagem e ausência de manutenção preventiva (DNIT, 2006; Rezende; Silva; Oliveira, 2024).

a) Pavimentos Rurais (Entre Rios do Oeste-PR): No estudo de Silva (2022), realizado em pavimentos asfálticos de estradas rurais no município de Entre Rios do Oeste-PR, foi utilizado o método da norma DNIT 006/2003 – PRO para avaliar o grau de degradação. Os resultados do IGG foram alarmantes, classificando quatro dos cinco trechos como Péssimos ($IGG > 160$):

- Linha Boa Esperança: 196,2
- Linha Felicidade: 194,0
- Linha Golondrina: 176,7
- Linha Volta Gaúcha: 225,0

Apenas o trecho Vista Alegre foi classificado como Ruim ($IGG = 106,0$), com média geral de 179,6, enquadrando a região como Péssima.

O estudo relacionou o elevado grau de deterioração ao excesso de tráfego e carga especialmente de caminhões utilizados no escoamento agrícola, à falta de manutenção preventiva, à inexistência de drenagem eficiente e à compactação deficiente das camadas estruturais (Silva, 2022).

- b) Rodovia BR-163 (Toledo–PR a Marechal Cândido Rondon–PR): Na pesquisa de Warken (2019), a aplicação do IGG em um trecho de 4 km da BR-163 resultou em um valor médio de 326,55, quase o dobro do limite máximo da classificação “Péssimo”.

Os defeitos mais recorrentes incluíram afundamentos plásticos na trilha de roda, trincas tipo couro de jacaré, painelas, escorregamentos e remendos mal executados. O autor constatou que o tráfego pesado e a ausência de drenagem superficial adequada foram os principais fatores de degradação, reforçando que a restauração só é eficaz quando há correção das deficiências de drenagem (WARKEN, 2019; DNIT, 2006).

- c) Soluções Inovadoras: O Desempenho do Concreto Permeável: Em contraste com os problemas de drenagem em pavimentos convencionais, Furtado et al. (2021) avaliaram a eficiência hidráulica de um modelo de pavimento de concreto permeável sob chuva natural. O traço utilizado foi de 1:4 (cimento:brita nº 0) em massa, relação a/c de 0,35 e cimento CP-V ARI.

Os resultados laboratoriais e em campo mostraram excelente desempenho hidráulico: resistência à tração na flexão de 1,72 MPa e coeficiente de permeabilidade do concreto de $1,8 \times 10^{-2}$ m/s, enquanto o pavimento completo apresentou $1,5 \times 10^{-2}$ m/s. O coeficiente médio de escoamento superficial foi de 0,024, comprovando alta capacidade de infiltração. O escoamento superficial iniciou apenas quando a intensidade pluviométrica superou 5,2 mm/h (Furtado et al., 2021).

Esses resultados evidenciam o potencial do concreto permeável como solução sustentável e de grande eficácia na mitigação do escoamento superficial urbano, especialmente em locais onde a impermeabilização excessiva é um problema (Rezende; Silva; Oliveira, 2024).

Os estudos de caso apresentados fundamentados nas normas do DNIT (2003; 2006) e nas análises de Silva (2022), Warken (2019), Vieira et al. (2016) e Furtado et al. (2021) serviram como base comparativa para compreender as variações de desempenho e degradação em diferentes tipos de pavimentos. Essa comparação permitiu estabelecer parâmetros para as análises e conclusões acerca da influência da drenagem, do tráfego e das técnicas construtivas

sobre o comportamento funcional dos pavimentos. A seguir a Tabela 3 apresenta o resumo dos estudos apresentados:

Tabela 3 - Comparativo resumido dos estudos de caso apresentados

Estudo	Local	Tipo de Pavimento	Resultados (IGG/Desempenho)	Principais Causas/Análises	Observações
Silva (2022)	Entre Rios do Oeste – PR	Pavimento Asfáltico em Estradas Rurais	IGG muito alto (>160) em 4 trechos: 196,2; 194,0; 176,7; 225,0. Trecho Vista Alegre: 106,0. Média 179,6 (Péssimo).	Excesso de tráfego agrícola, falta de manutenção, deficiência de drenagem, compactação inadequada.	Diagnóstico crítico da conservação da malha rural.
Warken (2019)	BR-163 (Toledo–PR a M.C. Rondon–PR)	Pavimento Flexível (CBUQ)	IGG médio: 326,55 (muito acima do limite de Péssimo). Defeitos: afundamentos, trincas couro de jacaré, panelas.	Tráfego pesado; drenagem superficial insuficiente; remendos mal executados.	Restauração depende da correção da drenagem.
Furtado et al. (2021)	Avaliação Experimental (Chuva Natural)	Concreto Permeável	Permeabilidade: $1,8 \times 10^{-2}$ m/s (concreto) e $1,5 \times 10^{-2}$ m/s (pavimento). Resistência: 1,72 MPa. Escoamento só > 5,2 mm/h.	Alta infiltração; desempenho hidráulico eficiente; redução do escoamento superficial.	Solução sustentável para drenagem urbana.

Fonte: Silva (2022); Warken (2019) e Furtado et al. (2021)

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este capítulo delinea a abordagem metodológica adotada para o desenvolvimento do presente estudo de caso. Serão detalhados o tipo e a abordagem da pesquisa, o delineamento, os procedimentos de coleta de dados e as técnicas de análise empregadas. A metodologia foi concebida para permitir uma investigação aprofundada das condições do trecho rodoviário em foco, buscando elucidar a relação entre deficiências nos sistemas de drenagem, degradação do pavimento asfáltico e a ocorrência de acidentes em pista molhada, especialmente em um segmento reconhecido pelo seu perigo rodoviário. A Figura 6 mostra o fluxograma que representa o caminho que foi percorrido para o desenvolvimento metodológico do presente trabalho.

Figura 6 - Fluxograma de delineamento metodológico da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2025)

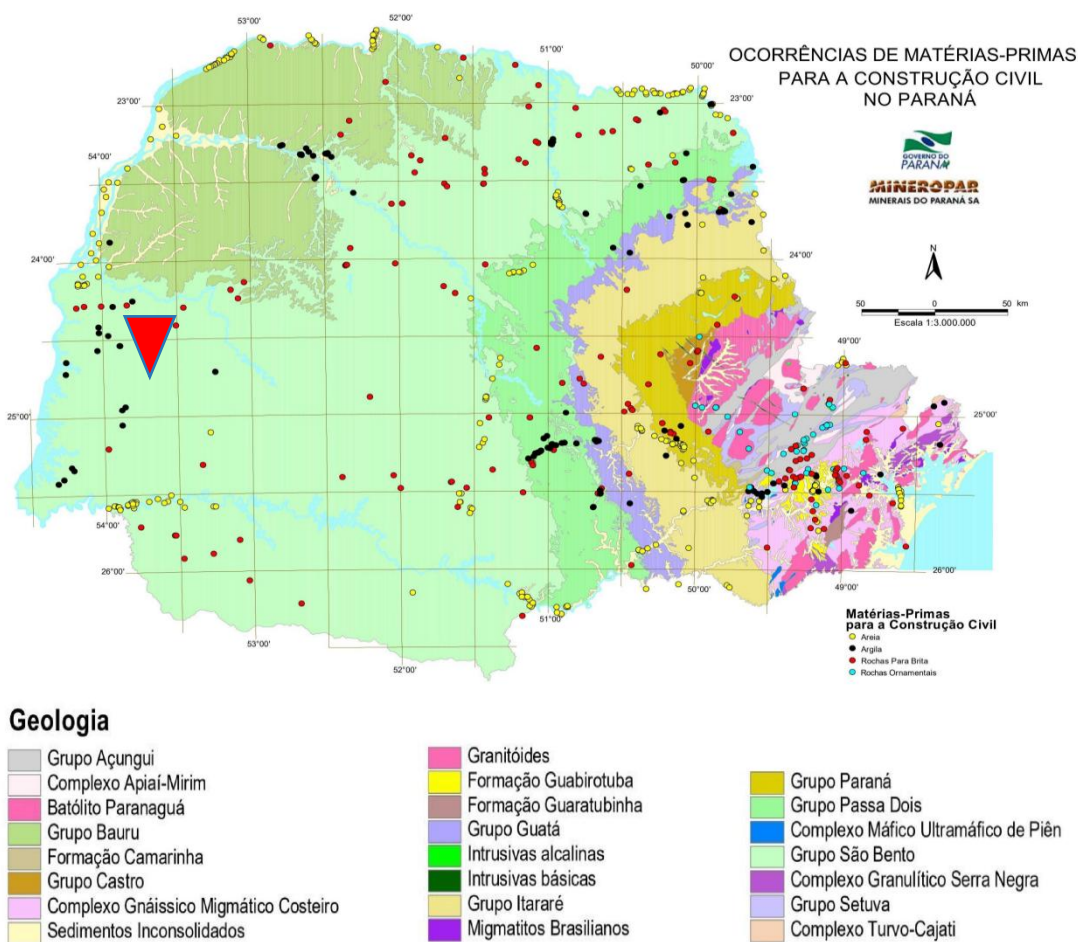
3.1. Área de Estudo

A análise da presente pesquisa concentra-se em um segmento estratégico da rodovia BR-163, localizado no Contorno Norte do Município de Toledo-PR, nas proximidades do

Parque do Povo - Luiz Cláudio Hoffmann (Z:22J; E:221348.200; N:7266372.036). O trecho em estudo é composto por pavimento flexível, com revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), tipologia amplamente utilizada na região de Toledo-PR em razão de seu bom desempenho estrutural e facilidade de manutenção. A região pertence ao contexto geológico da Bacia do Paraná, Formação Serra Geral, no Grupo São Bento (MINEROPAR, 2006). O Mapa Geológico do Paraná é representado pela Figura 7.

De acordo com Weisheimer et al. (2023) o pavimento está sobre um subleito constituído por um solo laterítico designado no sistema de classificação brasileira como latossolo. Estas características são evidenciadas por uma granulometria que constitui 67% de argila, 19% de silte, 11% de areia fina e 3% de areia grossa designada ao solo residual maduro com camadas de até oito metros de profundidade.

Figura 7 – Localização geográfica do trecho estudado e geologia



Fonte: MINEROPAR (2001)

No contexto regional, o Contorno Norte de Toledo foi implantado para desviar o tráfego pesado do perímetro urbano, mas atualmente apresenta intenso fluxo de caminhões e ocorrências recorrentes de acidentes, principalmente em condições de pista molhada e drenagem insuficiente (PRF, 2023; Warken, 2019). O trecho estudado apresenta variações topográficas e características geométricas com aclives e declives sucessivos, que favorecem o acúmulo de água e potencializam a degradação do pavimento, fatores verificados também em análises anteriores realizadas na BR-163 entre Toledo e Marechal Cândido Rondon (DNIT, 2006; Warken, 2019).

A Figura 8 apresenta uma imagem de satélite da área de estudo, evidenciando a localização do Contorno Norte, sua inserção no perímetro urbano de Toledo e a relação com as áreas de entorno, que exercem influência direta sobre o comportamento hidráulico e funcional da via.

Figura 8 - Vista de satélite da Rodovia BR-163, km 247 e vista ao nível da rodovia



Fonte: Modificado do Google Earth(2025)¹

No quilômetro 247, o qual é a área estudada se verifica uma região de tráfego voltado à indústria agropecuária. Esse trajeto foi operado e construído pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). Nesse sentido, a Figura 9 corresponde ao perfil típico de um pavimento construído nessa região. É um pavimento do tipo flexível, com três camadas sendo elas: revestimento asfáltico (constituído de concreto asfáltico), base (formada por brita graduada simples da região) e agregado rochoso do tipo basáltico para sub-base (com granulometria entre 76 mm e 180 mm).

¹ Disponível em: <https://maps.app.goo.gl/Q7oo58pbZDtyuKXJ8>

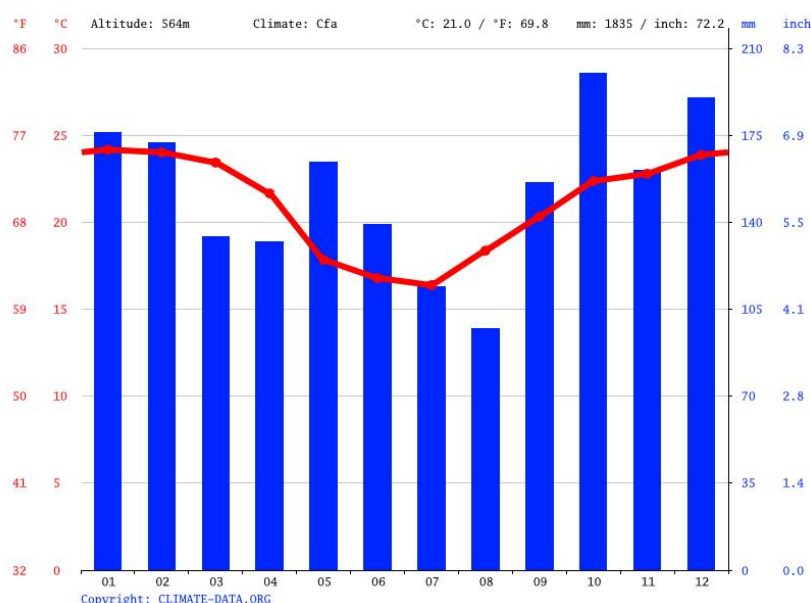
Figura 9 – Perfil esquemático do pavimento do trecho estudado

Fonte: Autoria própria(2025)

A rodovia BR-163, no trecho que atravessa o município de Toledo (PR), é uma área caracterizada por elevados índices de acidentes, conforme relatado pelo Anuário Estatístico de Sinistros nas Rodovias do Estado do Paraná (DER, 2022). Grande parte desses sinistros está associada a fatores como imprudência dos condutores, insuficiente sinalização e irregularidades no pavimento, sobretudo em épocas de chuva — condições que agravam a perda de aderência e reduzem a margem de segurança da rodovia. Em estudo de perfil georreferenciado de acidentes fatais na microrregião do Sudoeste do Paraná, a BR-163 foi identificada com taxa de risco de 8,6 % no conjunto avaliado, o que evidencia a vulnerabilidade desse trecho rodoviário (Leal et al., 2025).

Adicionalmente, segundo dados climatológicos para o município de Toledo, as condições climáticas vigentes são caracterizadas por uma temperatura média anual de 21 °C e precipitação média anual de aproximadamente 1 835 mm (CLIMATE-DATA, 2025). Pela classificação de Köppen-Geiger, a região insere-se no tipo Cfa (subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida). Nesse sentido, os meses com menor intensidade de chuva concentram-se entre junho e julho, o que pode gerar variação sazonal nos níveis de umidade superficial e na aderência do pavimento (WEATHERSPARK, 2025). A Figura 10 evidencia a taxa de variação de chuvas (em mm) em função da variação de temperatura ao longo do ano de 2024.

Figura 10 – Distribuição mensal das chuvas e temperaturas médias no município de Toledo-PR – Ano de 2024



Fonte: CLIMATE-DATA² (2024)

Nesse contexto, o estudo e a data de coleta foram definidos para os dias 01 e 03 de novembro de 2025, período que apresentou condições meteorológicas propícias para a observação das manifestações patológicas no pavimento. No dia 01/11/2025, registrou-se uma precipitação acumulada de 69,2 mm em Toledo-PR, conforme dados do Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR), caracterizando um dia chuvoso e de elevada umidade relativa do ar, superior a 90 %. Já no dia 03/11/2025, as condições permaneceram instáveis, com umidade relativa variando entre 60 % e 95 %, além da ocorrência de chuvas isoladas ao longo do período. Essa escolha teve como objetivo garantir que a coleta fosse realizada em condições de alta umidade e presença de precipitação, favorecendo a identificação e análise de patologias relacionadas à drenagem, infiltração e degradação superficial do pavimento.

3.2 Delineamento, abordagem e tipo da Pesquisa

O delineamento da pesquisa seguiu uma lógica que integra as abordagens qualitativa e quantitativa para compreender a complexidade do "perigo rodoviário" associado

² Disponível em: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/parana/toledo-31828/>

ao trecho do km 247 da BR-163. A pesquisa iniciou-se com uma revisão da literatura para contextualizar o tema da drenagem e das patologias em pavimentos asfálticos.

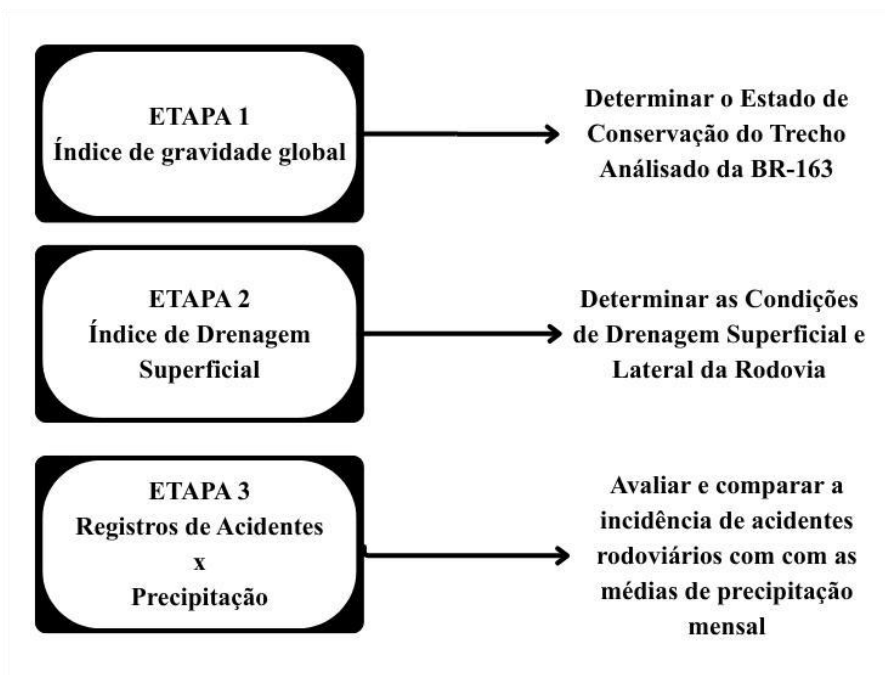
Quanto à abordagem do problema, o estudo é de natureza quali-quantitativa (mista). A abordagem qualitativa foi empregada para explorar e descrever as características intrínsecas e os aspectos não mensuráveis diretamente, como a identificação visual de patologias do pavimento e as deficiências dos sistemas de drenagem observadas em campo. Para tal fim, foi mensurado e calculado o Índice de Gravidade Global (IGG) do pavimento do trecho de estudo.

Complementarmente, a abordagem quantitativa foi utilizada para coletar e analisar dados numéricos, como o próprio IGG, número de acidentes, volumes de tráfego e dados pluviométricos permitindo quantificar e comparar informações.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa possui caráter exploratório e descritivo. A fase exploratória visou familiarizar o pesquisador com o problema de estudo por meio de levantamento bibliográfico e análise de exemplos práticos de pavimentos e drenagem. A fase descritiva, por sua vez, teve como propósito caracterizar aspectos específicos do trecho estudado, como o estado de degradação do asfalto, a eficiência da drenagem e a ocorrência de acidentes, estabelecendo possíveis relações entre esses fatores

Para se chegar na relação entre as deficiências sobre o sistema de drenagem, foi verificado a degradação do pavimento correlacionando a análise funcional a partir das diferentes patologias do trecho bem como a ocorrência de acidentes através de dados retirados do Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária disponibilizado no site do DER. A Figura 11 corresponde ao fluxograma do delineamento da pesquisa.

Figura 11 – Fluxograma de delineamento da Pesquisa



Fonte: Autoria Própria (2025)

3.1.1. Coleta de Dados e Fontes de Informação

A coleta de dados foi realizada por meio de uma combinação de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e análise de campo, conforme detalhado nas subseções a seguir.

a) Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica, foi conduzida por meio do levantamento, leitura e análise crítica de material já publicado, como livros, artigos científicos, periódicos e dissertações. Esta etapa foi fundamental para o reconhecimento do "estado da arte" sobre temas como a importância da drenagem rodoviária, a relação entre atrito pneu-pavimento e acidentes em pista molhada, e as patologias de pavimentos asfálticos. As fontes foram selecionadas em bases de dados reconhecidas e em manuais técnicos de órgãos rodoviários nacionais.

b) Pesquisa Documental

A pesquisa documental complementa a revisão bibliográfica, utilizando materiais que não receberam tratamento analítico aprofundado ou que podem ser reelaborados para os objetivos específicos da pesquisa. As fontes incluíram:

- Manuais e Normativas Técnicas: O Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006) foi uma referência central para a compreensão dos sistemas de drenagem

rodoviária. Normas do DNIT (ex: DNIT 005/2003 – TER, DNIT 006/2003 – PRO) e do DER/PR também serão consultadas para terminologia e procedimentos de avaliação de pavimentos.

- Pesquisas Recentes: Visando solidificar a contribuição científica deste estudo, foi realizadas análises comparativas com pesquisas de escopo similar. Na seção 'Análise e Discussões', os resultados do presente trabalho são postos em perspectiva com os da literatura consolidada. Este procedimento não se limitou a validar as informações obtidas, mas também buscou identificar a singularidade dos achados e como eles complementam ou refinam o entendimento atual sobre o problema investigado.
- Registros Históricos de Acidentes: Dados de acidentes rodoviários, incluindo informações sobre data, horário, localização (quilometragem e coordenadas geográficas), tipo de acidente (ex: saída de pista, capotamento), causas prováveis, condições climáticas e da pista no momento do evento, e características da via (traçado, perfil), foram buscados principalmente de arquivos digitais da concessionária ou órgãos competentes (ex: BATEU, SRE do DER/PR) e noticiários na internet. Esses dados foram cruciais para a identificação da criticidade do trecho.

3.1.2. Análise de campo e equipamentos utilizados

Na análise em campo, o processo de estudo se dividiu em cinco etapas: delimitação do trecho e procedimentos de avaliação visual, avaliação dos sistemas de drenagem, análise das condições de pista em relação à água, levantamento topográfico observacional e verificação de características do entorno.

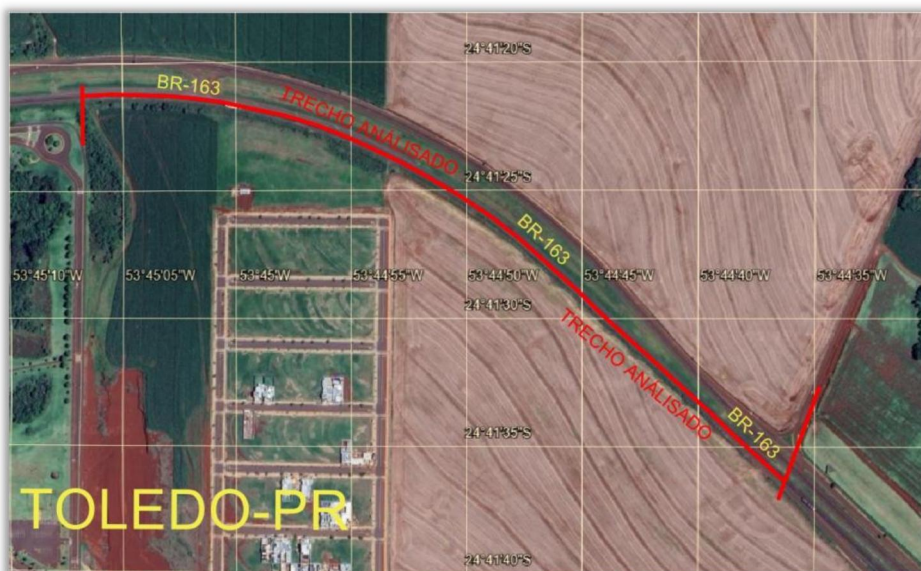
a) Delimitação do trecho e procedimentos de avaliação visual:

Para a realização do cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) do trecho em estudo, foi necessário, inicialmente, definir um ponto de referência geográfico que servisse de base para o levantamento de campo e para a delimitação das seções de avaliação. Assim, adotou-se como ponto inicial a rua de Contorno leste ao Parque do Povo, situado nas proximidades da BR-163, local de maior interesse técnico neste estudo devido ao seu histórico de acidentes e às características patológicas desfavoráveis, como a presença de buracos e trincas ao longo de sua superfície.

O trecho de estudo, ilustrado pela Figura 12, permite uma avaliação precisa do comportamento estrutural e funcional do pavimento, além de evidenciar as condições

específicas de drenagem e os padrões de escoamento superficial típicos de uma infraestrutura viária em área de contorno urbano.

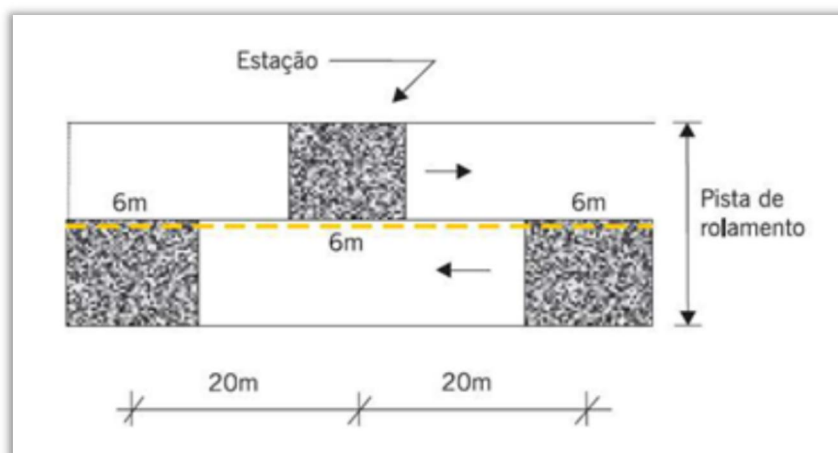
Figura 12 - Georreferenciamento do trecho de análise da rodovia BR-163



Fonte: Autoria própria (2025)

Conforme o método IGG, o trecho foi subdividido em estações de observação com espaçamento de 20 metros. Em cada estação, foi considerada uma faixa de 6 metros de comprimento, abrangendo 3 metros à frente e 3 metros atrás do ponto central como mostra a Figura 13. Essa sistematização permitiu uma análise uniforme e detalhada das patologias do revestimento asfáltico, possibilitando sua posterior classificação de acordo com o grau de severidade e extensão.

Figura 13 - Esquema visual de delimitação de estações conforme o método IGG



Fonte: Warken (2019)

Durante o levantamento de campo, foram observadas patologias recorrentes, como trincas, trincas em malha, buracos, remendos, e desgaste superficial, distribuídas ao longo das estações. Uma análise complementar foi realizada para investigar a influência das condições de drenagem superficial e subsuperficial sobre a deterioração do pavimento.

Após o levantamento e tabulação dos dados referentes às patologias e às condições de drenagem, foram aplicadas as fórmulas específicas do método IGG (Equações 1,2 e 3) para o cálculo do índice de cada estação e, posteriormente, do valor médio do trecho. Em seguida, realizou-se uma análise comparativa entre os valores obtidos e o histórico de acidentes registrados na rodovia, evidenciando que os pontos com pior drenagem e maior deterioração do pavimento coincidem com as áreas de maior incidência de acidentes.

A avaliação objetiva do pavimento da rodovia BR-163, no trecho correspondente ao município de Toledo (PR), foi conduzida conforme os procedimentos estabelecidos pela norma DNIT 006/2003 – PRO, que define a metodologia de determinação do Índice de Gravidade Global (IGG).

Para o levantamento realizado por meio de inspeção visual direta em campo, utilizou-se apoio de instrumentos padronizados para mensuração e registro das manifestações patológicas. Foram utilizados os seguintes equipamentos: trena metálica com roda (Figura 14) para medição dos comprimentos das estações de análise; cavalete de madeira (Figura 15) conforme os padrões estabelecidos no Anexo D para verificação de flechas nos afundamentos de trilha de roda; câmera fotográfica georreferenciada com o uso do aplicativo Timestam para documentação e posterior análise comparativa. Todas as observações foram registradas em fichas de inspeção padronizadas segundo o modelo do DNIT (2003) como mostra o ANEXO B, assegurando a rastreabilidade e a confiabilidade dos dados obtidos.

Figura 14 – Trena Metálica com Roda



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 15 – Cavalete de madeira para medição das flechas de trilha de roda



Fonte: Autoria própria (2025)

b) Avaliação do sistema de drenagem superficial e lateral da via:

Para a avaliação do sistema de drenagem superficial e lateral da via adotou-se uma metodologia do IDS, de caráter funcional, baseada em dois parâmetros mensuráveis e

amplamente relacionados ao desempenho de drenagem: (i) o afundamento de trilha de roda e (ii) a condição do acostamento da rodovia. Essa abordagem foi escolhida por apresentar boa representatividade prática da condição de escoamento superficial, ao mesmo tempo em que exige poucos dados, favorecendo agilidade e precisão na análise de campo.

- Procedimento de Avaliação

Para determinação do IDS cada estação de 6 metros da rodovia foi avaliado individualmente, totalizando 48 segmentos medidos. Em cada segmento o afundamento de roda foi determinado considerando-se o maior valor entre o trilho interno e o trilho externo. O acostamento foi avaliado visualmente e classificado numa escala ordinal de 1 a 5.

O “Score” das deflexões em trilha de roda foi definido para representar, de forma objetiva, a severidade do afundamento longitudinal e sua relação com o desempenho da drenagem superficial. Como indicado por FHWA (2019) e DNIT (2003), maiores afundamentos tendem a refletir maior retenção de água e maior susceptibilidade a danos estruturais. Assim, os valores são organizados em faixas de severidade, onde menores deflexões recebem pontuações mais altas. A Tabela 4 a seguir apresenta os limites adotados e os respectivos scores utilizados na avaliação.

Tabela 4 - Pontuação para classificação do desempenho de escoamento superficial através da deflexão dos trilhos de roda

Classificação	Score
Deflexões < 5 mm	5
5-10mm	4
10-20mm	3
20-30mm	2
>30mm	1

Fonte: Adaptado de FHWA (2019), AASHTO (2020) e DNIT (2003).

O “Score” do acostamento foi estabelecido para representar sua capacidade de conduzir adequadamente o escoamento lateral da água, considerando critérios como regularidade, presença de vegetação, obstruções e continuidade funcional. Conforme destacado pelo DNIT (2006) e pela Piarc (2015), acostamentos degradados ou bloqueados comprometem o desempenho da drenagem superficial. Assim, adotou-se uma escala de pontuação que varia de 1 a 5, ordenando as condições do melhor para o pior estado observado.

A Tabela 5 apresentada a seguir sintetiza os níveis de classificação e os respectivos scores utilizados na análise.

Tabela 5 - Pontuação para classificação do desempenho de escoamento superficial através da deflexão dos trilhos de roda

Classificação	Score
Contínuo, limpo, sem vegetação	5
Vegetação leve, funcional	4
Vegetação moderada ou pequenas irregularidades	3
Erosões e bloqueios parciais	2
Obstruído, assoreado, erosão severa	1

Fonte: Adaptado de DNIT (2006) e PIARC (2015).

O cálculo IDS é realizado por meio de uma combinação ponderada desses dois parâmetros, conforme a equação(4) apresentada na revisão bibliográfica, na qual o score das deflexões possui peso de 70% e o score do acostamento, 30%.

Essa ponderação reflete a maior sensibilidade do pavimento às deformações relacionadas à umidade, conforme discutido em DNIT (2006) e FHWA (2019). Após o cálculo foi possível interpretar os valores resultantes do IDS através da Tabela 2.

c) **Análise das condições da pista em relação à água:**

A metodologia adotada para analisar as condições da pista em relação à água baseou-se diretamente nos valores apresentados nas tabelas consultadas, provenientes do Instituto das Águas do Paraná (dados pluviométricos) e do Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná – DER/PR (dados de sinistros). Os dados foram utilizados sem inferências externas e serviram como base objetiva para caracterizar a presença de água sobre a via e sua possível associação com o comportamento operacional da pista.

A primeira etapa consistiu na organização dos valores mensais de precipitação média do período de 2021 a 2024, conforme apresentados na tabela correspondente. Esses dados permitiram identificar meses com maior concentração de chuvas, bem como períodos de baixos índices. Essa variação mensal foi essencial para compreender a distribuição da água sobre o pavimento ao longo do ano, servindo como indicador para situações de potencial acúmulo superficial.

Em paralelo, foram utilizados os registros mensais de sinistros publicados pelo DER/PR, dispostos nas mesmas tabelas. A metodologia não buscou comparar estatisticamente

os valores, mas sim compreender, de forma sistemática, como esses dados poderiam subsidiar uma avaliação das condições da pista em períodos de maior ou menor presença de água. A utilização conjunta das duas séries permitiu observar os meses em que a pista esteve mais exposta à umidade ou à possível formação de lâmina d'água, a partir dos índices pluviométricos médios.

A análise concentrou-se, portanto, na relação entre os valores médios de chuva e o comportamento esperado da superfície da pista em condições úmidas, considerando que meses com chuvas mais elevadas tendem a apresentar maior escoamento superficial e maior potencial de redução da aderência. A partir das tabelas, buscou-se identificar somente os períodos de maior incidência de chuvas e relacioná-los à necessidade de avaliar tecnicamente o desempenho da superfície viária, sem avançar para interpretações conclusivas ou análises de correlação.

A metodologia permaneceu restrita ao exame direto dos dados tabelados, reconhecendo os valores mensais e anuais como parâmetros para compreender a exposição da pista à água ao longo do período. Assim, a análise entrega uma visão objetiva, fundamentada exclusivamente nos dados pluviométricos e de sinistros fornecidos, servindo de base metodológica para etapas posteriores do estudo.

3.1.3. Procedimentos de Análise

Os procedimentos de análise adotados neste estudo foram estruturados a partir da integração de abordagens qualitativas e quantitativas, permitindo uma interpretação abrangente das condições do trecho rodoviário avaliado. Após a coleta dos dados bibliográficos, documentais, pluviométricos e de campo, todo o material foi organizado sistematicamente, de modo a possibilitar o tratamento coerente das informações oriundas tanto da observação direta quanto das fontes secundárias. Essa etapa inicial incluiu a classificação das informações em grupos temáticos, alinhados aos objetivos da pesquisa, como patologias do pavimento, desempenho da drenagem superficial e lateral, e registros históricos de acidentes.

No âmbito qualitativo, os procedimentos envolveram a leitura crítica, interpretação contextual e comparação das evidências observadas em campo com o que é estabelecido na literatura técnica e científica. Foram examinadas as características morfológicas das patologias, as condições funcionais dos dispositivos de drenagem e os elementos do entorno viário, com o intuito de compreender as possíveis relações entre a presença de água, o estado de conservação do pavimento e o comportamento estrutural da via. Esse processo

interpretativo apoiou-se na análise de conteúdo, permitindo identificar padrões visuais recorrentes, potenciais fatores condicionantes e aspectos que reforçam a importância da drenagem no desempenho da infraestrutura rodoviária.

Paralelamente, os dados numéricos foram tratados por meio de análise quantitativa, empregando cálculos específicos definidos pela metodologia IGG para mensuração da severidade das patologias, além da aplicação dos sistemas de pontuação relacionados às deflexões em trilha de roda e às condições do acostamento. Os valores obtidos foram organizados em tabelas, possibilitando a classificação objetiva do comportamento da pista quanto ao escoamento superficial. Também foram sistematizadas as informações mensais de precipitação e registros de sinistros, tomadas como parâmetros para compreender os períodos de maior exposição do pavimento à ação da água. Dessa forma, a análise quantitativa complementou a interpretação qualitativa, oferecendo uma base numérica consistente para a avaliação das condições operacionais e funcionais do trecho estudado.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

O presente capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos a partir da avaliação objetiva do pavimento flexível no segmento estratégico da rodovia BR-163, localizado no Contorno Norte do Município de Toledo-PR, nas proximidades do Parque do Povo Luiz Cláudio Hoffmann. A análise concentra-se em elucidar a relação entre as deficiências nos sistemas de drenagem, a degradação do pavimento asfáltico e a ocorrência de acidentes em pista molhada.

As observações realizadas em campo, aliadas aos cálculos dos índices e à análise documental, permitiram estabelecer relações consistentes between as condições hidráulicas e estruturais do pavimento e o risco operacional associado. Os resultados seguem o delineamento metodológico focado em três etapas principais : primeiramente, a determinação do Estado de Conservação do trecho através do Índice de Gravidade Global (IGG) ; em segundo lugar, a determinação das Condições de Drenagem Superficial e Lateral da rodovia através do Índice de Drenagem Superficial (IDS) ; e, por fim, a avaliação da incidência de acidentes rodoviários em comparação com as médias de precipitação mensal. Avaliação Objetiva do Pavimento: IGG e Condição Estrutural

4.1. Avaliação visual e identificação dos trechos

Como passo inicial, as Figuras 16 a 23 correspondem as imagens coletadas conforme a inspeção visual obtida nos dias 01/11/25 e 03/11/2025 (Para melhor visualização verificar apêndice A. Para uma compreensão aprofundada do comportamento do pavimento, a análise foi estruturada com base nos gráficos de frequência de patologias, que dividem o trecho total em cinco agrupamentos de estações distintos: (0+0 a 0+200), (0+220 a 0+400), (0+420 a 0+600), (0+620 a 0+800) e (0+820 a 0+960). Esta segmentação permite identificar os perfis de falha específicos e as patologias predominantes em cada subtrecho, evidenciando como os modos de falha,(sejam eles estruturais, superficiais ou por deformação plástica) se manifestam e variam ao longo do trajeto. A seguir, é apresentado o detalhamento de cada um desses agrupamentos.

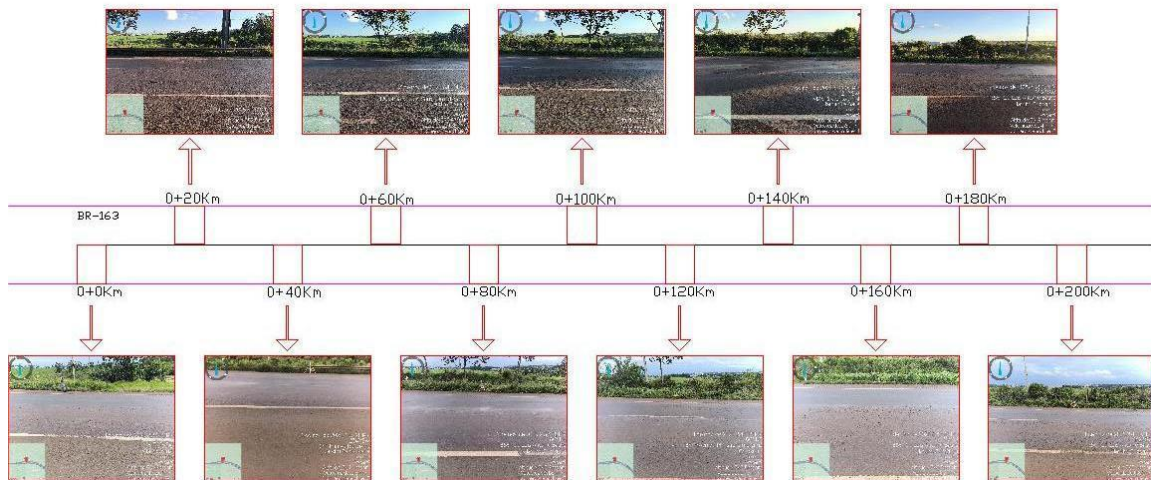
A análise do primeiro subtrecho (estacas 0+0 a 0+200km) (Figura 16) e (Figura 17) revela um quadro de deterioração acentuada, com a predominância de duas patologias centrais: o Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e o Desgaste (D), ambos registrando a frequência máxima de 11 ocorrências. Este dado indica que o segmento falha

simultaneamente por deformação plástica, sugerindo instabilidade da mistura asfáltica, e por degradação superficial severa (desgaste).

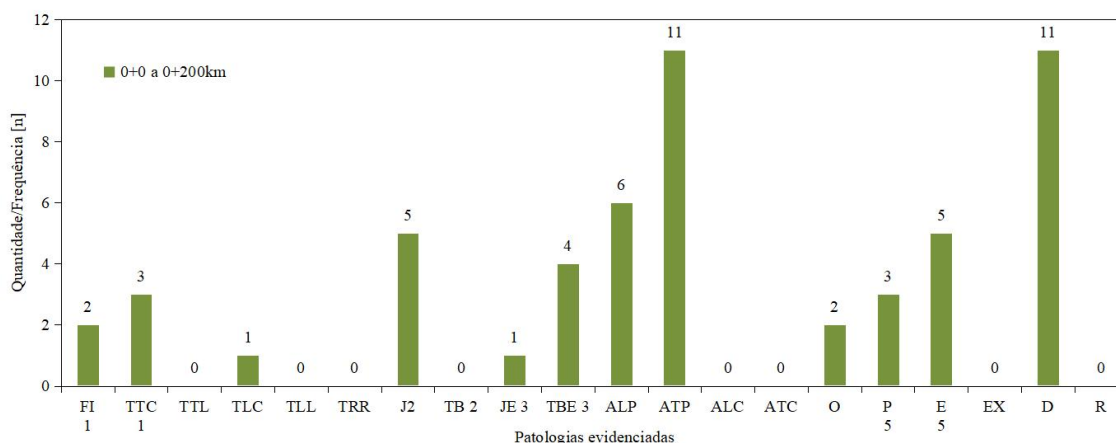
Além das falhas dominantes, identifica-se um segundo nível de defeitos críticos. O Afundamento Plástico Localizado (ALP) apresenta 6 ocorrências, intensificando o problema de deformação. Concomitantemente, são evidentes os sinais de falha estrutural por fadiga, com 5 ocorrências de Trinca Bloco Interligada (J2) e 4 ocorrências de Trinca Bloco/Jacaré de Alta Severidade (TBE 3).

A consequência direta dessa falha estrutural é a alta incidência de Painéis/Buracos (E 5), que também registra 5 ocorrências. Este defeito demonstra que o trincamento por fadiga já evoluiu para a desintegração do revestimento. O cenário é complementado por Remendos (P 5) (3 ocorrências) e Trincas Transversais (TTC 1) (3 ocorrências). Em síntese, este subtrecho apresenta um estado crítico, caracterizado pela coexistência de falhas graves de deformação, superficiais e estruturais.

Figura 16 – Análise Visual dos Km 0+0 até 0+200



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 17 – Patologias encontradas - Km 0+0 até 0+200

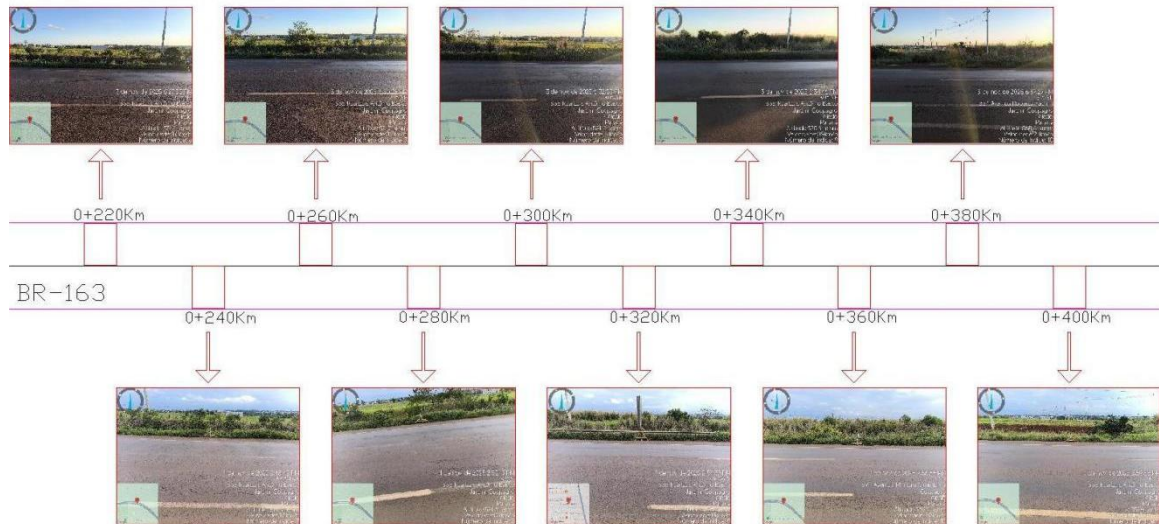
Fonte: Autoria própria (2025)

No segundo subtrecho (estacas 0+220km a 0+400km) representado pelas (Figura 18) e (Figura 19), o perfil de deterioração é dominado por duas patologias principais, ambas com a frequência máxima de 10 ocorrências: o Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e o Desgaste (D). Este dado demonstra uma falha concentrada na deformação plástica do revestimento e na sua degradação superficial por abrasão.

O problema de deformação é reforçado pela presença de Afundamento Plástico Localizado (ALP), que registrou quatro ocorrências. Um ponto notável deste segmento é a drástica redução dos indicativos de falha estrutural severa. Patologias críticas como Trinca Bloco/Jacaré de Alta Severidade (TBE 3) e Trinca Bloco Interligada (J2) apresentam frequências muito baixas, com apenas 1 e 2 ocorrências, respectivamente.

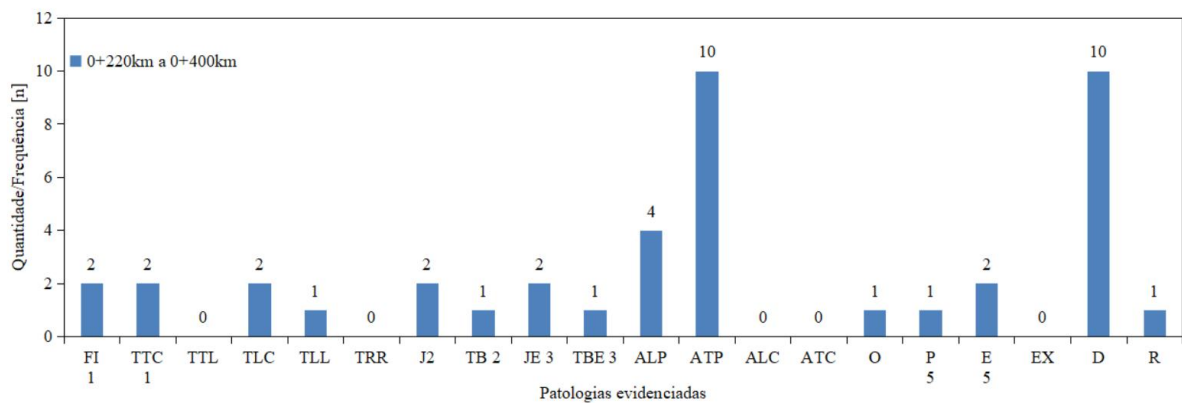
Embora existam outras trincas (FI 1, TTC 1, TLC), também com duas ocorrências cada, a ausência de painéis (E, com 0 ocorrências) e a baixa incidência de trincas de fadiga sugerem um comportamento distinto do trecho anterior. Portanto, a análise deste subtrecho indica que a degradação está primariamente associada à instabilidade da mistura asfáltica (causando ATP e ALP) e ao desgaste superficial, com uma contribuição significativamente menor de falhas estruturais por fadiga.

Figura 18 – Análise Visual dos Km 0+220 até 0+400



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 19 – Patologias encontradas - Km 0+220 até 0+400



Fonte: Autoria própria (2025)

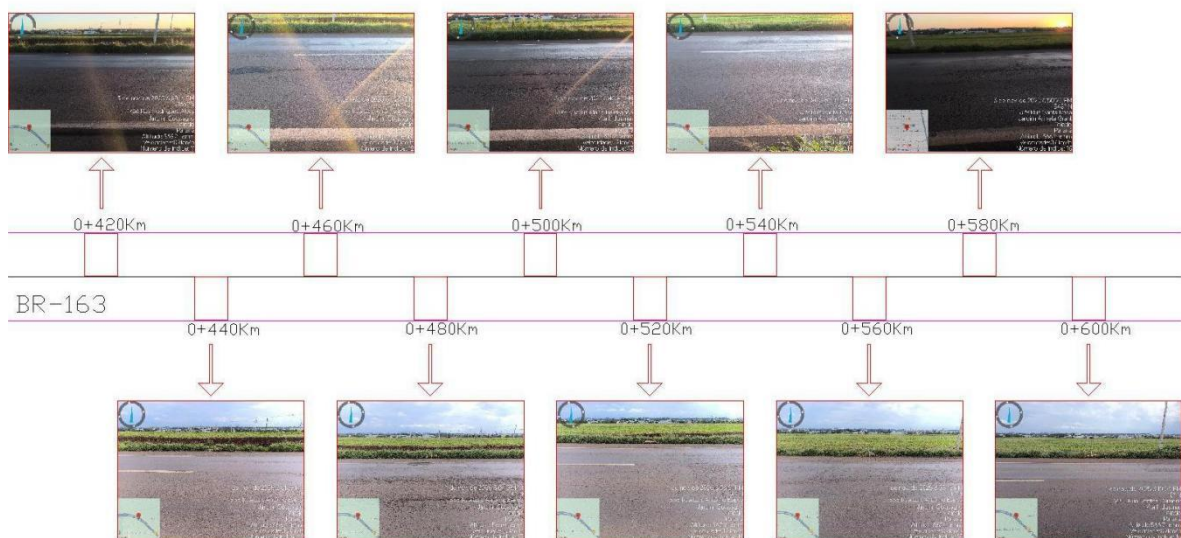
O terceiro subtrecho (estacas 0+420 a 0+600km) representado pelas (Figura 20) e (Figura 21) mantém o padrão de alta incidência de Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e Desgaste (D), ambos com a frequência máxima de 11 ocorrências. Este dado confirma que a deformação plástica e o desgaste superficial continuam sendo os mecanismos de falha predominantes.

Contudo, este segmento se diferencia pelo retorno expressivo de falhas estruturais por fadiga. A Trinca Longitudinal de Roda (TLL) apresenta uma frequência elevada de 5 ocorrências, acompanhada pela Trinca Longitudinal de Costura (TLC) com 4 ocorrências e pela Trinca Bloco/Jacaré de Alta Severidade (TBE 3) com 3 ocorrências. O quadro de

deformação é agravado pelo Afundamento Plástico Localizado (ALP) e pela Corrugação (ALC), ambos com 4 ocorrências.

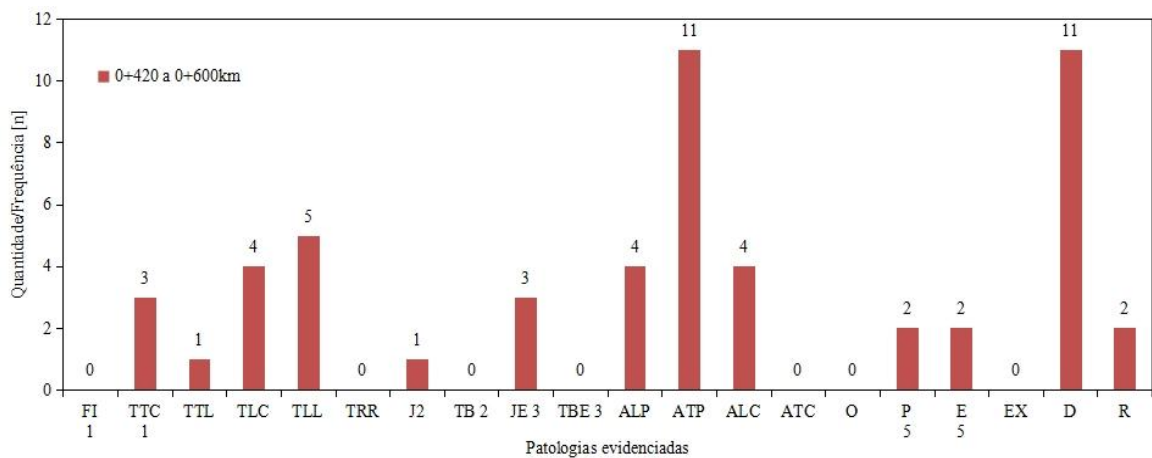
A evolução desses defeitos estruturais e de deformação já se manifesta na forma de Escorregamentos (E) (2 ocorrências) e Remendos (R) (2 ocorrências). Dessa forma, a análise deste trecho indica um estado de deterioração complexo, onde a instabilidade plástica da mistura (ATP, ALP, ALC) ocorre simultaneamente a um processo de fadiga estrutural significativo (TLL, TLC, TBE).

Figura 20 – Análise Visual dos Km 0+420 até 0+600



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 21 – Patologias encontradas - Km 0+420 até 0+600



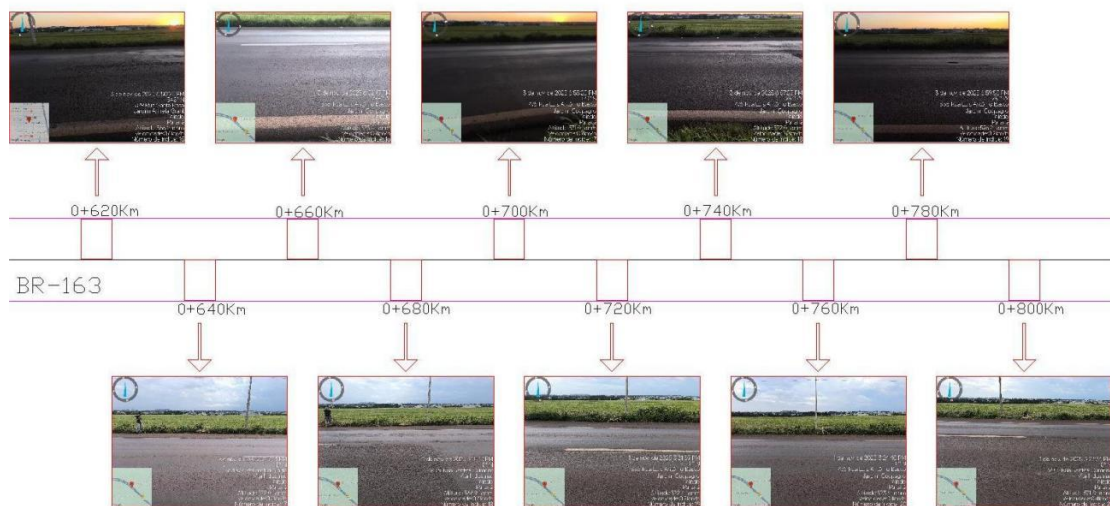
Fonte: Autoria própria (2025)

O quarto subtrecho (estacas 0+620 a 0+800km) representado pelas (Figura 22) e (Figura 23) apresenta um perfil de falha fortemente concentrado em duas patologias principais:

o Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e o Desgaste (D), ambas com 10 ocorrências. Este resultado demonstra que a degradação é quase inteiramente governada pela deformação plástica da mistura asfáltica e pelo desgaste superficial.

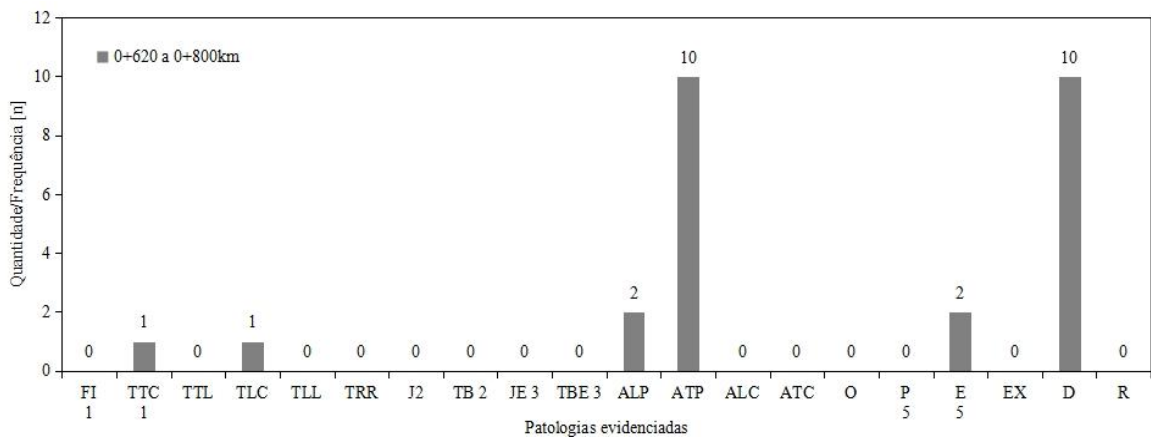
Diferentemente de outros segmentos analisados, este trecho exibe uma ausência quase total de trincas associadas à fadiga estrutural. Patologias críticas como TBE 3, TLL e J2 registram frequência zero. As demais patologias são de baixa expressividade, destacando-se apenas o Afundamento Plástico Localizado (ALP) e as Panelas (E 5), ambos com 2 ocorrências. A análise, portanto, sugere que a falha neste subtrecho não está primariamente ligada a um colapso estrutural da base, mas sim a uma severa instabilidade da camada de rolamento, que se manifesta como afundamento (ATP) e desgaste (D).

Figura 22 – Análise Visual dos Km 0+620 até 0+800



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 23 – Patologias encontradas - Km 0+620 até 0+800

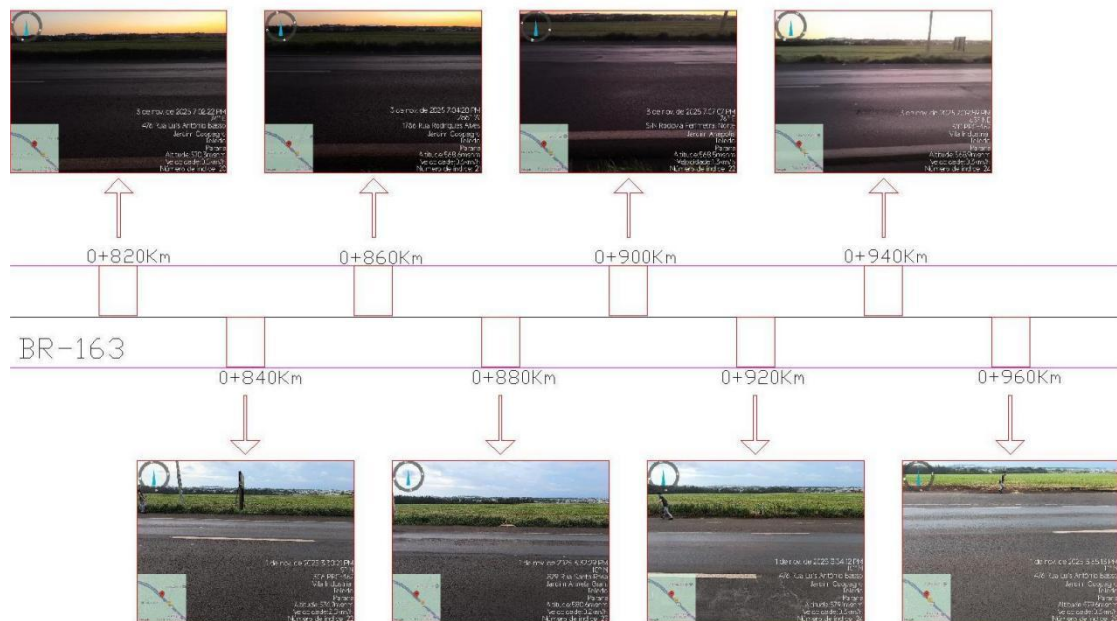


Fonte: Autoria própria (2025)

No último subtrecho analisado (estacas 0+820 a 0+940km) representado pelas (Figura 24) e (Figura 25), a degradação é novamente dominada por duas patologias principais: o Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e o Desgaste (D), ambos com a frequência mais elevada de 7 ocorrências. Este dado indica que o modo de falha predominante continua sendo a deformação plástica da camada de rolamento e o seu desgaste superficial.

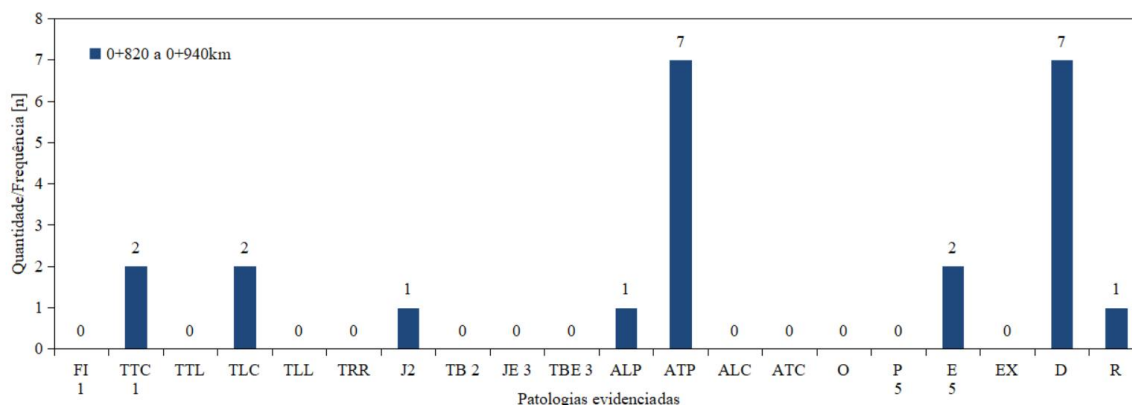
Embora em menor grau, o trecho também apresenta Trincas Transversais (TTC 1) e Longitudinais de Costura (TLC), ambas com 2 ocorrências, e Painelas (E 5), também com 2 ocorrências. É notável a baixa incidência de trincas severas por fadiga, como J2 (1 ocorrência) e a ausência total de TBE 3 (0 ocorrências). Assim, a análise deste segmento final reforça um padrão de deterioração focado na instabilidade da mistura asfáltica (ATP) e na perda de material por abrasão (D), com a formação de defeitos pontuais (Painelas) como consequência.

Figura 24 – Análise Visual dos Km 0+820 até 0+960



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 25 – Patologias encontradas - Km 0+820 até 0+960



Fonte: Autoria própria (2025)

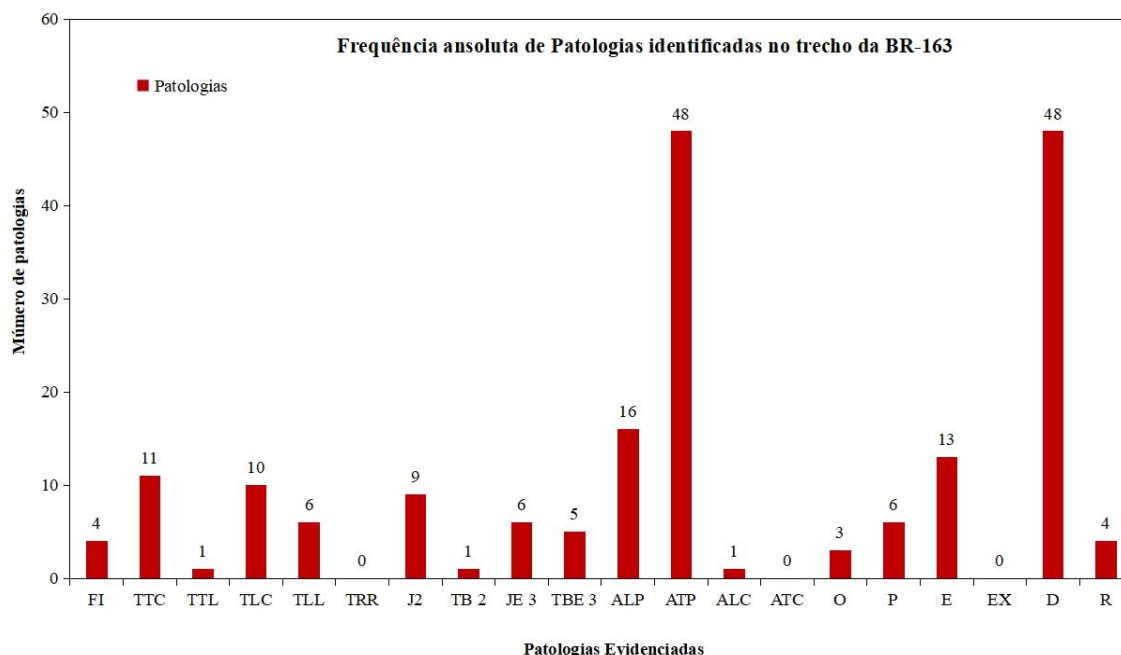
A análise consolidada dos cinco subtrechos, que totalizam 960 metros de inventário, revela um padrão de deterioração crônico e generalizado, embora com mecanismos de falha distintos ao longo do trajeto. Em todos os segmentos analisados, duas patologias se destacam como as mais frequentes: o Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e o Desgaste (D). Isso indica que o pavimento falha de forma consistente por instabilidade da mistura asfáltica (deformação plástica) e por degradação superficial (abrasão).

Contudo, o comportamento estrutural do pavimento não é homogêneo. Os subtrechos 1 (0+0 a 0+200km) e 3 (0+420 a 0+600km) apresentam um estado de deterioração mais complexo e grave. Nesses locais, além dos altos índices de ATP e D, há uma presença expressiva de trincas associadas à fadiga estrutural, como a Trinca Bloco/Jacaré (J2 e TBE 3) e Trincas Longitudinais (TLL). O segmento 1, em particular, exibe a maior incidência de Painéis (E 5), com 5 ocorrências, demonstrando que a falha estrutural já evoluiu para a desintegração do revestimento.

Em contrapartida, os subtrechos 2 (0+220 a 0+400km), 4 (0+620 a 0+800km) e 5 (0+820 a 0+940km) apresentam um perfil de falha distinto. Nesses segmentos, a incidência de trincas severas por fadiga (TBE 3, J2) é drasticamente reduzida ou nula. A falha, embora severa, está primariamente concentrada na camada de rolamento, manifestando-se quase que exclusivamente como afundamento plástico (ATP) e desgaste (D).

Em suma, a análise dos 960 metros evidencia um pavimento em estado de degradação generalizado. Esta conclusão é validada de forma contundente pelo gráfico de "Frequência absoluta de Patologias", Figura 26.

Figura 26 – Patologias encontradas em todo trecho



Fonte: Autoria própria (2025)

O gráfico demonstra que a instabilidade plástica do revestimento e o desgaste superficial são os modos de falha que governam a deterioração de todo o trecho: o Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e o Desgaste (D) são as patologias dominantes, ambas com 48 ocorrências cada.

No entanto, a investigação segmentada foi crucial para identificar focos de falha estrutural crítica (Segmentos 1 e 3) — cuja presença é confirmada no total do gráfico por 9 ocorrências de Trinca Bloco/Jacaré (J2) e 5 de Trinca Bloco/Jacaré de Alta Severidade (TBE 3) — que coexistem com trechos onde a falha é predominantemente funcional e ligada à qualidade da mistura asfáltica (Segmentos 2, 4 e 5), como indicado pela dominância absoluta do ATP e D.

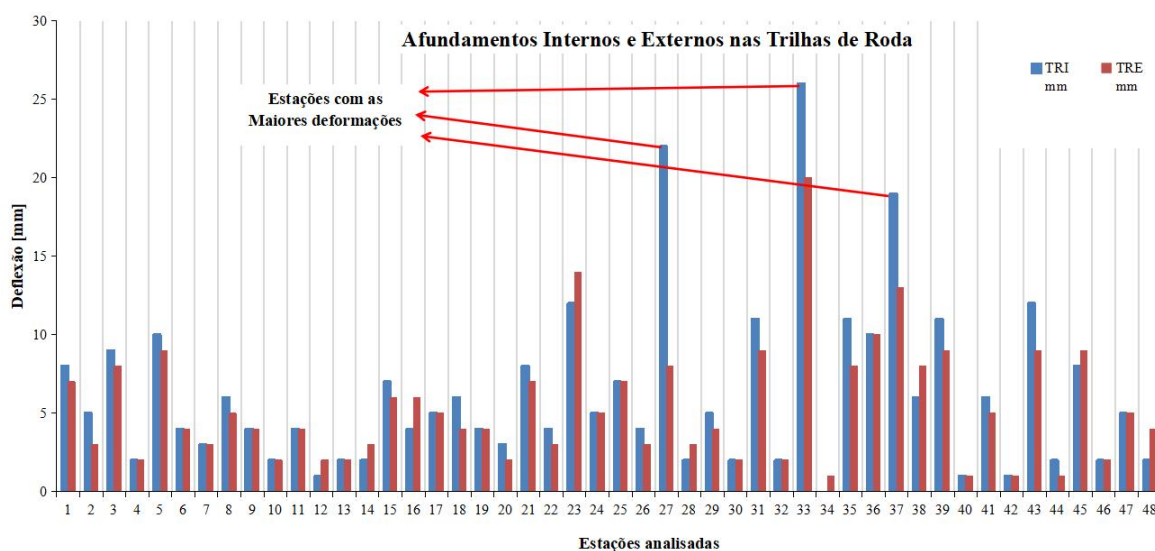
4.2. Avaliação Objetiva do pavimento

Nesta seção, está exposto os aspectos relacionados a avaliação objetiva e estrutural ligadas ao método IGG. Inicialmente, é dado ênfase aos dados coletados quanto ao trilho de roda e por fim ao índice de gravidade global.

4.2.1. Condição estrutural: Afundamentos de trilha de roda

A Figura 27 corresponde ao gráfico que detalha o afundamento de trilho de roda externo (TRE, em mm) e o trilho de roda interno (TRI, em mm) ao longo das 48 estações analisadas. Observa-se que a deformação não é homogênea, apresentando picos de deflexão críticos em pontos específicos. As estações 27,33 e 37 foram as mais severamente afetadas na Trilha de Roda Interna (TRI), enquanto a estação 33 se destaca como o ponto mais crítico também para a Trilha de Roda Externa (TRE). Nesses locais, os deslocamentos (deflexões) atingiram valores extremos, com o afundamento interno (TRI) na estação 33 alcançando aproximadamente 26 mm e o afundamento externo (TRE) na mesma estação atingindo 20 mm.

Figura 27 – Detalhamento dos afundamentos de trilha de roda internos e externos para cada estação



Fonte: Autoria própria (2025)

Nos pontos críticos observados, a presença de afundamentos de trilha de roda (Figura 26), com profundidades médias variando de 5 a 9 mm, especialmente nas faixas de rolamento mais utilizadas. Tais deformações alteram o escoamento superficial, criando microbacias longitudinais que acumulam água mesmo em chuvas de baixa intensidade. Segundo Carvalho (2019), esses afundamentos favorecem a ocorrência de aquaplanagem, especialmente em veículos leves, além de comprometerem o conforto e a estabilidade direcional dos condutores.

Esses trechos mostram e evidenciam que as patologias com maior evidência também são em locais que apresentam maiores afundamentos. A forte correlação entre os picos de deflexão no gráfico (Figura 27) e a localização das patologias mais severas (como as Trincas Bloco/Jacaré e Panelas identificadas nos inventários anteriores) sugere que o

afundamento da trilha de roda é um mecanismo de falha primário que acelera outras formas de degradação.

4.2.2. Índice de Gravidade global

A avaliação objetiva (IGG) do pavimento da rodovia BR-163, no trecho correspondente ao Município de Toledo (PR), a qual foi conduzida conforme os procedimentos estabelecidos pela norma DNIT 006/2003 – PRO está apresentada no apêndice D.1. No entanto, a Figura 28 corresponde aos resultados finais da análise, os dados para o cálculo podem ser observados no inventário preenchido com os registros de patologias presente no apêndice D.2 .

Figura 28 – Cálculo do Índice de gravidade global

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data: (04/11/2025)	Folha:
RODOVIA: BR-163 TRECHO: CONTORNO NORTE (KM 246 - 247) SUB-TRECHO: ----- REVESTIMENTO TIPO: CBUQ						Nº Estacas:	02
						48	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa %	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	32	24	50,00	0,2	10,00	
2	(FC - 2) J, TB	10	9	18,75	0,5	9,38	
3	(FC - 3) JE, TBE	11	9	18,75	0,8	15,00	
4	ALP, ATP	65	65	135,42	0,9	121,88	
5	O e P	22	22	45,83	1,0	45,83	
6	EX	0	0	0,00	0,5	0,00	
7	D	48	48	100,00	0,3	30,00	
8	R	4	4	8,33	0,6	5,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =		7,71	
		6,19	5,38	5,785	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =		21,63	
		28,67	14,58	21,625	2 A () 2 B ()		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG =			266,42	Conceito
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30 1B) IGI = 40 quando F > 30		2A) IGI = FV quando FV ≤ 50 2B) IGI = 50 quando FV > 50		IGG > 160 =		PESSIMO	
						Cálculo	
						Visto	

Fonte: Autoria Própria (2025)

O valor obtido para o trecho em análise foi de $IGG = 266,42$, o que classifica o pavimento como “Péssimo”, segundo os limites de avaliação definidos pelo DNIT, onde valores superiores a 160 já são considerados críticos. Esse resultado expressivo demonstra que o pavimento apresenta severa perda de desempenho funcional e estrutural, evidenciando a necessidade de intervenções corretivas imediatas e de readequação do sistema de drenagem superficial, de modo a restaurar as condições mínimas de conforto, segurança e durabilidade.

A análise detalhada dos defeitos que contribuíram para o valor elevado do índice permitiu identificar predominância de afundamentos plásticos longitudinais (ALP) e transversais (ATP), panelas e buracos (P), ondulações (O) e trincas interligadas com erosão (FC-3). Tais patologias possuem alto impacto estrutural, pois comprometem tanto a resistência à fadiga quanto a integridade das camadas inferiores do pavimento, além de representarem riscos diretos à segurança dos usuários, em razão das irregularidades superficiais e perda de aderência pneu/pavimento.

Durante as inspeções, também foi observada a presença de falhas associadas à drenagem deficiente, com acúmulo de água em pontos de depressão e erosões laterais, o que contribui para a aceleração dos processos de deterioração. Essa condição indica que a degradação do pavimento não está restrita ao desgaste do revestimento asfáltico, mas está diretamente relacionada à ineficiência do sistema de escoamento superficial e ao falta de manutenção preventiva periódica. Por fim, no apêndice A encontram-se disponibilizadas as imagens georreferenciadas das estações de estudo que compõem o trecho analisado. Essas imagens documentam visualmente as manifestações patológicas, a extensão dos defeitos e as condições de entorno, permitindo correlacionar as observações visuais com os valores de IGG obtidos. Esse material complementar reforça a confiabilidade do diagnóstico e constitui uma ferramenta de apoio técnico para futuras avaliações de desempenho e priorização de intervenções.

Dessa forma, o valor de IGG obtido e as condições observadas em campo evidenciam que o pavimento do trecho analisado da BR-163 encontra-se em estado crítico de conservação, com perda acentuada de capacidade estrutural e risco elevado de evolução das patologias. Os resultados demonstram a necessidade de adoção de medidas corretivas imediatas, aliadas à implantação de um programa contínuo de manutenção preventiva e recuperação da drenagem, conforme as diretrizes do DNIT (2006) e boas práticas recomendadas por Bernucci et al. (2022).

4.2.3. Exemplificação de patologias encontradas

A identificação e a análise das patologias presentes no pavimento são etapas fundamentais para compreender o estado funcional e estrutural da rodovia, bem como para subsidiar propostas de intervenção e manutenção adequadas. As manifestações patológicas observadas ao longo do trecho estudado refletem, de maneira direta, as condições de tráfego, o comportamento dos materiais empregados, a eficiência do sistema de drenagem e o histórico de conservação da via. Nesse sentido, a exemplificação visual dessas ocorrências

não apenas ilustra a realidade encontrada em campo, mas também contribui para uma avaliação técnica mais precisa da gravidade e da evolução de cada tipo de defeito.

A seguir, são apresentadas as principais patologias identificadas durante as inspeções, acompanhadas de imagens demonstrativas que evidenciam sua localização, extensão e características superficiais. Cada imagem é contextualizada dentro do cenário observado, permitindo uma relação direta entre a manifestação patológica e os aspectos funcionais ou estruturais envolvidos. Com isso, busca-se fornecer uma visão clara e objetiva da condição atual do pavimento, além de reforçar a importância das análises in loco para a elaboração de diagnósticos confiáveis e intervenções bem fundamentadas.

- O afundamento de trilha de roda é uma deformação longitudinal causada pelo recalque contínuo do pavimento na região onde os pneus dos veículos mais trafegam. Essa patologia indica perda de capacidade estrutural e pode favorecer o acúmulo de água, prejudicando a segurança dos usuários. A Figura 29 mostra o afundamento identificado no trecho, evidenciando a concentração da deformação na área de maior fluxo.

Figura 29 – Exemplo de afundamento de trilha de roda no trecho estudado



Fonte: Autoria própria (2025)

- A obstrução das valetas e o crescimento da vegetação também foram registrados em diversos pontos, como ilustra a Figura 30. Essa situação é crítica, pois impede a drenagem lateral e eleva a saturação das camadas inferiores, acelerando processos de fadiga e exsudação.

Figura 30 – Valeta lateral tomada por vegetação e sedimentos na BR- 163



Fonte: Aatoria própria (2025)

- Afundamentos plásticos e deformações permanentes: Observados com frequência nas faixas de roda, principalmente em trechos de tráfego pesado. São resultantes do rearranjo das partículas do revestimento devido à ação combinada da água e do carregamento repetido (Bernucci et al., 2022). A seguir a Figura 31 demonstra o acúmulo de água no trilho de roda devido ao afundamento do mesmo.

Figura 31 – Afundamento plástico com acúmulo de água na trilha de roda.



Fonte: Aatoria própria (2025)

- Trincas interligadas tipo couro de jacaré: Associadas à perda de suporte do subleito por saturação hídrica. Esse tipo de trinca foi observado em regiões de acúmulo de

água, indicando fadiga avançada (Pinheiro; Coutinho; Ferreira, 2021). A Figura 32 representa uma fotografia realizada no trecho de análise.

Figura 32 – Trincas interligadas com erosão nos bordos.



Fonte: Autoria própria (2025)

- **Panelas e buracos:** Representam a fase final da deterioração, surgindo onde houve infiltração contínua e perda de agregados. Além de comprometer o conforto, oferecem alto risco de acidentes, principalmente para motociclistas. Figura 33 mostra um exemplo de panela aliada a um ponto de escorregamento lateral do pavimento, essa fotografia foi obtida em uma das estações avaliadas.

Figura 33 – Formação de panelas em zonas com drenagem ineficiente.



Fonte: Autoria própria (2025)

- Escorregamentos laterais: Identificados nas margens da pista, geralmente nos locais onde a incio de abertura de panelas. Esse tipo de erosão dificulta o escoamento lateral de pista, intensificando a infiltração lateral e a desagregação do CBUQ (DNIT, 2006). A Figura 34 representa um escorregamento lateral em estágio avançado, representando sérios riscos à segurança da via.

Figura 34 – Erosão lateral em pontos de surgimento de panelas.



Fonte: Autoria própria (2025)

Essas patologias confirmam que o escoamento superficial insuficiente é a principal causa da degradação precoce do pavimento. Lima et al. (2022) ressaltam que o desempenho funcional das rodovias brasileiras depende fortemente da eficiência da drenagem, pois a falta de manutenção regular transforma as águas pluviais em agentes de deterioração contínua.

4.3. Avaliação da Drenagem na Deterioração e na Segurança Viária

Neste item, estão dispostos os resultados da avaliação funcional da drenagem, consolidada no cálculo do Índice de Drenagem Superficial (IDS). Estes resultados são apresentados em conjunto com a análise dos registros de acidentes e os índices pluviométricos referentes ao trecho estudado na BR-163. O objetivo é correlacionar a eficiência do escoamento superficial e lateral, mensurada pelo IDS e seus componentes, com a ocorrência de sinistros, especialmente em períodos chuvosos.

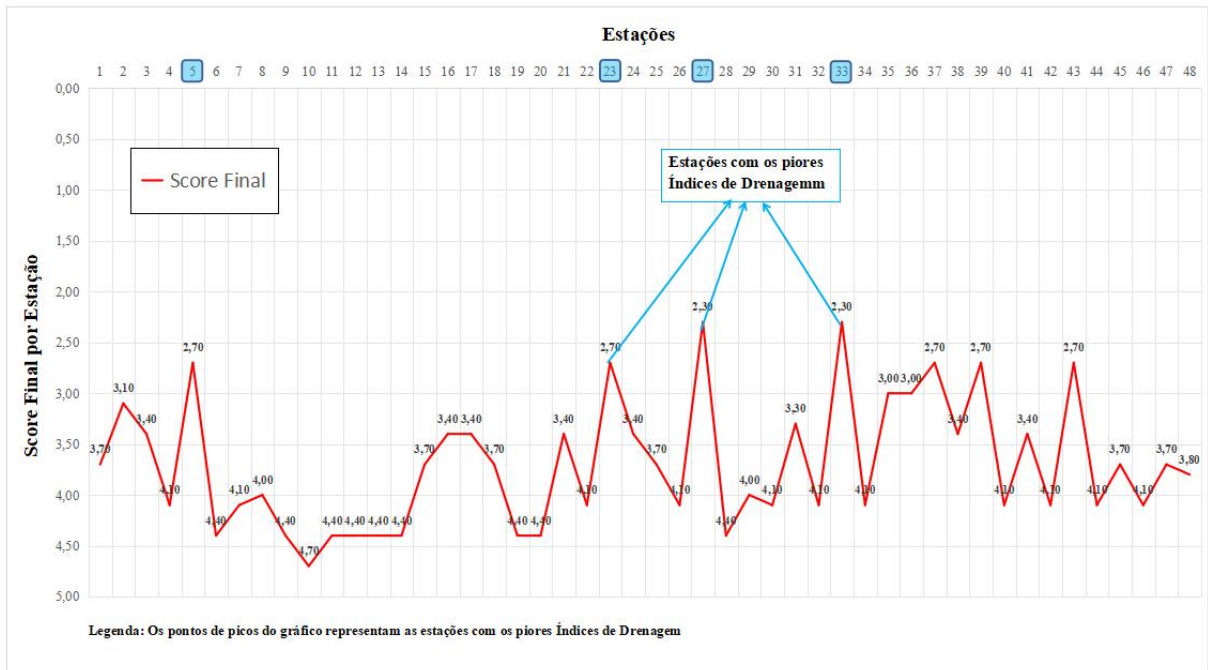
A avaliação da drenagem seguiu a metodologia de caráter funcional, baseada em dois parâmetros mensuráveis: o afundamento de trilha de roda e a condição do acostamento da rodovia. Para tal, são apresentados os "Scores" de desempenho atribuídos a cada um desses fatores, conforme as tabelas 4 e 5. Os resultados do afundamento de trilha de roda (com peso de 70%) e do acostamento (com peso de 30%) são ponderados para compor o Índice de Drenagem Superficial (IDS) de cada segmento analisado.

Paralelamente, são apresentados os dados quantitativos dos registros mensais de sinistros, obtidos junto ao Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR), e os índices pluviométricos médios mensais do período de 2021 a 2024, fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná. A análise conjunta desses dados permite identificar os meses de maior concentração de chuvas e verificar sistematicamente a relação between a exposição da pista à umidade e a incidência de acidentes.

4.3.1. Avaliação da deficiência de drenagem

Para a compreensão dos pontos deficientes quanto à drenagem superficial, o apêndice B detalha os dados brutos obtidos neste método. No entanto, a Figura 35 sintetiza os resultados provenientes da avaliação de drenagem pelo Índice de Drenagem Superficial (IDS). Este índice sintético, conforme fundamentado na Tabela 2, traduz condições físicas complexas em um parâmetro objetivo (FHWA, 2019), classificando o desempenho da drenagem em faixas de "Bom", "Regular" e "Ruim".

Figura 35 – IDS's calculados para cada estação



Fonte: Autoria própria (2025)

Neste gráfico, que plota o "Score Final por Estação", percebe-se o comportamento da eficiência da drenagem ao longo das 48 estações. É crucial notar que o eixo Y está invertido; portanto, os picos (pontos de menor valor numérico) representam, conforme a legenda, as "estações com os piores Índices de Drenagem".

Os dados mostram que, embora grande parte do trecho flutue entre as classificações "Regular" (IDS entre 3,0 e 4,0) e "Bom" (IDS \geq 4,0), destacam-se pontos de falha que se enquadram na classificação "Ruim" (IDS $<$ 3,0) (Tabela 2). As estações 27, 28 e 33 apresentam os piores resultados de toda a análise, atingindo um "Score Final" idêntico de 2,30. Próxima a este grupo, a estação 23 também exibe um score "Ruim" de 2,70. Outros pontos que caem nesta classificação de deficiência crítica incluem a estação 6 (2,70), a estação 37 (2,70) e a estação 40 (2,70).

A análise deste índice revela uma correlação direta e de grande relevância. As estações 27 e 33, identificadas na Figura 28 como os pontos de pior desempenho de drenagem (IDS = 2,30), são precisamente as mesmas estações apontadas na análise anterior (Figura 26) como os locais de maior afundamento de trilha de roda (deflexões de 20 mm a 26 mm).

Esta sobreposição é metodologicamente consistente, visto que o próprio IDS é um índice ponderado onde o "Score do afundamento de trilha de roda" compõe 70% do cálculo (Equação 4). O resultado valida a premissa teórica de que o afundamento é uma resposta

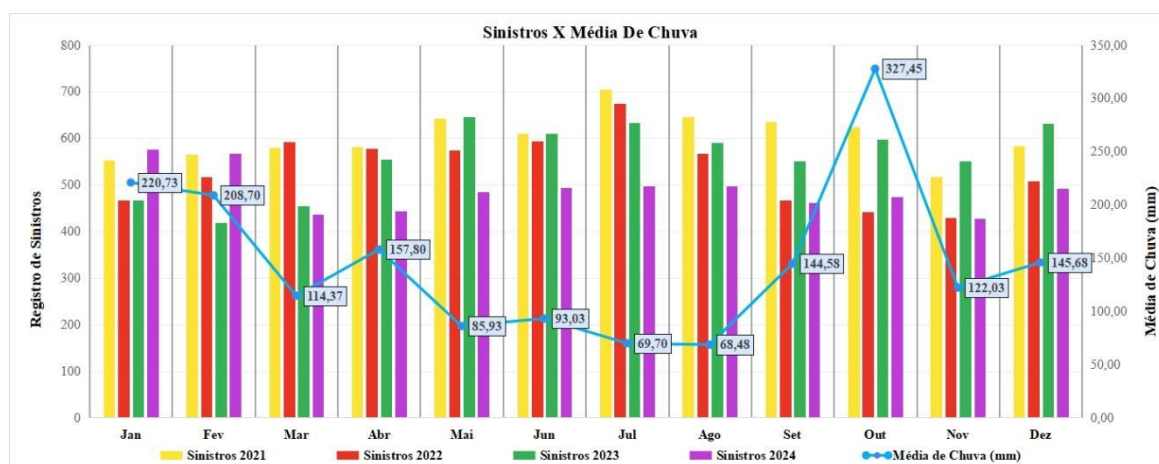
funcional direta à presença de água (FHWA, 2013; DNIT, 2003) e demonstra que, nesses locais críticos, a incapacidade do pavimento em escoar a água superficial está diretamente associada à aceleração de patologias de deformação plástica.

4.3.2. Relação com a segurança viária

A avaliação da relação entre precipitação e segurança viária é essencial para compreender como eventos climáticos influenciam a dinâmica dos sinistros ao longo do ano. A chuva, conforme amplamente discutido em estudos de segurança rodoviária, altera condições fundamentais de dirigibilidade, reduz a aderência, aumenta a distância de frenagem, diminui a visibilidade e intensifica os riscos de aquaplanagem. Porém, embora esses efeitos sejam conhecidos, a análise estatística detalhada dos registros de ocorrência e das médias mensais de chuva permite revelar padrões específicos para a região estudada. Os dados completos utilizados nesta análise encontram-se integralmente organizados nos apêndices C.1 e C.2, de modo a garantir transparência e rastreabilidade dos valores que embasam este capítulo.

A interpretação inicial da tabela destaca uma oscilação significativa tanto nos índices de precipitação quanto nos números de sinistros. Essa base de dados nos permite explorar a relação entre clima e acidentes sob diversas perspectivas. Para auxiliar essa análise, foi elaborado um gráfico comparativo que reúne, em uma mesma visualização, as médias mensais de chuva e as séries mensais de acidentes para os anos de 2021 a 2024. A Figura 36, representa o gráfico citado, ele constitui a principal ferramenta de interpretação visual utilizada nesta etapa.

Figura 36 – Comparativo de Sinistros da BR-163 e as médias pluviométricas mensais em Toledo-PR



Fonte: Instituto das Águas do Paraná (IAT)³ e Departamento de Estradas de Rodagem (DER)⁴ (2025)

a) Análise Geral do Comportamento das Séries:

Os dados revelam que a precipitação média anual variou consideravelmente entre os anos analisados. Em 2021, por exemplo, registrou-se a menor média anual de chuva, com 102,13 mm, enquanto 2022 apresentou 176,88 mm, representando o ano mais chuvoso da série analisada. Por outro lado, o número médio anual de sinistros seguiu uma tendência inversa, atingindo seu maior valor em 2021, com 603,08 ocorrências, e seu menor valor em 2024, com 487,33 acidentes.

Essa discrepância entre chuvas totais e sinistros totais já antecipa que a relação entre ambas as variáveis não é direta. Contudo, o comportamento mensal — visualizado nitidamente no gráfico — revela nuances relevantes. No gráfico, observa-se que:

- Meses com altos volumes de chuva nem sempre coincidem com picos de acidentes;
- Meses secos frequentemente registram os maiores números de sinistros;
- Meses de transição climática apresentam comportamento misto, sem uma relação clara entre aumento ou redução de chuva e variação no número de acidentes;
- Há maior variabilidade anual na chuva do que nos sinistros, sugerindo que fatores não climáticos exercem influência maior sobre os acidentes.
- Essas observações iniciais reforçam a necessidade de examinar o gráfico de forma segmentada e detalhada.

³Disponível em: <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasAnuaisPrecipitacao.do?action=carregarInterfaceInicial>

⁴Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Relatorio-Anual-de-Sinistros-de-Transito>

b) Interpretação Completa do Gráfico:

O gráfico construído para este estudo apresenta duas curvas principais: a curva correspondente à média mensal de chuvas e as curvas referentes ao número de sinistros nos anos analisados. Essa organização permite comparar, mês a mês, como essas variáveis se comportam de forma conjunta.

A leitura do gráfico revela três fenômenos centrais que merecem destaque.

- Meses de Alta Precipitação e Baixa Acidentalidade

Ao observar meses com chuvas elevadas, como outubro, que registrou média de 327,45 mm, nota-se que esse período não corresponde aos picos de acidentes. Em todos os anos analisados, outubro apresentou índices relativamente moderados em sinistros quando comparado a meses mais secos. Por exemplo, Outubro de 2021 teve 625 sinistros, enquanto julho do mesmo ano, praticamente sem chuva, teve 705 sinistros. Esse comportamento contraria a expectativa intuitiva de que a chuva aumentaria automaticamente o número de ocorrências.

- Picos de Acidentes em Meses Secos

O gráfico também evidencia que meses secos (especialmente julho, agosto e setembro) apresentam os maiores volumes de sinistros. Em alguns anos, esses meses registraram precipitações inferiores a 30 mm, mas contabilizaram mais de 600 acidentes. Essa tendência sugere que as condições secas favorecem velocidades mais altas e maior fluxo veicular, elementos que, combinados, elevam significativamente o risco de sinistros.

Isso indica fenômeno amplamente descrito na literatura: em meses secos, motoristas tendem a adotar comportamentos menos cautelosos, o que aumenta a probabilidade de acidentes, mesmo com melhores condições de dirigibilidade.

- Meses de Transição com Comportamento Divergente

Meses como abril, maio e setembro revelam elevada variação entre os anos tanto na precipitação quanto nos sinistros. Apesar dessa oscilação climática, os acidentes mantêm certa constância em relação aos demais meses. Isso indica que, nesses períodos, a chuva não aparece como variável determinante e que fatores como: fluxo de tráfego, condições operacionais da via, sinalização, velocidade média, e comportamento dos motoristas exercem maior influência no número de sinistros.

A partir dessa leitura integrada da tabela, do gráfico e das fontes originais, constata-se que a relação entre chuva e acidentes é multifacetada e não se manifesta por meio de correlação simples. Embora tecnicamente a chuva intensifique o risco operacional, especialmente pela perda de aderência e redução de visibilidade, ela não se traduz automaticamente em maior número de acidentes. Em muitos casos, sua ocorrência provoca uma reação oposta: motoristas tendem a reduzir a velocidade, aumentar a atenção e até modificar rotas ou horários, diminuindo a exposição ao risco. Já em períodos secos, a sensação de segurança, combinada com fluxo mais intenso e maior velocidade média, contribui para um cenário mais propenso à ocorrência de sinistros.

Dessa forma, os resultados evidenciam que os meses secos, apesar de apresentarem condições de dirigibilidade mais favoráveis do ponto de vista físico, não configuram necessariamente períodos mais seguros. Por sua vez, meses de maior precipitação não representam, na região analisada, momentos de acidentalidade elevada. Assim, conclui-se que a precipitação influencia o risco viário, mas sua contribuição é secundária quando comparada ao impacto de fatores comportamentais, operacionais e estruturais, que se mostram mais decisivos na distribuição dos sinistros registrados.

Essa interpretação, sustentada pelos dados consolidados no apêndice C e pela leitura detalhada do gráfico comparativo, reforça a necessidade de que planos de segurança viária considerem múltiplas variáveis de forma conjunta, e não apenas condições climáticas isoladas, no desenvolvimento de estratégias de prevenção e mitigação de acidentes.

4.4. Diretrizes de Intervenção e Manutenção

Com base nos resultados obtidos, as seguintes diretrizes são propostas para recuperação e conservação do trecho:

- Limpeza e reabertura das valetas laterais, removendo vegetação e sedimentos para restabelecer a capacidade hidráulica (DNIT, 2006; MDR, 2022).
- Reperfilamento das faixas de rolamento, corrigindo afundamentos e restabelecendo o escoamento superficial adequado.
- Implantação de sistema de drenagem complementar, com sarjetas revestidas e bocas de lobo em pontos de acúmulo.
- Gestão periódica da vegetação marginal, conforme diretrizes de manutenção preventiva (AGR Serviços, 2020).

- Monitoramento do IGG a cada ciclo de chuvas, como ferramenta de controle da degradação.

Essas medidas devem ser implementadas de forma integrada, considerando o comportamento hidrológico local e o tráfego intenso da BR-163. A simples execução de recapeamento, sem correção da drenagem, representaria uma solução paliativa e antieconômica, como alertam Bernucci et al. (2022).

5. CONCLUSÃO

O presente Trabalho propôs-se a analisar a influência dos sistemas de drenagem na segurança viária, utilizando como objeto de estudo um trecho crítico de 960 metros da rodovia BR-163, no Contorno Norte de Toledo-PR. A partir da integração de uma avaliação funcional e objetiva do pavimento, da criação de um índice para mensurar a eficiência da drenagem superficial e da análise de dados pluviométricos e de sinistros, foi possível elucidar a complexa relação entre a gestão da água, a degradação da infraestrutura e o risco operacional.

A primeira constatação fundamental do estudo foi o estado de conservação alarmante do pavimento. A aplicação do método do Índice de Gravidade Global (IGG), conforme a norma DNIT 006/2003-PRO, resultou em um valor de $IGG = 266,42$. Este índice classifica o trecho como "Péssimo", extrapolando significativamente o limite de 160 que já define um pavimento crítico. Essa classificação não é apenas uma formalidade, mas a evidência quantitativa de uma severa perda de desempenho funcional e estrutural. A análise detalhada das patologias revelou que a degradação é governada pelo Afundamento Plástico na Trilha de Roda (ATP) e pelo Desgaste (D), defeitos diretamente associados à instabilidade da mistura asfáltica sob tráfego e, crucialmente, potencializados pela presença de água.

O pilar central desta pesquisa foi a correlação direta entre a deficiência de drenagem e a formação dessas patologias. Para mensurar esta relação, o estudo desenvolveu um Índice de Drenagem Superficial (IDS), ponderando o afundamento das trilhas de roda (70%) e a condição do acostamento (30%). Os resultados demonstraram uma sobreposição inequívoca: as estações identificadas com a pior eficiência de drenagem (classificadas como "Ruim", com $IDS = 2,30$, como nas estações 27 e 33) foram precisamente as mesmas que apresentaram os maiores afundamentos de trilha de roda (deflexões de 20 mm a 26 mm). Esta correlação valida a hipótese central do trabalho: a ineficiência do sistema de drenagem (seja pela condição do acostamento ou pela geometria da pista) é um fator causal direto na aceleração de deformações plásticas severas. Por sua vez, esses afundamentos criam "microbacias" longitudinais que represam a água, alimentando o ciclo de degradação e aumentando significativamente o risco de aquaplanagem e perda de controle.

Uma das descobertas mais didáticas do trabalho surgiu da análise comparativa entre os registros de sinistros (DER/PR) e os dados de precipitação (IAT). Constatou-se, de forma contraintuitiva, que os meses com maiores volumes pluviométricos (ex: outubro) não apresentaram os maiores números de acidentes. Inversamente, os meses mais secos (ex: julho e agosto) frequentemente registraram os picos de sinistros. Esta aparente contradição não

invalida a tese da drenagem; ela a refina. O estudo conclui que os fatores comportamentais (como a redução da velocidade e o aumento da cautela dos motoristas em dias chuvosos, e o excesso de confiança em dias secos) são os principais moduladores da frequência total de acidentes. No entanto, a drenagem deficiente e as patologias dela decorrentes (IGG "Péssimo") determinam o nível de risco técnico da via. Ou seja, embora possa haver menos acidentes na chuva (devido à cautela), o risco de um acidente ocorrer devido a uma falha de infraestrutura (aquaplanagem nos afundamentos) não pode ser desconsiderado.

5.1. Verificação dos Objetivos

Diante dos resultados expostos, é possível verificar o cumprimento dos objetivos propostos no início desta pesquisa:

5.1.1. Identificar os principais critérios técnicos de eficiência da drenagem.

Este objetivo foi alcançado através da fundamentação teórica e, principalmente, da formulação do IDS. O índice estabeleceu que o afundamento de trilha de roda e a condição do acostamento/valeta são critérios mensuráveis e diretos da eficiência do escoamento superficial e lateral.

5.1.2. Avaliar o impacto da ausência de manutenção nos dispositivos de drenagem e sua relação com patologias e riscos.

Este foi o ponto central do estudo. O IGG "Péssimo" (266,42) e as patologias documentadas (panelas, afundamentos, valetas obstruídas por vegetação) são o impacto direto da negligência. A correlação direta entre o IDS "Ruim" e os afundamentos máximos reforçou quantitativamente essa relação.

5.1.3. Estabelecer correlações entre pontos críticos de drenagem e registros de acidentes

Este objetivo foi alcançado de forma indireta. A pesquisa não conseguiu correlacionar pontos específicos de drenagem (ex: estação 33) a registros de acidentes específicos (devido à natureza generalista dos dados de sinistros). Contudo, correlacionou com sucesso os pontos críticos de drenagem às patologias (afundamentos), que são o mecanismo técnico causador do risco de acidentes por pista molhada.

5.1.4. Analisar o papel da drenagem preventiva como estratégia de prolongamento da vida útil

O diagnóstico de IGG "Péssimo" serve como um "estudo de caso reverso", demonstrando que a ausência de manutenção preventiva leva à falência estrutural e funcional da via, validando, por oposição, a importância da prevenção.

5.1.5. Propor medidas de melhorias e soluções técnicas

Este objetivo foi cumprido através da Seção 4.5, que detalhou diretrizes de intervenção emergenciais e de manutenção, como a limpeza de valetas, reperfilamento para correção dos afundamentos e melhoria dos dispositivos de drenagem lateral .

5.2. Limitações e Recomendações para Trabalhos Futuros

Identifica-se como principal limitação do estudo a ausência de dados de acidentes georreferenciados com precisão, o que impediu a correlação direta entre o local exato do sinistro e as estações com piores índices de IGG e IDS. Além disso, o Índice de Drenagem Superficial (IDS) é uma ferramenta proposta neste trabalho, carecendo de uma validação em maior escala para se consolidar como um padrão metodológico. Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se:

A reaplicação da metodologia em um segmento maior da rodovia em conjunto com boletins de ocorrência georreferenciados para correlacionar o local exato do acidente com as medições de afundamento e IDS de cada estação.

O monitoramento do trecho estudado após a implementação das diretrizes de intervenção propostas, a fim de recalcular o IGG e o IDS e mensurar o ganho real em qualidade e segurança.

A validação e o refinamento do Índice de Drenagem Superficial (IDS) em outros segmentos rodoviários, com diferentes características de tráfego e pavimento.

5.3. Considerações Finais

Este trabalho conclui que a influência dos sistemas de drenagem na segurança viária é relevante, embora sua manifestação nos dados de acidentalidade seja complexa e mediada pelo comportamento humano. A drenagem não deve ser tratada como um elemento acessório da rodovia, mas como um pilar fundamental de sua durabilidade e segurança. O estado "Péssimo" do pavimento da BR-163 é um sintoma direto da falha crônica no escoamento da

água. Os resultados fornecem um diagnóstico técnico robusto que comprova: onde a drenagem falha, o pavimento colapsa, e o risco de acidentes se multiplica.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AGR SERVIÇOS. **Gestão de Vegetação em Rodovias: Garantindo a Segurança dos Motoristas**. [S.l.], [2020]. Disponível em: <https://agrservicos.com/gestao-de-vegetacao-em-rodovias-garantindo-a-seguranca-dos-motoristas/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Boletim Anual de Sinistros de Trânsito em Rodovias 2023**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/informacoes-gerais/boletim-anual-de-acidentes/boletim-anual-de-sinistros-de-transito-em-rodovias-2023.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ALMEIDA, R. A. **Rodovias do Paraná: o desafio de reduzir tragédias no trânsito**. Gazeta do Povo, Curitiba, 7 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/opiniaio/artigos/rodovias-parana-acidentes-desafioreduzir-tragedias-transito/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. [S. l.]: Petrobras, 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem**. 5. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2018. (Publicação IPR, 736).

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação-Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Manual para apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e de manejo de águas pluviais**. [Brasília, DF]: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

CARVALHO, Fernanda Santana. **Análise da textura superficial de pavimentos asfálticos e sua influência na ocorrência de acidentes de tráfego rodoviário em condição de pista molhada**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

CARVALHO, Fernanda Santana; MACHADO, Cláudia A. Soares; BERNUCCI, Liedi Légi Bariani. **Análise da implementação de mistura asfáltica com granulometria do tipo descontínua para redução de acidentes em pista molhada**. Transportes, v. 28, n. 2, p. 30-43, 2020. Disponível em: www.revistatransportes.org.br. Acesso em: 5 jun. 2025.

CAMPOS, Renato Batista; MOTA, Hélio da Silva. **Sistema de drenagem superficial em rodovias pavimentadas**. In: SIMPÓSIO DE TCC, 3., 2020, Pirapora. Anais [...]. Pirapora: FINOM e Tecsoma, 2020. p. 863-878.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima de Toledo (Brasil)**. 2025. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/toledo-31828/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

DELLGADO, Neila Carvalho Ferreira. **Hidrologia na drenagem das rodovias**. 2008. 38 f. Monografia (Especialização em Transporte e Trânsito) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DER/PR. **Anuário Estatístico Segurança Rodoviária 2021**. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, 2022. Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Relatorio-Anual-de-Sinistros-de-Transito> . Acesso em: 10, nov, 2025.

DER/PR. **Anuário Estatístico Segurança Rodoviária 2022**. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, 2023. Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Relatorio-Anual-de-Sinistros-de-Transito> . Acesso em: 10, nov, 2025.

DER/PR. **Anuário Estatístico Segurança Rodoviária 2023**. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, 2024. Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Relatorio-Anual-de-Sinistros-de-Transito> . Acesso em: 10, nov, 2025.

DER/PR. **Anuário Estatístico Segurança Rodoviária 2024**. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná, 2025. Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Relatorio-Anual-de-Sinistros-de-Transito> . Acesso em: 10, nov, 2025.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Obras. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal: Volume 2: Manual Técnico 2 e 3: Manual de Drenagem Urbana**. Brasília: Concremat Engenharia, 2009.

DNIT. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. (Publicação IPR - 724).

FURTADO, L.; MOTA, A. de A.; GRISON, F.; MENEGOTTO, M. L. **Eficiência de drenagem de um modelo de pavimento de concreto permeável sob chuva natural**. Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 128-144, 2021. DOI: [10.18256/2358-6508.2021.v8i1.4153](https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i1.4153).

FIA. **FIA Safety**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.fia.com/fia-safety>. Acesso em: 13 jun. 2025.11.15

INSTITUTO ÁGUA E TERRA DO PARANÁ (IAT-PR). **Análise da região da unidade de conservação: Parque Estadual Cabeça de Cachorro**. Curitiba, 2020. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/pe_cabeca_cachorro_7_encarte2_analise_regiao_uc_a.pdf. Acesso em: 12 nov. 2025.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de Rodovias: Estudos Hidrológicos e Projetos de Drenagem**. Edição 2022. [S. l.: s. n.], 2022.

LEAL, V. A. M. et al. Perfil e georreferenciamento dos acidentes fatais rodoviários na microrregião do sudoeste do Paraná. *Revista Geo*, v. 20, n. 2, p. 98-112, 2025. Disponível em: <https://revistageo.com.br/revista/article/view/827>. Acesso em: 12 nov. 2025.

LIMA, Wallesson Alexandre de Sousa; SOUSA, Jhonatan Peres de; MATOS, Otainan da Silva; SILVA, Fernanda Gabrielle Soares da. **Sistemas de drenagem: a importância para a infraestrutura do transporte rodoviário brasileiro**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 17813-17831, mar. 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n3-153.

LINHARES, Guilherme Rodrigues. **Redução de acidentes rodoviários por derrapagem com emprego de Tratamento Superficial Duplo com Asfalto Modificado por Borracha**. 2021. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

MINEROPAR – **Minerais do Paraná S/A. Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Minerais do Paraná S/A – MINEROPAR, 2001. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Geologico-do-Estado-do-Parana> . Acesso: 13, nov 2025.

NAMY, Roberto Bayeux. **Drenagem de rodovias: contribuição para o estudo de controle da poluição por cargas difusas gerada pelo escoamento superficial**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

NASCAR. **NASCAR Competition Rules**. 2023. Disponível em: <https://www.nascar.com/nascar-competition-rules/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

OLIVEIRA, Fabrício Corrêa de; BARBOSA, Juliano Esteves. **Métodos de drenagem preventiva contra deterioração de estradas rodoviárias**. 2013. 47 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdades Doctum, Minas Gerais, 2013.

PINHEIRO, Alyson Freitas; COUTINHO, Fernanda Martins; FERREIRA, Mônica Fernandes. **O projeto de drenagem em pavimentos asfálticos: conserva o revestimento, previne acidentes e danos ao meio ambiente**. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, São Paulo, v. 7, n. 11, p. 288-301, nov. 2021. DOI: 10.51891/rease.v7i11.3229.

REZENDE, F. M. da; SILVA, J. C. A. da; OLIVEIRA, L. C. de. **Os dispositivos de drenagem como elucidação aos acidentes ocasionados por aquaplanagem na BR-050**. *Revista de Engenharia, TI e Inovação – RETII*, v. 1, n. 1, 2024.

SIQUEIRA REGO, Karina da Silva. **Drenagem de rodovias brasileiras**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, Marabá, 2022.

SILVA, Jhenifer de Paula da. **Aplicação do método do IGG – Índice de Gravidade Global em comparação com o método do PCI – Pavement Condition Index para determinação de serviços de restauração e manutenção em um trecho da Avenida Tupi de Pato Branco**

– **PR**. 2018. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Pato Branco, 2018.

SILVA, L. K. C. **Avaliação das condições de superfícies de pavimentos asfálticos na área rural do município de Entre Rios do Oeste-PR**. Toledo: UTFPR, 2022.

UNITED STATES. Federal Highway Administration (FHWA). HEC-11 – **Design of Riprap Revetment (Hydraulic Engineering Circular No. 11)**. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2006. Disponível em: https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_listing.cfm. Acesso em: 12 nov. 2025.

UNITED STATES. Federal Highway Administration (FHWA). HEC-15 – **Hydraulic Design of Roadside Channels (Hydraulic Engineering Circular No. 15)**. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2015. Disponível em: https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/library_listing.cfm. Acesso em: 15 jan. 2025.

VIEIRA, Suyanne Alves; PINHO JÚNIOR, Antônio Adilson EufRASINO de; OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de; AGUIAR, Marcos Fábio Porto de. **Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI**. Conexões – Ciência e Tecnologia, Fortaleza, v. 10, n. 3, p. 20-30, 2016. DOI: 10.21439/conexoes.v10i3.799.

WEATHERSPARK. **Clima característico em Toledo – Paraná (Brasil) durante o ano. 2025**. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/29580/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Toledo-Paran%C3%A1-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 12 nov. 2025.

WARKEN, Gustavo Henrique. **Avaliação das condições de superfície do pavimento da BR-163 no trecho entre os municípios de Toledo-PR e Marechal Cândido Rondon-PR**. 2019. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2019.

WEISHEIMER, Sabrina Ilone; BARRETO, Yrys Sophya Lins; ITO, William Hideki; COSTA, Guilherme Alan Souza. **Caracterização preliminar de um solo residual de basalto do Oeste do Paraná: extração de amostras, análise tátil-visual e granulométrica**. In: Seminário de Extensão e Inovação; Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2023, Ponta Grossa. Anais [...]. Ponta Grossa: UTFPR, 2023.

ANEXOS

ANEXO A - QUADRO RESUMO DOS DEFEITOS - CODIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

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 constituente 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		
"Painelas" 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.

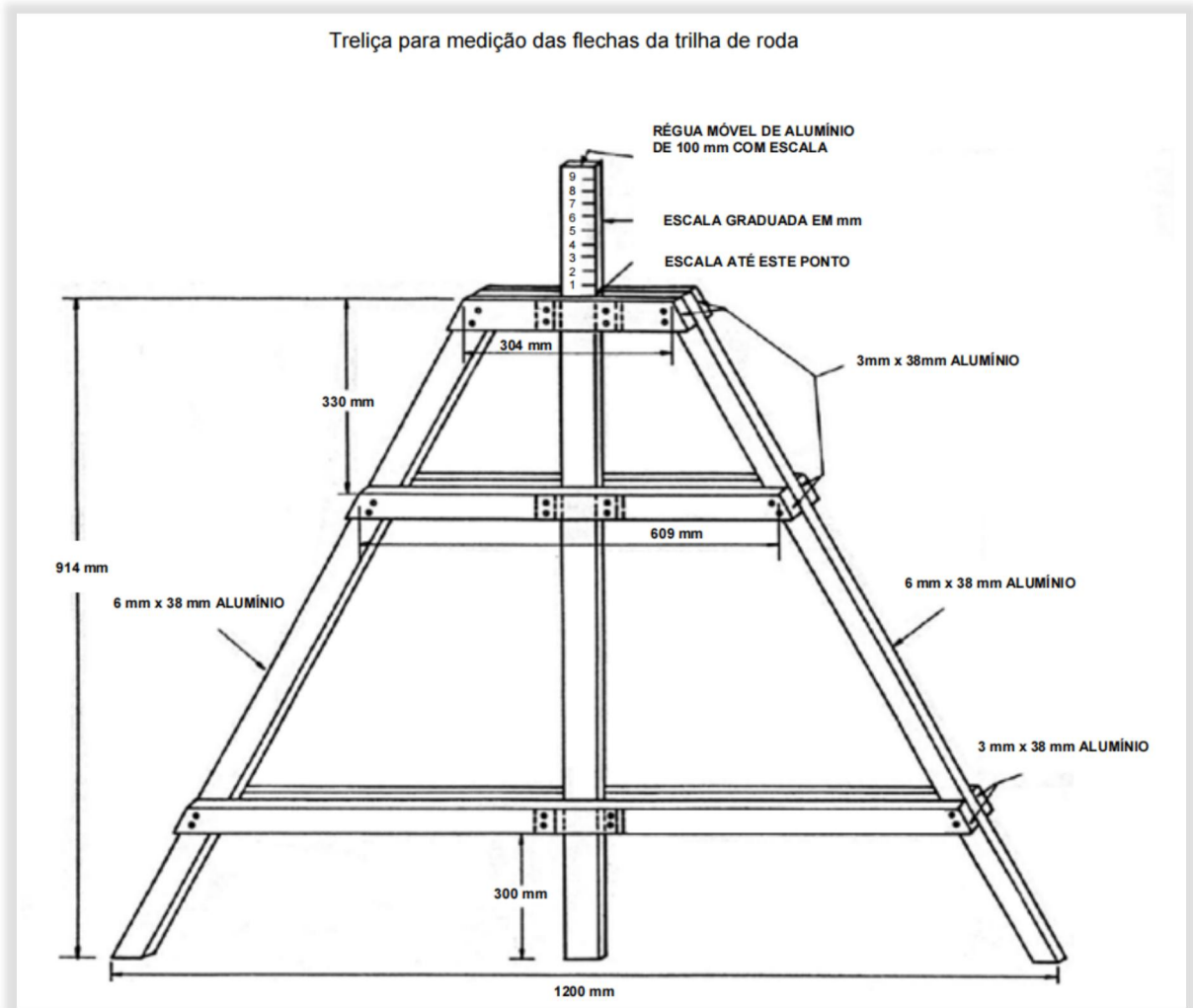
FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

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

ANEXO C - PLANILHA DE CÁLCULO DOS IGI E IGG PARA DETERMINAÇÃO DO CONCEITO

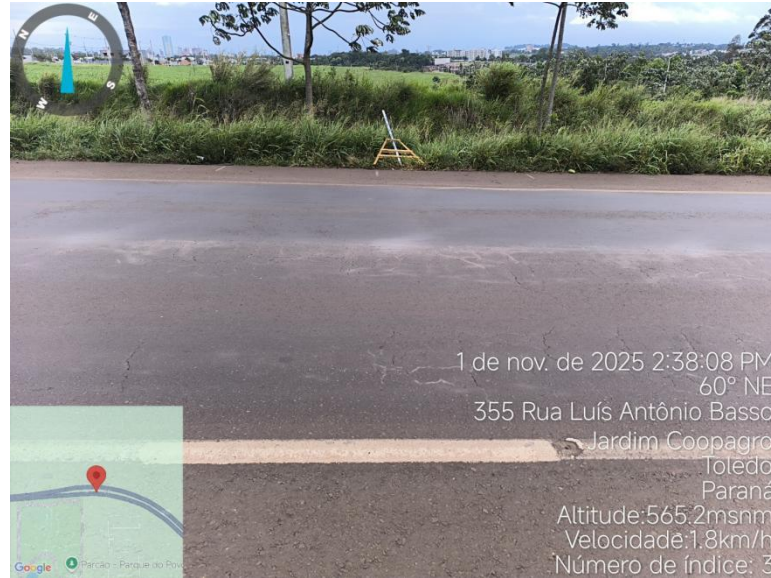
PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data: (04/11/2025)	Folha:
RODOVIA: BR-163 TRECHO: CONTORNO NORTE (KM 246 - 247) SUB-TRECHO: -----						Nº Estacas:	02
						48	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa %	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2		
2	(FC - 2) J, TB				0,5		
3	(FC - 3) JE, TBE				0,8		
4	ALP, ATP		X		0,9		
5	O e P		X		1,0		
6	EX		X		0,5		
7	D		X		0,3		
8	R		X		0,6		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A () 1 B ()	0,00	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 28,67	TRIV = 14,58	FV = 21,625	2 A () 2 B ()	21,63	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		n =	\sum IND. GRAVID. IND. = IGG =				Conceito
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30 1B) IGI = 40 quando F > 30		2A) IGI = FV quando FV ≤ 50 2B) IGI = 50 quando FV > 50				Cálculo	
						Visto	

ANEXO D - TRELIÇA PARA MEDIÇÃO DAS FLECHAS DE TRILHA DE RODA

APÊNDICES

APÊNDICE A - IMAGENS GEOREFERENCIADAS DAS ESTAÇÕES DE ESTUDO











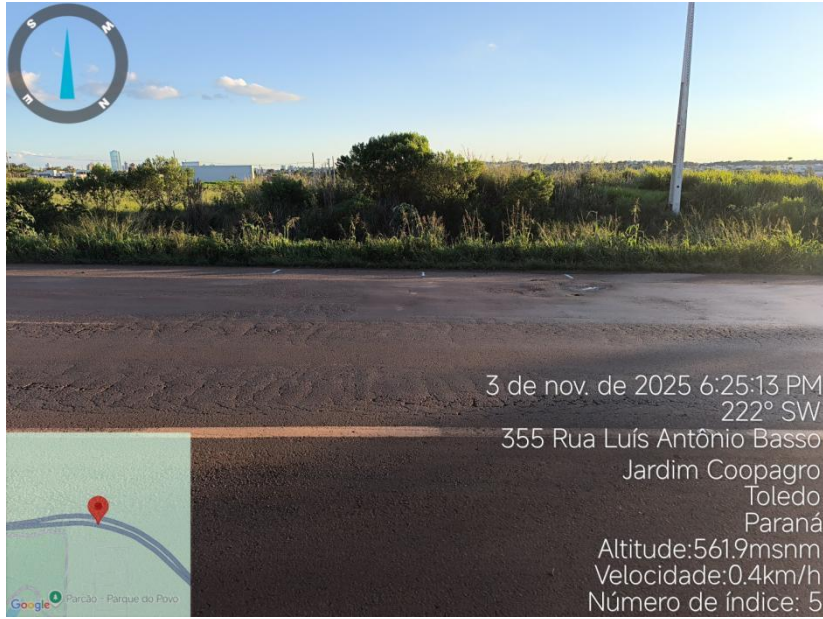








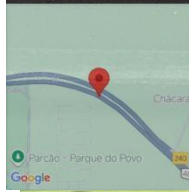




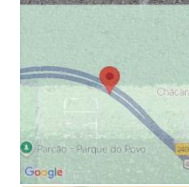




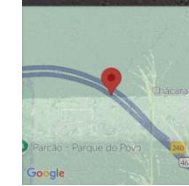
3 de nov. de 2025 6:40:16 PM
165° S
1786 Rua Rodrigues Alves
Jardim Coopagro
Toledo
Paraná
Altitude:569.2msnm
Velocidade:0.7km/h
Número de índice: 11

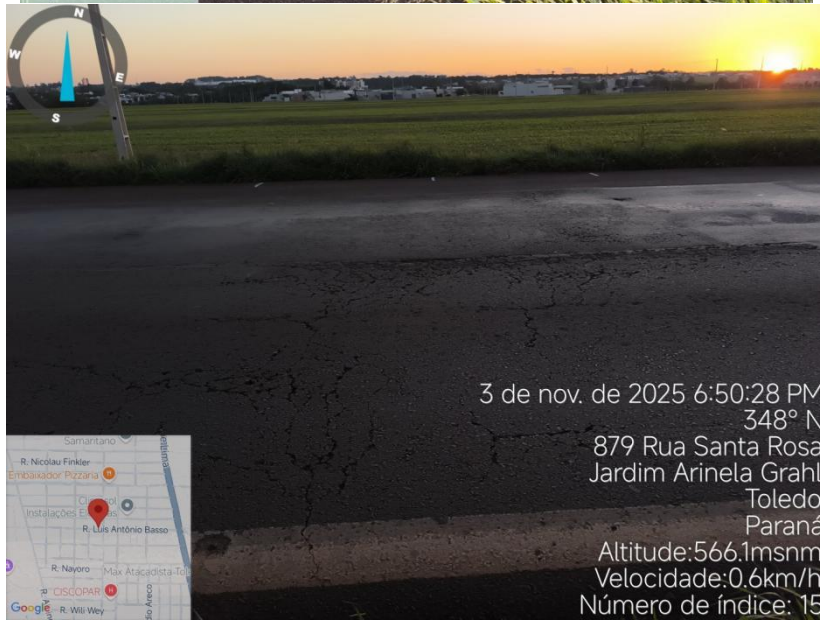


3 de nov. de 2025 6:43:01 PM
206° SW
355 Rua Luís Antônio Basso
Jardim Coopagro
Toledo
Paraná
Altitude:571.9msnm
Velocidade:0.3km/h
Número de índice: 12



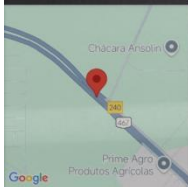
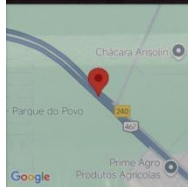
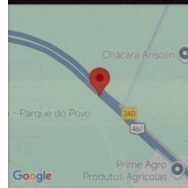
3 de nov. de 2025 6:45:40 PM
347° N
1399 Rua Íris Maria Bordignon
Vila Industrial
Toledo
Paraná
Altitude:571.2msnm
Velocidade:1.2km/h
Número de índice: 13











**APÊNDICE B - TABELA COM OS DADOS BRUTOS UTILIZADOS PARA
OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE DRENAGEM SUPERFICIAL (IDS)**

Estação	Maior Deflexão (mm)	Score Deflexões	Acostamento (1-5)	Score Final	Classificação
1	8,00	4,00	3,00	3,70	Regular
2	5,00	4,00	1,00	3,10	Regular
3	9,00	4,00	2,00	3,40	Regular
4	2,00	5,00	2,00	4,10	Bom
5	10,00	3,00	2,00	2,70	Ruim
6	4,00	5,00	3,00	4,40	Bom
7	3,00	5,00	2,00	4,10	Bom
8	6,00	4,00	4,00	4,00	Bom
9	4,00	5,00	3,00	4,40	Bom
10	2,00	5,00	4,00	4,70	Bom
11	4,00	5,00	3,00	4,40	Bom
12	2,00	5,00	3,00	4,40	Bom
13	2,00	5,00	3,00	4,40	Bom
14	3,00	5,00	3,00	4,40	Bom
15	7,00	4,00	3,00	3,70	Regular
16	6,00	4,00	2,00	3,40	Regular
17	5,00	4,00	2,00	3,40	Regular
18	6,00	4,00	3,00	3,70	Regular
19	4,00	5,00	3,00	4,40	Bom
20	3,00	5,00	3,00	4,40	Bom
21	8,00	4,00	2,00	3,40	Regular
22	4,00	5,00	2,00	4,10	Bom
23	14,00	3,00	2,00	2,70	Ruim
24	5,00	4,00	2,00	3,40	Regular
25	7,00	4,00	3,00	3,70	Regular
26	4,00	5,00	2,00	4,10	Bom
27	22,00	2,00	3,00	2,30	Ruim
28	3,00	5,00	3,00	4,40	Bom
29	5,00	4,00	4,00	4,00	Bom
30	2,00	5,00	2,00	4,10	Bom
31	11,00	3,00	4,00	3,30	Regular
32	2,00	5,00	2,00	4,10	Bom
33	26,00	2,00	3,00	2,30	Ruim
34	1,00	5,00	2,00	4,10	Bom
35	11,00	3,00	3,00	3,00	Regular
36	10,00	3,00	3,00	3,00	Regular
37	19,00	3,00	2,00	2,70	Ruim
38	8,00	4,00	2,00	3,40	Regular
39	11,00	3,00	2,00	2,70	Ruim
40	1,00	5,00	2,00	4,10	Bom
41	6,00	4,00	2,00	3,40	Regular
42	1,00	5,00	2,00	4,10	Bom
43	12,00	3,00	2,00	2,70	Ruim
44	2,00	5,00	2,00	4,10	Bom
45	9,00	4,00	3,00	3,70	Regular
46	2,00	5,00	2,00	4,10	Bom
47	5,00	4,00	3,00	3,70	Regular
48	2,00	5,00	1,00	3,80	Regular
IDS (Índice de Drenagem Superficial)				3,702	Regular

APÊNDICE C.1 - TABELA DE DADOS CRUZADOS OBTIDOS DO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ E DO DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

TABELA COMPARATIVA DE REGISTROS DE SINISTROS NO PARANÁ X MÉDIA DE CHUVAS					
		Fonte: Departamento de Estradas de Rodagem (DER) - (https://www.der.pr.gov.br/Pagina/Relatorio-Anual-de-Sinistros-d)			
Mês	Média de Chuva (mm)	Sinistros 2021	Sinistros 2022	Sinistros 2023	Sinistros 2024
Jan	220,73	552	467	466	575
Fev	208,70	565	516	418	567
Mar	114,37	580	592	454	437
Abr	157,80	581	577	555	443
Mai	85,93	642	574	645	485
Jun	93,03	609	593	609	494
Jul	69,70	705	675	633	497
Ago	68,48	645	567	591	497
Set	144,58	634	466	551	461
Out	327,45	625	442	597	473
Nov	122,03	516	429	550	428
Dez	145,68	583	507	632	491
Média de Sinistros Anuais		603,08	533,75	558,42	487,33

APÊNDICE C.2 - ANÁLISE DA MÉDIA DE CHUVAS ATRAVÉS DOS DADOS ANUAIS FORNECIDOS PELO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ

Chuvvas (Toledo - PR)		Fonte: Instituto das Águas do Paraná (http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br/sih-web/gerarRelatorioAlturasMensaisPr)				
MÉDIA DE CHUVAS (mm)						
Mês/Ano	2021	2022	2023	2024	Média Mensal (2021 - 2024)	
Jan	397,10	142,50	122,60	sem dados	220,73	
Fev	23,60	144,60	457,90	sem dados	208,70	
Mar	120,60	109,10	113,40	sem dados	114,37	
Abr	2,10	295,40	175,90	sem dados	157,80	
Mai	46,50	124,60	86,70	sem dados	85,93	
Jun	103,60	156,80	94,00	17,70	93,03	
Jul	17,90	29,10	116,90	114,90	69,70	
Ago	23,30	136,70	72,80	41,10	68,48	
Set	41,80	295,00	140,60	100,90	144,58	
Out	404,70	471,20	282,60	151,30	327,45	
Nov	30,10	89,30	280,30	88,40	122,03	
Dez	14,20	128,20	129,70	310,60	145,68	
Média Anual	102,13	176,88	172,78	117,84		

APÊNDICE D.1 - TABELA DE CÁLCULO E RESULTADO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data: (04/11/2025)	Folha:
RODOVIA: BR-163 TRECHO: CONTORNO NORTE (KM 246 - 247) SUB-TRECHO: ----- REVESTIMENTO TIPO: CBUQ						Nº Estacas:	02
						48	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa %	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	32	24	50,00	0,2	10,00	
2	(FC - 2) J, TB	10	9	18,75	0,5	9,38	
3	(FC - 3) JE, TBE	11	9	18,75	0,8	15,00	
4	ALP, ATP	65	X	135,42	0,9	121,88	
5	O e P	22	X	45,83	1,0	45,83	
6	EX	0	X	0,00	0,5	0,00	
7	D	48	X	100,00	0,3	30,00	
8	R	4	X	8,33	0,6	5,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =		7,71	
		6,19	5,38	5,785	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =		21,63	
		28,67	14,58	21,625	2 A () 2 B ()		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		n =	\sum IND. GRAVID. IND. = IGG =			266,42	Conceito
1A) IGI = $F \times 4/3$ quando $F \leq 30$ 1B) IGI = 40 quando $F > 30$		2A) IGI = FV quando $FV \leq 50$ 2B) IGI = 50 quando $FV > 50$				IGG > 160 =	PÉSSIMO
						Cálculo	
						Visto	

