

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO RAMOS DE OLIVEIRA

**DEGRADAÇÃO NO PAVIMENTO DEMANDADA POR VEÍCULOS DE CARGA,
EM TRECHO DA AV. GEN. RODRIGO OTÁVIO RAMOS, NA CIDADE DE
MANAUS -AM**

Manaus
2023

RODRIGO RAMOS DE OLIVEIRA

**DEGRADAÇÃO NO PAVIMENTO DEMANDADA POR VEÍCULOS DE CARGA,
EM TRECHO DA AV. GEN. RODRIGO OTÁVIO RAMOS, NA CIDADE DE
MANAUS -AM**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador: Prof. Nilton de Souza Campelo
Co-orientadora: Prof.^a Marivone Souza de Oliveira

Manaus
2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Rodrigo Ramos de
O48d Degradação no pavimento danificada por veículos de carga, em
trecho da Av. Gen. Rodrigo Otávio Ramos, na cidade de Manaus -
AM / Rodrigo Ramos de Oliveira . 2023
84 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Nilton de Souza Campelo
Coorientadora: Marivone de Souza Oliveira
TCC de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Infraestrutura rodoviária. 2. Pavimento. 3. Patologias. 4.
Veículos de carga. 5. Mobilidade urbana. I. Campelo, Nilton de
Souza. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Departamento de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

Discente: RODRIGO RAMOS DE OLIVEIRA

Degradação no Pavimento Demandada por Veículo de Carga em Trecho da Av. General Rodrigo Otávio Ramos, na Cidade de Manaus-AM.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 30 de junho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Nilton de Souza Campelo (Presidente da Banca)

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Membro)

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos (Membro)



Documento assinado eletronicamente por **Nilton de Souza Campelo, Professor do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 14:48, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Raimundo Pereira de Vasconcelos, Professor do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 15:13, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **João de Almeida Melo Filho, Professor do Magistério Superior**, em 05/07/2023, às 15:14, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1575617** e o código CRC **71601410**.

Av. Octávio Hamilton Botelho Mourão - Bairro Coroado 1 Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho, Setor Norte - Telefone: (92) 3305-1181
CEP 69080-900, Manaus/AM, decft@ufam.edu.br

Referência: Processo nº 23105.014439/2022-61

SEI nº 1575617

AGRADECIMENTOS

Neste momento especial, desejo expressar minha gratidão, primeiramente a Deus que é quem nos move e nos guia ao longo do trajeto da vida, cujo qual nos dá forças para prosseguirmos em frente e alcançarmos tamanha vitória.

Sou grato pela minha mãe que durante longos anos sempre acreditou no meu potencial, que me instruiu e me educou de forma sublime a ser e me tornar a pessoa que sou hoje, acreditando sempre que a busca pelos meus objetivos seria alcançada com sucesso.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha esposa, Isabelle Oliveira, que me acompanhou e suportou ao meu lado os momentos de dificuldade. Que em meio a momentos de desmotivação e lutas sempre esteve me dando força e apoio para que eu pudesse continuar firme. Em meio a estes sentimentos de gratidão, sou grato pelo amor, pelo carinho, pelo cuidado e parceria, saiba que sem sua presença minha jornada seria muito mais difícil.

À minha família que constitui um corpo importante da minha vida, que forneceram suporte emocional, encorajamento, descontração e inspiração. As pessoas que puderam celebrar minhas conquistas e me apoiaram em momentos desafiadores.

À professora Marivone Oliveira, que se prontificou em me orientar durante a elaboração deste trabalho. Da qual não mediu esforços para ajudar e sempre tentou de todas as formas possíveis me fornecer a assistência necessária, compartilhando seu amplo conhecimento tanto durante a fase universitária, quanto na finalização da jornada acadêmica.

Ao professor Nilton Campelo, que aceitou o desafio de me orientar durante a fase final da elaboração do TCC, que impulsionou os últimos passos para a entrega do trabalho acadêmico.

Por fim, destaco também a importância de todos os professores do curso de Engenharia Civil da UFAM, que contribuem de forma única na vida acadêmica de cada estudante. Que fazem seu melhor para que trabalho não seja uma simples rotina, todavia se transforme uma contribuição imensurável na vida profissional do futuro engenheiro.

RESUMO

A movimentação de bens e produtos é uma atividade fundamental para o desenvolvimento dos centros urbanos das cidades. O modal rodoviário tem grande relevância na locomoção das pessoas e envio de mercadorias, sendo responsável por 61% do transporte de cargas e 95% do transporte de passageiros. Dada a importância da atividade para a economia e crescimento da região torna-se necessário haver uma boa infraestrutura que possa comportar a demanda exigida. Este trabalho tem por objetivo identificar e caracterizar as degradações de um trecho de 4.700m da Avenida Rodrigo Otávio Jordão Ramos, realizando comparações entre um levantamento remoto e em campo, a fim de avaliar os impactos destas degradações na mobilidade urbana local. A identificação das degradações foi realizada por meio de inspeção visual com auxílio do *Google Earth* e também em campo, baseando parte do procedimento metodológico nas normas do DNIT 005/2003 e 006/2003. Para avaliação das condições do pavimento foi realizado um inventário de degradações observadas em cada estação, que em seguida foram comparadas com imagens remotas no local correspondente, com o propósito de constatar a incidência de manifestações patológicas e quantificar essas averiguações. Já para entender o fluxo de veículos de carga foi traçado um método de observação empírica visando qualificar e quantificar o fluxo dos veículos de carga na via estudada. Observou-se que foram encontrados 44 defeitos ao longo da extensão total do percurso, sendo a maior incidência de defeitos as panelas (20%), precedidas pelos remendos (11%) e trincas couro de jacaré (11%). Quanto ao fluxo de veículos estimou-se que trafegam, em média, 130 veículos por hora no trecho. A comparação entre os defeitos em campo e remotamente levou à conclusão de que a baixa qualidade do pavimento e elevada presença e evolução dos defeitos no ano de 2020 tornou necessária uma intervenção de recapeamento da via, no ano de 2022. Dessa maneira, relacionou-se as ocorrências das patologias, que causam prejuízos na mobilidade urbana, diretamente, à infraestrutura de transporte viário, ao custo operacional dos veículos, ao aumento de acidentes de trânsito e aos impactos ao meio ambiente.

Palavras chave: infraestrutura rodoviária; pavimento; patologias; veículos de carga; mobilidade urbana.

ABSTRACT

The movement of goods and products is a fundamental activity for the development of urban centers. The road transport mode plays a significant role in the mobility of people and the shipment of goods, accounting for 61% of cargo transportation and 95% of passenger transportation. Given the importance of this activity for the economy and regional growth, it is necessary to have a well-developed infrastructure capable of meeting the demand. The objective of this study is to identify and characterize the deteriorations along a 4,700-meter stretch of Rodrigo Otávio Jordão Ramos Avenue, comparing remote sensing data with field surveys to evaluate the impacts of these deteriorations on local urban mobility. The identification of deteriorations was conducted through visual inspection using Google Earth, as well as in-field assessments, following the methodologies outlined in DNIT Standards 005/2003 and 006/2003. An inventory of observed deteriorations was performed at each station to assess the pavement conditions, and then compared with remote images of the corresponding locations to determine the incidence and quantify these pathologies. To understand the flow of commercial vehicles, an empirical observation method was employed to assess and quantify the flow of cargo vehicles on the studied road. It was observed that a total of 44 defects were found along the entire length of the route, with the highest incidence being potholes (20%), followed by patches (11%), and alligator cracking (11%). As for the vehicle flow, an average of 130 vehicles per hour was estimated for the segment. The comparison between on-site defects and remote observations led to the conclusion that the poor pavement quality and the high presence and progression of defects in 2020 necessitated a road resurfacing intervention in 2022. Therefore, the occurrences of these pathologies, which directly impair urban mobility, were directly related to the road transportation infrastructure, vehicle operating costs, increased traffic accidents, and environmental impacts.

Keywords: road infrastructure; pavement; pathologies; freight vehicles; urban mobility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo	14
Figura 2 – Matriz do transporte de cargas do Brasil	16
Figura 3 – Investimentos em transportes no Brasil, no período de 2002 a 2020	17
Figura 4 – Malha Rodoviária Brasileira	18
Figura 5 – Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (km/mil km ²)	19
Figura 6 – Dados sobre custos envolvendo acidentes no Brasil e no mundo	22
Figura 7 – Dados sobre acidentes relacionados ao trânsito	22
Figura 8 – Extensão das rotas da Pesquisa CNT de Rodovias 2021	23
Figura 9 – Evolução da condição da superfície do pavimento em rodovias federais públicas (em km)	24
Figura 10 – Valor Autorizado e pago pela União em investimentos em transportes entre 2001 e 2022 (em R\$ Bilhões)	25
Figura 11 – Investimentos públicos da União em infraestrutura de transporte, por modalidade (em R\$ bilhões) no período de 2001 a 2021	26
Figura 12 – Exemplo de fissuras e trincas	31
Figura 13 – Exemplo de trinca transversal isolada	31
Figura 14 - Exemplos de trincas longitudinais	32
Figura 15 – Exemplo de trinca de retração	32
Figura 16a - Exemplo de trinca couro de jacaré com erosão nas bordas	33
Figura 16b - Exemplo de trinca couro de jacaré sem erosão	33
Figura 17a e 17b - Exemplo de trincas em bloco	33
Figura 18 – Afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP)	34
Figura 19 – Exemplos de (a) Afundamento por consolidação em trilha de roda e (b) Afundamento por consolidação localizado	35
Figura 20 – Exemplos de presença de escorregamento na pista	35
Figura 21 – Exemplo de exsudação no pavimento	36
Figura 22 – Exemplo de desgaste	36
Figura 23 – Exemplo de panela profunda, com danos a base	37
Figura 24 – Exemplo de panela superficial	37
Figura 25 – Exemplo de remendo profundo	37
Figura 26 – Exemplo de remendo	38

Figura 27: Diagrama sintético do Método da Arvore de Decisões	45
Figura 28 – Exemplo de demarcação das áreas de análise por estações	48
Figura 29 – Demarcação e seccionamento do trecho de forma remota	51
Figura 30 – Gráfico de incidência dos defeitos	53
Figura 31 – Necessidade de investimentos nas rodovias brasileiras	73
Figura 32 – Necessidade de investimentos nas rodovias do Estado do Amazonas	73
Figura 33 – Condição da superfície do pavimento das rodovias brasileiras	74
Figura 34 – Condição da superfície do pavimento das rodovias no Estado do Amazonas	75
Figura 35 – Impactos ao meio ambiente e financeiro associados a condição do pavimento no Brasil	76
Figura 36 – Impactos ao meio ambiente e financeiro associados a condição do pavimento no Amazonas	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALC - Afundamento Localizado de Consolidação.
ALP - Afundamentos Localizados Plásticos.
ATC - Afundamento de Trilho de Roda
ATP - Afundamentos na Trilha de roda Plásticos.
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CNT – Confederação Nacional dos Transportes
D - Desgaste
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes
E - Escorregamento do revestimento
EX - Exsudação
F - Fissuras
FIEAM – Federação das Indústrias do Estado do Amazonas
INPA – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
J – Trinca Couro de Jacaré
J - Trincas Interligadas Tipo “Jacaré”
JE – Trinca Couro de Jacaré com erosão
O - Corrugação e Ondulação
P - Panelas ou Buracos
PIB – Produto Interno Bruto
PRO – Procedimento
R - Remendo
TB – Trinca em bloco sem erosão
TB - Trincas Interligadas de Bloco.
TBE – Trinca Bloco com erosão
TBE - Trincas Interligadas de Bloco com Erosão
TCU - Tribunal de Contas da União
TER - Terminologia
TJ - Trincas Interligadas “Jacaré”
TJE - Trincas Interligadas “Jacaré” ou de fadiga com Erosão
TLC – Trinca Longitudinal Curta
TLL – Trinca Longitudinal Longa

TRR – Trinca de Retração Térmica

TTC – Trinca Transversal Curta

TTL – Trinca Transversal Longa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	INFRAESTRUTURA PARA O TRANSPORTE URBANO	15
2.2	A PAVIMENTAÇÃO COMO AGENTE DE FLUIDEZ NA TRAFEGABILIDADE DO MODAL RODOVIÁRIO	19
2.3	A PAVIMENTAÇÃO NO CENÁRIO BRASILEIRO	23
2.4	A PAVIMENTAÇÃO NO CENÁRIO DO AMAZONAS	27
2.5	PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	29
2.5.1	Tipologia e identificação	30
2.5.1.1	Fenda	30
2.5.1.2	Fissura	30
2.5.1.3	Trinca	30
2.5.1.3.1	Trinca isolada	31
2.5.1.3.2	Trinca interligada	33
2.5.2	Afundamento	34
2.5.2.1	Afundamento plástico	34
2.5.2.2	Afundamento de consolidação	34
2.5.3	Ondulação ou Corrugação	35
2.5.4	Escorregamento	35
2.5.5	Exsudação	36
2.5.6	Desgaste	36
2.5.7	Panela ou buraco	36
2.5.8	Remendo	37
2.5.8.1	Remendo profundo	37
2.5.8.2	Remendo superficial	38
2.6	ASPECTOS DA AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	38
2.6.1	Avaliação visual	38
2.6.1.2	DNIT 008/2003 – PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos asfálticos – Procedimento	39
2.6.1.3	DNIT 009/2003 – PRO – Avaliação subjetiva da superfície dos pavimentos asfálticos - Procedimento	41

2.6.2 Avaliação funcional.....	41
2.6.2.1 Avaliação superficial objetiva.....	42
2.6.2.1.1 DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos - Procedimento.....	42
2.7 MANUTENÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	44
2.7.1 ÁRVORES DE DECISÃO.....	45
3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	47
4 RESULTADOS E ANÁLISES	51
4.1 Apresentação do mapa	51
4.2 Identificação das degradações	51
4.3 Método de avaliação superficial do pavimento	55
4.4 Impactos na mobilidade urbana.....	69
4.4.1 Impactos nos veículos	71
4.4.2 Impactos na infraestrutura	72
4.4.3 Impacto ambiental	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas últimas décadas, é notório o crescimento dos centros urbanos no Brasil, tanto nas capitais quanto no entorno dessas, e até mesmo as cidades mais distantes das capitais brasileiras, atualmente, são procuradas como meio de melhoria de vida e suporte para a população em geral. Segundo (ALVES, 2022), o Brasil tem hoje 85% da população vivendo em grandes centros urbanos. Esse fator motiva a formação de novos corredores de tráfego urbano nas cidades, além dos pré-existentes, e ocasiona também a maior demanda de veículos de carga que trafegam nesses corredores urbanos.

A capital do Estado do Amazonas - Manaus - em termos demográficos, apresentou nas últimas décadas, elevado crescimento populacional (MUNDO EDUCAÇÃO, 2022). Desde 1967, Manaus é qualificada como a cidade que mais se desenvolve no norte do país, devido ao polo industrial implementado na capital, como estratégia principal do Governo Federal para a manutenção da segurança das fronteiras brasileiras. Por isso, a expansão demográfica e o desenvolvimento econômico de Manaus tem impulsionado a necessidade de expansão das vias urbanas, a fim de acompanhar o aumento do fluxo de pessoas e mercadorias na região.

Sabendo da necessidade de se identificar, caracterizar e monitorar todos os elementos que compõem os corredores de tráfego urbano das cidades para que o fluxo veicular flua de forma adequada, a proposta desse trabalho é identificar as degradações no pavimento do trecho da Av. Gen. Rodrigo Otávio Ramos, em Manaus, demandados por veículos de carga, e seus possíveis impactos na mobilidade urbana, pois entende-se que estudando essas degradações, pode-se auxiliar com as atividades acadêmicas de pesquisa, fornecendo dados e informações que possam futuramente contribuir para a melhoria da fluidez dos corredores urbanos, particularmente, naqueles trafegados por veículos de cargas em Manaus.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Identificar as degradações no pavimento da Av. Gen. Rodrigo Otávio Ramos, demandados por veículos de carga, e indicar os possíveis impactos na mobilidade urbana.

Objetivos Específicos

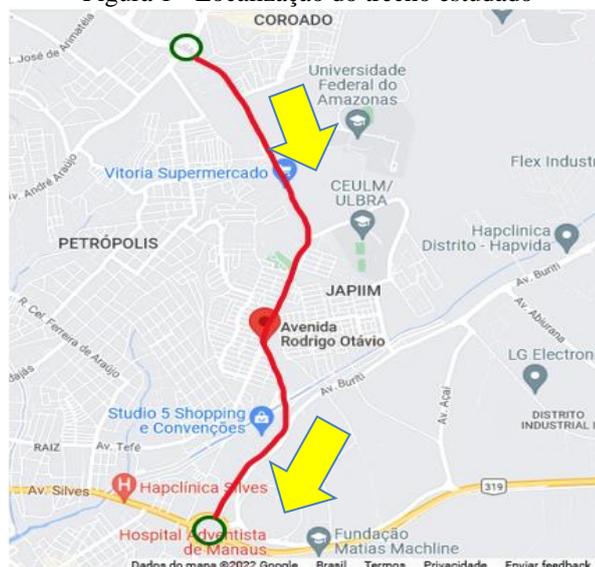
- Identificar as degradações nos pavimentos do trecho estudado, aplicando verificação visual em campo;
- Caracterizar as degradações dos pavimentos na rota do trecho estudado;
- Comparar os resultados obtidos no levantamento remoto com o levantamento em campo;
- Verificação dos impactos na mobilidade urbana, ocasionados pelas degradações identificadas no trecho pesquisado;

1.3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a elaboração deste trabalho, o trecho escolhido foi a Avenida Rodrigo Otávio em toda a sua extensão, localizado na zona Sul da cidade de Manaus. O levantamento compreende o trecho iniciado no Complexo Viário Gilberto Mestrinho, ao lado do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), seguindo pelo bairro Japiim e concluído na Praça Francisco Pereira da Silva, conhecida como Bola da Suframa. A extensão total do trecho é 4,7 km, e todo o levantamento foi realizado em um único sentido, como indica a Figura 1.

A escolha desta localização considerou que a Avenida Rodrigo Otávio é um dos grandes corredores de tráfego urbano de Manaus, apresentando grande fluxo de tráfego urbano de veículos de passeio e de serviços, inclusive de veículos de carga que demandam ao Polo Industrial de Manaus. Por esta avenida ocorre grande parte do escoamento de cargas e mercadorias, destinadas ao Polo Industrial como também para outras zonas da cidade.

Figura 1 - Localização do trecho estudado



Fonte: Google Maps (2022), adaptado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INFRAESTRUTURA PARA O TRANSPORTE URBANO

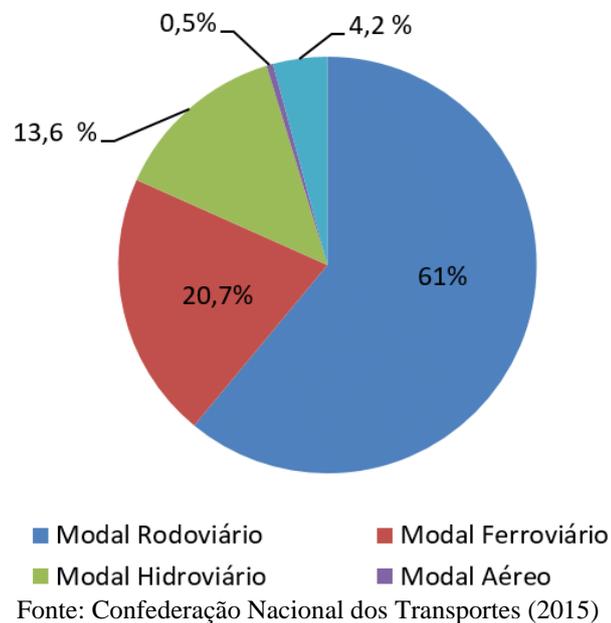
De acordo com a (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2019), a infraestrutura rodoviária brasileira possui grande relevância para o desenvolvimento econômico do país, sendo responsável por 61% do transporte de cargas e 95% do transporte de passageiros. (ROCHA et al., 2019), destaca ainda a relação entre o estado de conservação dos pavimentos e a sua influência na economia, uma vez que a presença de degradações nas vias eleva o custo operacional do transporte e põe em risco a integridade das cargas e passageiros.

Para (BALBO, 2007), existe relação entre a qualidade dos pavimentos e seus custos operacionais. Além disso, o autor menciona que as manutenções nos veículos aumentam, em decorrência dos problemas oriundos das condições desfavoráveis da superfície de rolamento. Outro fator levantado por ele é que, com o pavimento em boas condições, a velocidade do tráfego aumenta, e com isto, o consumo de combustível também, tal fator se dá devido a fatores físicos e mecânicos, como a resistência do ar e a maior exigência dos motores, em contrapartida, em superfícies melhores, os tempos de viagens se reduzem drasticamente.

Neste sentido, a infraestrutura viária é um dos principais elementos constituintes dos centros urbanos modernos, cuja estrutura caracteriza a mobilidade urbana das cidades. Os centros produtores, por sua vez, necessitam escoar sua produção para os diversos centros de consumo. Segundo o (CNI, 2022) Infraestrutura é o conjunto de serviços básicos que atendem uma cidade, tais como os serviços das concessionárias de luz, água, telefone e outros, bem como os serviços para atendimento do transporte público em geral, visando não só o deslocamento da população como também o seu bem estar e a sua segurança.

O sistema de transporte é parte essencial da infraestrutura urbana das cidades, e para a melhor visualização de como os modais de transporte são utilizados no território brasileiro é importante conhecer o cenário atual dos modais de transporte no Brasil. No gráfico da pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), mostrado na Figura 2, observa-se que este cenário está em consonância ao estudo realizado pelo (CNI, 2022).

Figura 2 - Matriz do transporte de cargas do Brasil

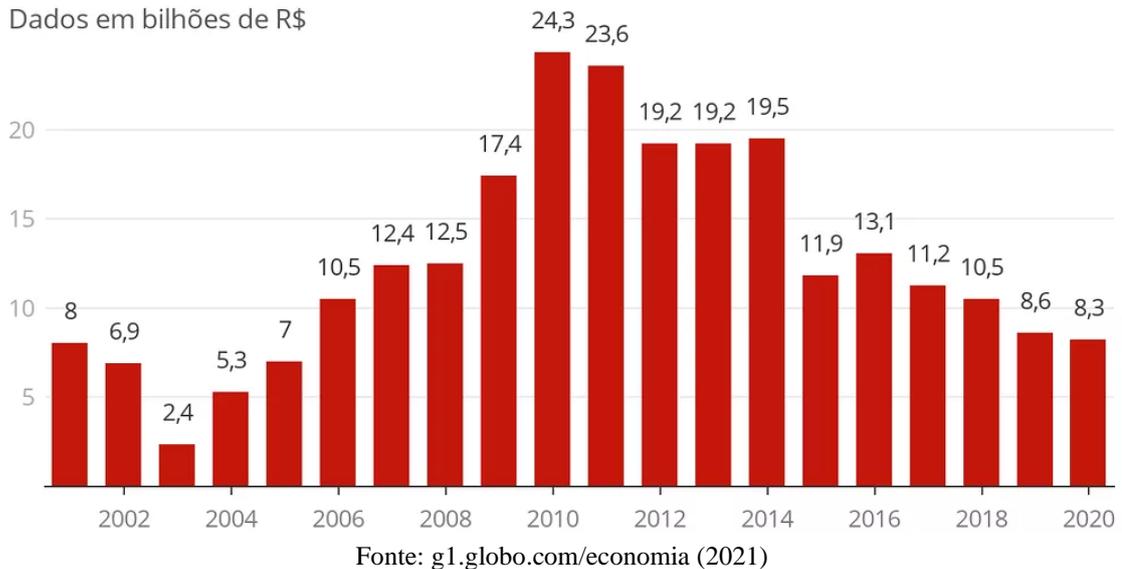


Percebe-se pelo gráfico, que o Brasil é muito dependente do modal rodoviário para transporte de cargas, apresentando na sua matriz de transportes, o percentual de 61% desse modal. Essa dependência eleva os custos finais do transporte das diversas cargas, que são repassados ao setor produtivo e aos consumidores finais. Custos estes elevados significativamente, devido à deficiência na manutenção e deterioração das vias e rodovias brasileiras, segundo observações de (SCHMITZ, 2021).

De acordo com esse panorama, a matriz brasileira de transporte de carga se encontra desbalanceada, pois em relação aos demais modais, o modal rodoviário lidera o cenário dos transportes no Brasil. Isso ocorre devido às características gerais desse tipo de modal e o fato dele alcançar extensas e longínquas áreas no território brasileiro, inclusive utilizando-as também na integração com outras modalidades de transporte.

Outro aspecto agravante para o cenário da infraestrutura brasileira é o fato que os investimentos da administração federal vem se reduzindo ao longo dos anos, fato este ilustrado na Figura 3, compreendendo o período de 2002 a 2020. Analisando o ano de 2020 pode-se notar a redução dos investimentos de 4% em relação ao ano anterior, e além disso, segundo o levantamento realizado pelo CNI, os investimentos em 2020 foram os mais baixos em 15 anos.

Figura 3 – Investimentos em transportes no Brasil, no período de 2002 a 2020



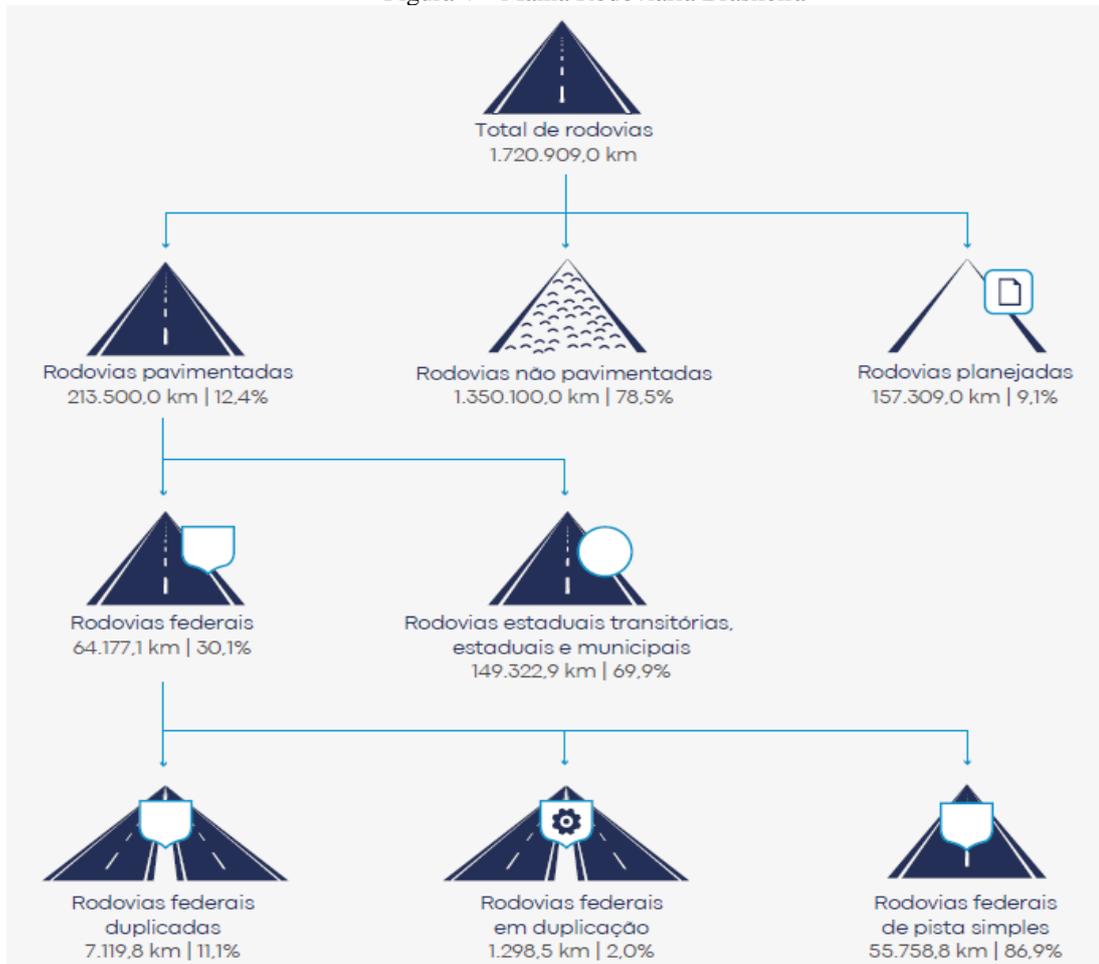
Para (GERBELLI, 2021) a dificuldade na integração dos modais no Brasil também está associada a estes investimentos. Os investimentos em infraestrutura brasileira, se comparada com relação ao PIB do país, no período de 2016 a 2020, foram menores que 2%, a média dos últimos 25 anos se encontra em 1,6%. Conforme dados do relatório anual do Projeto Infra2038, os investimentos necessários na área da infraestrutura no país, para colocar o Brasil entre os 20 primeiros do ranking de competitividade global, deveriam aumentar para mais de 4% do PIB. Isso, possivelmente, ocasiona a falha na integração e no crescimento para uma infraestrutura de transportes mais fluida e eficiente.

Essa interligação eficiente é necessária para realizar a interligação entre os produtores, os centros de carga, os distribuidores e outros, de modo que atenda aos requisitos gerais e específicos da logística desse transporte.

É notório que o Brasil é composto por uma malha rodoviária extensa que se comunica com outros modais, tais como o ferroviário, marítimo, fluvial, aeroviário e o dutoviário. Porém a atual configuração da rede de transportes brasileira apresenta um desempenho logístico um tanto ineficiente, muito embora o modal rodoviário seja mais versátil para transporte de mercadorias diversificadas, e também uma opção bem eficiente para curtas distâncias, nem sempre é a opção mais econômica para transporte de grandes volumes de cargas, principalmente em países com grande extensão territorial.

Segundo a (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2021), no ano 2021 o Brasil possuía 1.720.909 km de rodovias distribuídas ao longo do seu território. Na Figura 4, pode-se observar o panorama geral da distribuição da malha rodoviária no Brasil.

Figura 4 – Malha Rodoviária Brasileira



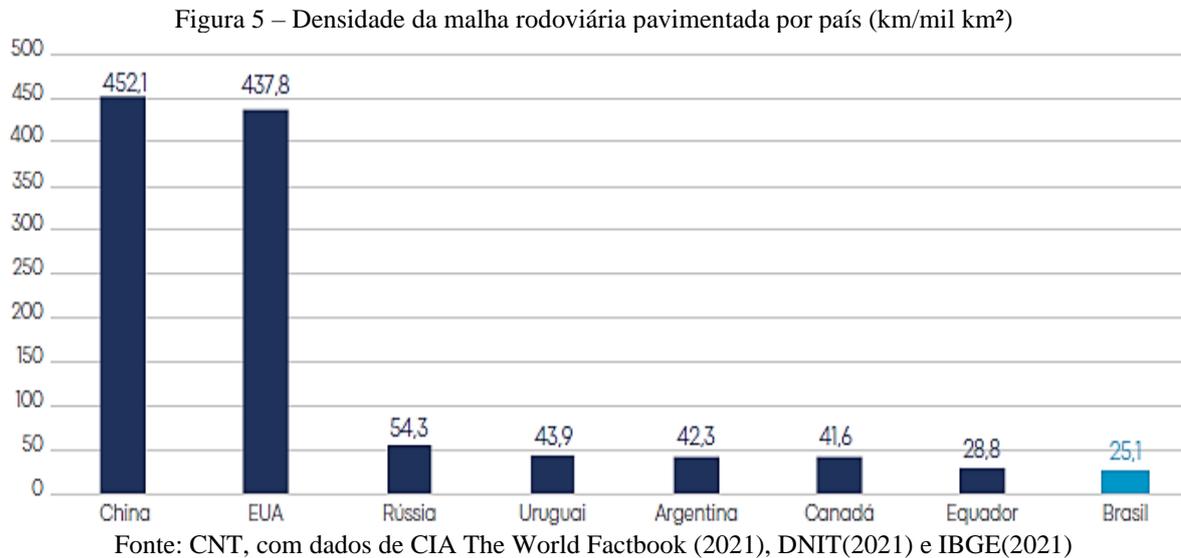
Fonte: CNT (2021)

Com esta extensa rede viária, o país tornou-se detentor da 4ª maior malha rodoviária do mundo. Entretanto, foi registrada a deterioração dessa pavimentação e indicou-se que mais da metade das rodovias brasileiras pavimentadas, atualmente, estão classificadas como regulares, ruins ou péssimas. Por outro lado, (PROAUTO, 2022), comenta que desse montante, apenas 12,40% da malha viária total é pavimentada.

No caso do Brasil, o modal rodoviário, por se tratar do setor que recebe maiores investimentos e também por abranger interligação em todo território nacional deveria ser a rede de modal mais eficiente, se comparada a rede dos demais modais, entretanto, grande parte das rodovias não se encontra em bom estado de utilização. Na avaliação da pesquisa, no ano de 2021, foi identificado que o percentual de 52,2% do pavimento com problemas de pavimento, sendo 30,6% classificado como regular, 15,8% como ruim e 5,8% como péssimas. (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2021)

Além dessa discrepância, ainda pode-se destacar que, do total, há uma distribuição não uniforme das rodovias pavimentadas no território brasileiro. A densidade é muito baixa se

comparada com outros países. A (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2021) mostra que foi realizada a comparação da densidade da malha rodoviária pavimentada do Brasil com alguns outros países de extensão territorial equivalente ou menores localizados na América Latina. O resultado está expresso na Figura 5.



A quantidade de vias rodoviárias pavimentadas é muito escassa se comparadas à extensão total do território brasileiro. Para (SPERAFICO, 2017), além da estrutura rodoviária se apresentar abaixo dos padrões internacionais de competitividade, também há inúmeros desafios relacionados a durabilidade dos pavimentos, tais como, falhas no controle da qualidade durante a execução dos serviços, a aquisição e utilização de materiais de inadequados ou de qualidade inferior, deficiências na fiscalização da fase da execução, e déficit do controle e gestão dos programas de manutenção, restauração e conservação.

2.2 A PAVIMENTAÇÃO COMO AGENTE DE FLUIDEZ NA TRAFEGABILIDADE DO MODAL RODOVIÁRIO

(BERNUCCI et al., 2008) afirma que o pavimento tem por função primordial garantir que a trafegabilidade nas rodovias ocorra da melhor maneira possível, oferecendo aos usuários conforto e segurança. Sabe-se que esta estrutura é imprescindível ao transporte rodoviário, dado que o solo por si só não apresenta as condições necessárias para suportar periodicidade do fluxo de veículos em uma via.

Para (DNIT, 2006), após o serviço de terraplenagem, o conjunto dos trabalhos para a pavimentação rodoviária é executado para: (1) resistir e distribuir no subleito, os esforços produzidos pelo tráfego de veículos, (2) tornar melhor as condições do rolamento de veículos relativamente à comodidade e segurança dos usuários, e, (3) aumentar a durabilidade da superfície de rolamento por meio da resistência aos esforços horizontais atuantes.

A eficiente qualidade no tráfego dos veículos é fator fundamental para a mobilidade urbana das cidades, sendo assim, existe correlação ampla entre a fluidez no trânsito e o estado da pavimentação viária. Nos tempos atuais, o trânsito tem se tornado cada vez mais intenso e tem tido crescimento cada vez maior. Segundo (PREVIDELLI, 2012), o número de automóveis, entre os anos de 2001 e 2011, aumentou 100% em algumas das principais metrópoles brasileiras e esse aumento não foi acompanhado pelo desenvolvimento da infraestrutura urbana e pelos investimentos no setor rodoviário. Na Tabela 1, pode-se observar este aumento.

Tabela 1 – Crescimento da frota de veículos em algumas metrópoles brasileiras, entre 2001 e 2011

Metrópole	Frota de automóveis	% de crescimento da frota de autos	Frota de motos	% de crescimento na frota de motos
Manaus (AM)	357.049	141,90%	127.991	382,20%
Belo Horizonte (MG)	1.753.405	108,50%	368.728	312,50%
DF	1.274.792	103,60%	212.807	373,30%
Goiânia (GO)	786.256	100,50%	786.256	228,40%
Belém (PA)	280.231	97,30%	112.905	708,30%
Salvador (BA)	668.472	94,30%	140.473	468,10%
Curitiba (PR)	1.543.739	91,70%	269.087	273,40%
Fortaleza (CE)	628.039	89,70%	272.955	320,90%
Recife (PE)	692.389	78,20%	223.904	338,80%
São Paulo (SP)	8.292.812	68,20%	1.444.624	260,80%
Porto Alegre (RS)	1.423.439	67%	308.095	202,60%
Rio de Janeiro (RJ)	1.274.792	62%	430.733	338,60%

Fonte: EXAME.55 (2012)

Além disso, em outro estudo posterior (RODRIGUES, 2019), cita que a frota dos veículos entre 2008 e 2018 cresceu 77%, onde a frota passou de 37,1 para 65,7 milhões de veículos. Este número indica que as concentrações de crescimento das frotas são mais acentuadas nas metrópoles brasileiras, o que corrobora para o cenário negativo na fluidez do trânsito e nos demais aspectos relacionados à mobilidade urbana das cidades.

Os riscos no trânsito são considerados permanentes, ou seja, os riscos dependem da ação dos motoristas, da perícia, domínio e da consciência em manter a prudência durante a condução veicular e garantir a segurança das pessoas. (PAPPA e CHIROLI, 2011, p.2).

Desta maneira, o crescimento desordenado das cidades e a deficiência no planejamento urbano afetam diretamente o deslocamento das pessoas e automóveis nas regiões urbanas, criando riscos à qualidade de vida e danos ao meio ambiente.

Outros fatores que influenciam nesse escoamento do tráfego podem ser:

- ❖ A forma de planejamento das cidades;
- ❖ As características da população;
- ❖ Dimensões físicas do espaço urbano;
- ❖ Estruturação e diversidade dos sistemas de transporte;
- ❖ Infraestrutura de tráfego das cidades
- ❖ Baixos investimentos no setor;
- ❖ Baixa qualidade do material utilizado nos pavimentos;

Pode-se notar claramente a relação entre se ter uma fluidez eficiente com o estado do pavimento de forma que, em vias devidamente pavimentadas, o deslocamento dos veículos ocorre de forma segura e eficaz. Um dos grandes problemas nos pavimentos brasileiros são as panelas (popularmente chamadas “buracos”), ocasionados devido a fatores como, por exemplo, espessura insuficiente para suportar o tráfego, falhas no sistema de drenagem, trincas por fadiga, falha na imprimação e entre outra (CNT Transporte Anual, 2018).

Segundo o portal da empresa (ASFALTO PARANÁ, 2021), afirma existir duas classes de danos, causados pelas panelas:

Direto: Quando é ocasionado danos ao veículo, que demandam manutenção, conserto e reparo nos veículos; também estão inclusas situações em que existem acidentes onde ocorrem custos para com as pessoas vitimadas.

Indireto: Ocorre devido à perda de renda em função do tempo parado, ou seja, em acidentes onde o trabalhador vai demandar se ausentar um certo período com tratamento e despesas médicas a longo prazo, arcado pela empresa, motivado pelo afastamento.

A deficiência na infraestrutura, e também as precárias condições de trechos, afetam a vida útil dos caminhões, causando danos ao veículo, sendo eles (AVEP BRASIL, 2017): problemas na suspensão; desgaste dos pneus; problemas no alinhamento; danos a estrutura física do caminhão.

Além dos danos causados aos caminhões, outras dificuldades surgem pela qualidade inadequada do pavimento utilizado na malha rodoviária brasileira; as condições de trafegabilidade dos veículos de carga ao deparar-se com vias em condições inapropriadas também existem a necessidade de: (1) Conduzir mais lentamente, o que aumenta o tempo de percurso; (2) Redobrar a atenção para manter a segurança do condutor e dos pedestres; (3) Tomar cuidado pois há um aumento no número de acidentes.

As condições das vias têm relação direta com segurança. Os problemas na trafegabilidade acentuam mais ainda a ocorrência dos acidentes de trânsito. Segundo dados do (ANUARIO CNT DO TRANSPORTE, 2021) o Brasil teve em 2020 o total de 63.447 acidentes registrados em rodovias federais, a quantidade aponta para algo em torno de cerca de mais de 173 acidentes por dia. Dada esta importância, foi que o painel brasileiro da mobilidade urbana, em 2022, realizou em seu painel uma exposição resumida dos dados sobre o tema, conforme podemos observar na exposição das Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Dados sobre custos envolvendo acidentes no Brasil e no mundo



Figura 7 – Dados sobre acidentes relacionados ao trânsito



2.3 A PAVIMENTAÇÃO NO CENÁRIO BRASILEIRO

A precariedade de infraestrutura rodoviária, falta de investimentos e manutenção nas rodovias tem gerado muitos prejuízos para os transportadores de cargas, causando assim, retrocesso no desenvolvimento econômico do país (CNT Transporte atual, 2021). Outrossim, também aumenta os riscos e os defeitos mecânicos em automóveis. A CNT realizou a pesquisa anual das rodovias, que foram selecionadas e distribuídas em todo o território brasileiro por 18 rotas, como mostrado na Figura 8, foram avaliadas um total de 109.103 km, sendo essa extensão correspondente a 51,1% do montante total de rodovias nacionais pavimentadas. (Pesquisa CNT de Rodovias, 2021).

Figura 8 – Extensão das rotas da Pesquisa CNT de Rodovias 2021

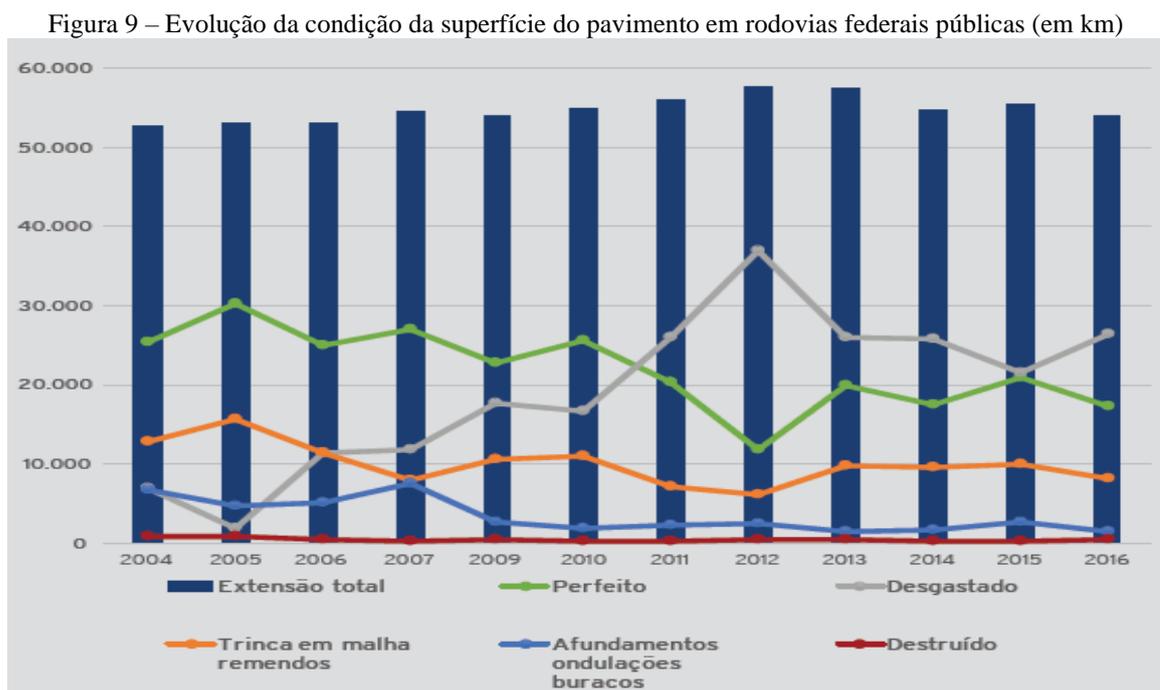
Rota	UF Pesquisadas	Extensão das Rodovias (km)		
		Estaduais	Federais	TOTAL
1	RS	1.329	3.484	4.813
2	PR, RS, SC	1.815	3.615	5.430
3	MG, MS, PR, SP	6.366	1.347	7.713
4	MG, RJ, SP	3.270	3.167	6.437
5	BA, ES, MG, RJ, SP	3.120	3.997	7.117
6	MS, PR, SP	1.829	4.320	6.149
7	AL, BA, MG, PE, PI	1.972	5.896	7.868
8	CE, MA, PA, PI, TO	1.835	4.434	6.269
9	AC, AM, MT, RO	270	4.686	4.956
10	AL, BA, CE, PB, PE, SE	2.004	4.150	6.154
11	CE, PB, PE, PI, RN	1.536	5.098	6.634
12	BA, DF, GO, TO	3.615	3.425	7.040
13	AM, AP, PA, RR, TO	1.310	3.917	5.227
14	BA, MG	3.675	3.667	7.342
15	DF, GO, MG	2.750	3.594	6.344
16	RS, SC	2.104	3.266	5.370
17	MG, MS, PR, SP	1.299	148	1.447
18	GO, MS, MT, PA	1.718	5.075	6.793
Extensão Total Pesquisada		41.817	67.286	109.103

Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2021)

Na pesquisa, foram selecionadas a totalidade das rodovias federais e ainda acrescidas as principais rodovias estaduais de grande relevância socioeconômica e que mais se destacam estrategicamente na integração intermodal e multimodal no território brasileiro. (Pesquisa CNT de rodovias, 2021).

A qualidade do pavimento está diretamente relacionada com o dimensionamento de projeto, com as considerações adotadas e com o controle de qualidade da execução e do

material. Segundo o estudo do CNT (porque os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?), o pavimento no Brasil é projetado para durar entre 8 e 12 anos; se comparado aos pavimentos dos Estados Unidos, são dimensionados para um tempo de 25 anos. Desta maneira, o pavimento brasileiro não é dimensionado para períodos relativamente extensos de duração, além de sofrerem efeitos climáticos e alto tráfego de veículos. Na figura 9 pode-se notar a evolução da condição dos pavimentos das rodovias federais entre os anos de 2004 a 2016.



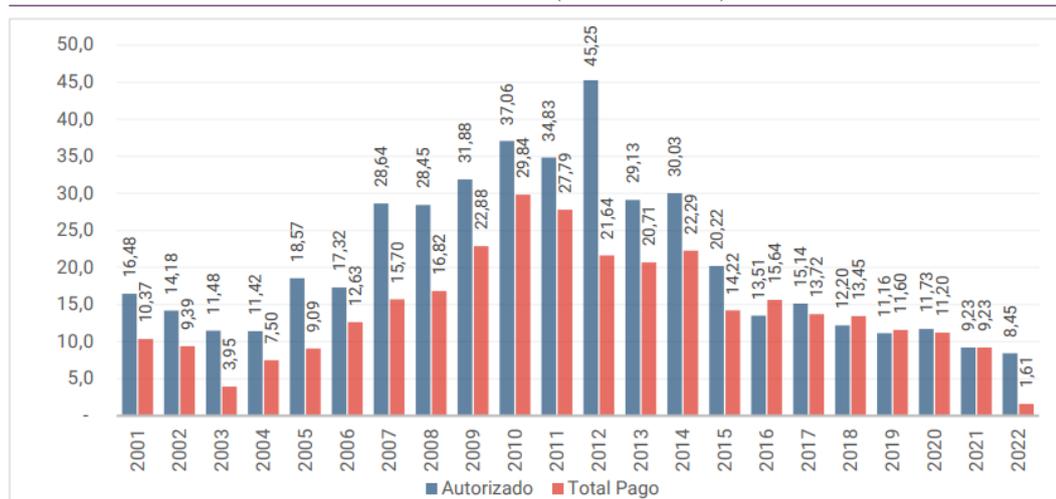
Fonte: Elaborada pela CNT (2017)

O gráfico aponta os resultados de 13 anos de avaliação dos pavimentos em rodovias federais públicas, podendo ser observado que a ocorrência que mais cresceu foi o desgaste da camada superficial do pavimento, onde tivemos um aumento de 36% entre 2004 e 2016. Além disso também foi apontado que o percentual de rodovias consideradas em perfeito estado teve um decréscimo de 16% durante o mesmo período. Desta forma, do total das vias avaliadas, o percentual de vias consideradas perfeitas no país foi de apenas 32%. (CNT, 2017)

Além disso, outro fator agravante é o descaso da gestão pública com a parte de dimensionamento estrutural das rodovias, o (TCU) Tribunal de Contas da União realizou relatórios que apontaram que em determinadas obras os problemas já começaram a surgir em apenas 7 meses após a entrega. Os investimentos públicos destinados a reparo, conservação, manutenção e execução de novas vias trafegáveis tem diminuído ao longo dos anos. (CNT, 2017)

Na figura 10, é apresentado um gráfico mostrando os investimentos públicos federais feitos pela União, no período de 2001 a 2022. O gráfico expressa o cenário da destinação de verba pública prevista em orçamentação e o quanto deste valor foi pago e investido no setor dos transportes, ao longo dos anos avaliados.

Figura 10 – Valor Autorizado e pago pela União em investimentos em transportes entre 2001 e 2022 (em R\$ Bilhões)



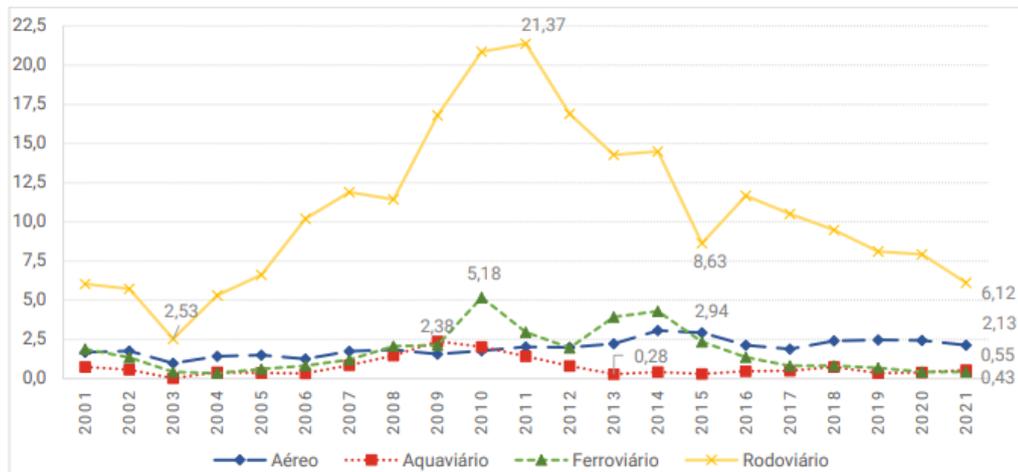
Fonte: Orçamento Federal (Siga Br), 2022

*No ano de 2022, os valores considerados foram até 11/07/2022

Os investimentos entre os anos de 2001 e 2012 foram pagos bem abaixo do valor do qual foi autorizado em orçamento, neste ponto pode-se notar que no ano de 2012, no qual apresentou um valor autorizado relativamente alto, foi pago apenas 51,21% do valor. Além disto, no ano de 2003 onde ocorreu o menor valor autorizado, do período em questão, foi realizado apenas 34,41% do montante. Em contrapartida, entre os anos de 2016 e 2021 os valores pagos tem superado ou ficaram bem próximos ao autorizado, e embora tenha aumentado esta preocupação de executar o valor previsto, os investimentos vêm se reduzindo gradualmente quando comparados ao histórico do passado. (TRANSPORTE EM FOCO, 2022).

Na figura 11, é apresentado o quanto desse dinheiro orçado para os setores de transportes foi destinado a cada modal do setor, entre 2001 e 2021.

Figura 11 – Investimentos públicos da União em infraestrutura de transporte, por modalidade (em R\$ bilhões) no período de 2001 a 2021



Fonte: Orçamento Federal (Siga-Br), 2022.

Conforme (TRANSPORTE EM FOCO, 2022), o setor rodoviário lidera as altas no orçamento de investimentos públicos federais. Isto ocorre devido a matriz brasileira ser altamente dependente de um único modal para realizar o transporte de cargas e pessoas, a forma com que a matriz foi desenvolvida no território brasileiro não privilegia uma integração intermodal eficiente.

Ao avaliar as curvas do gráfico, nota-se que o setor rodoviário é o receptor de aproximadamente 71% do total dos investimentos do período citado. A título de exemplo comparativo, pode-se avaliar a setorização de investimentos no ano de 2021: 66,30% no modal rodoviário; 23,08% no modal aéreo; 5,95% no modal aquaviário e 4,67% no ferroviário.

De acordo com o levantamento da CNT realizada em 2021, devido à baixa qualidade dos pavimentos das rodovias brasileiras e ao déficit de investimentos necessários para a melhoria constante da infraestrutura dos transportes, os prejuízos gerados para o transportador e, conseqüentemente, para o país aumentaram o custo médio operacional do transporte rodoviário em 30,9% no ano da pesquisa, resultando no aumento do preço final dos produtos destinados ao consumidor (CNT TRANSPORTE ATUAL, 2021).

Segundo o (Ministério da Infraestrutura, 2023) foi anunciada a verba de 18,8 bilhões de reais a serem aplicados em infraestruturas de transportes, no ano de 2023, a fim de recuperar a capacidade do Governo Federal em investir em Infraestrutura, o anúncio foi instaurado na reunião do Fórum de Desenvolvimento de 2023. O valor tem um aumento razoavelmente significativo, pois, ao longo destes 21 anos, o governo vem reduzindo significativamente os investimentos em infraestrutura dos transportes, a queda fica em torno de 69,1%.

A CNT estimou que para o Brasil viabilizar projetos de destaque em infraestrutura seria necessário um investimento de 865,38 bilhões de reais nesse período de 2001 a 2021. Enquanto

o orçamento total investido pela união foi de apenas 319,65 bilhões de reais, um valor muito abaixo do necessário, cerca de apenas 36,9% do necessário.

2.4 A PAVIMENTAÇÃO NO CENÁRIO DO AMAZONAS

O Amazonas é um estado localizado na região Norte do Brasil, com uma extensão territorial de aproximadamente 1,5 milhão de km², o que representa cerca de 18% do território brasileiro. Dessa forma, a logística de transporte terrestre é uma questão importante para o desenvolvimento econômico do estado. No entanto, as rodovias e pavimentos no Amazonas ainda apresentam desafios para a mobilidade e segurança viária.

Segundo dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o Amazonas possui uma malha rodoviária de cerca de 8 mil km, sendo que apenas cerca de 800 km são pavimentados. A maior parte das rodovias é formada por vias não pavimentadas, que apresentam dificuldades para o tráfego de veículos, especialmente em época de chuvas intensas.

Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em parceria com o DNIT avaliou o estado das rodovias federais no Estado do Amazonas. O estudo constatou que a falta de manutenção adequada das vias é um dos principais problemas, o que leva à deterioração dos pavimentos. Além disso, a utilização de materiais inadequados na construção dos pavimentos também é um fator que prejudica a durabilidade das rodovias.

O Amazonas apresenta um grande desafio no que diz respeito à pavimentação de suas estradas. Segundo dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), apenas 13,6% das rodovias federais no estado são pavimentadas.

Essa realidade gera uma série de problemas para a economia e a população local. Como destaca a Federação das Indústrias do Estado do Amazonas (FIEAM), a falta de pavimentação dificulta a logística e encarece o transporte dos produtos, prejudicando a competitividade das empresas da região.

Além disso, a precariedade das estradas aumenta os riscos de acidentes e impacta negativamente na qualidade de vida dos moradores de áreas mais afastadas. Como destaca o jornal A Crítica, muitas pessoas têm dificuldade até mesmo para se deslocar até os centros urbanos durante o período chuvoso.

Diante desse cenário, é importante buscar soluções que possam sanar esse problema. Segundo proposta do governo do Amazonas, a ideia é buscar recursos junto ao governo federal para pavimentar cerca de 825 quilômetros de estradas no estado nos próximos anos.

No estudo realizado pela Pesquisa CNT de Rodovias 2021, foram avaliadas as rodovias pavimentadas do país, com avaliações feitas em uma extensão de 109.103 km do total de vias. No levantamento, foi abordado a setorização das rodovias por regiões, e também foram apresentadas as áreas territoriais das regiões brasileiras, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Área territorial e extensão das rodovias pesquisadas no Brasil por Região Geográfica

Região	Área (km ²)	Extensão avaliada - km
Brasil	8.510.345,5	109.103
Norte	3.850.516,3	13.610
Nordeste	1.552.175,4	29.220
Sudeste	924.558,3	30.206
Sul	576.736,8	18.269
Centro-Oeste	1.606.358,7	17.798

Nota: Somatório das rodovias federais, estaduais, municipais pavimentadas, não pavimentadas e planejadas
 Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2021)

Dada a Tabela 2, pode-se observar que a região Norte concentra cerca de 45,24% da área total do país, enquanto as rodovias analisadas correspondem apenas a 12,47% da extensão total percorrida pelo estudo. O que confirma completamente ideia de que o Brasil possui uma malha viária muito precária, não uniforme diante de sua grande extensão e também o fato de que na região Norte a escassez de vias pavimentadas é maior ainda.

Conforme esses dados, avaliando mais especificamente no estado do Amazonas foram estudados 1.018 km de extensão, das quais puderam ser classificadas segundo seu a qualidade de seu pavimento demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do pavimento em km – por Região e UF

Região e UF	Estado Geral					Total
	Ótimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo	
Brasil	36.258	15.875	33.405	17.285	6.280	109.103
Norte	3.338	1.039	4.952	2.399	1.882	13.610
Rondônia	665	299	537	233	164	1.898
Acre	-	10	284	451	605	1.350
Amazonas	-	63	299	341	315	1.018
Roraima	456	197	244	124	124	1.145
Pará	1.008	329	1.418	759	561	4.075
Amapá	102	10	376	30	30	548
Tocantins	1.107	131	1.794	461	83	3.576

Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2021)

A avaliação do Amazonas quanto à qualidade do pavimento dos 1.018 km avaliados pela pesquisa, demonstrou o fato de que nenhum quilometro se enquadrou na classificação de ótimo, enquanto 64,44% das vias se enquadraram nas condições ruim e péssimas.

Este cenário foi um reflexo da falta de gestão e de investimentos na área de infraestrutura rodoviária. Visto que pelos dados levantados na pesquisa da CNT em 2019, o Amazonas já era classificado o pior estado geral da malha viária do Brasil. Neste mesmo ano, ainda foi constatado que devido à precariedade das condições dos pavimentos do estado, o aumento do custo operacional no estado do Amazonas estava em 56,5%, perdendo apenas para o Acre que apresentava 66,3%, salienta-se que a média do Brasil fica classificada em 28,5%.

Em Manaus, a preocupação com o modal rodoviário se faz presente por meio do Plano de Mobilidade Urbana do Município de Manaus, apresentado por sua prefeitura em 2015. Todavia, enquanto as ações voltadas para a mobilidade urbana de pessoas são numericamente expressivas, as orientações para o transporte de cargas, no plano, limitam-se à regulamentação da circulação e estacionamentos nas áreas centrais das cidades. Essa deficiência, em parte, é um reflexo do documento utilizado para a elaboração do referido plano, o Caderno de Referência para Elaboração do Plano de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2015). Acerca deste caderno, Abreu (2015, p.78) aponta que “(...)não são encontrados elementos suficientemente relevantes ao planejamento do transporte de carga(...)”. Considerando tais condições, Abreu (2015) sugere diretrizes com o intuito de complementar as ações referentes ao plano de mobilidade de cargas. Dentre elas, destaca-se a necessidade de uma base de informações sobre o transporte de mercadorias que contemple dados secundários, rotinas de geoprocessamento, contagem volumétrica e pesquisa origem destino de cargas.

Neste plano de mobilidade urbana tem algumas diretrizes importante e referente aos temas abordados neste trabalho dentro da cidade de Manaus, que buscam atingir grandes benfeitorias no cenário atual. Como por exemplo, a Diretriz 4 cita soluções com a premissa de ampliação e reconfiguração da malha viária. Já a Diretriz 8 trata das alternativas e soluções para o tratamento de transportes de cargas e por fim, a Diretriz 9 especifica sobre o plano de reestruturação da mobilidade.

2.5 PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Os pavimentos asfálticos sofrem por processos que degradam as superfícies do pavimento, podendo ser causadas por sobrecargas de veículos, pela frenagem e aceleração, por

falhas durante a execução da pavimentação, pela qualidade do material, dentre outros (RIBEIRO,2017).

A identificação dessas degradações é de fundamental importância para a classificação do estado de uma rodovia. Para isso foi necessário criar uma padronização de elementos técnicos que são necessários à identificação das degradações dos pavimentos flexíveis. Visto essa necessidade da identificação, o DNIT criou normas técnicas, manuais e textos relacionados que permitem nortear a caracterização e realizar posteriormente análises sobre os estados dos pavimentos.

2.5.1 Tipologia e identificação

De acordo com a Norma DNIT 005 TER (2003) Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, os defeitos encontrados nos pavimentos flexíveis podem ser definidos, como:

2.5.1.1 Fenda

São descontinuidades na superfície do pavimento, que conduzem a aberturas de menor ou maior porte, podendo se apresentar como fendas e fissuras (DNIT 005, 2003).

2.5.1.2 Fissura

É uma fenda que possui largura capilar, podendo aparecer nas formas longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via. Somente é perceptível a olho nu a uma distância inferior a 1,50 m. Este tipo de defeito ainda não causa problema funcional no revestimento, por isto não são consideradas graves conforme os métodos de avaliação da superfície (DNIT 005, 2003).

2.5.1.3 Trinca

É um tipo de fenda facilmente visível a olho nu, como é mostrada na Figura 12, com dimensão da abertura superior à da fissura, se subdivide sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada.

Figura 12 – Exemplo de fissuras e trincas



Fonte: CNT (2017)

2.5.1.3.1 Trinca isolada

a) Trinca transversal

Apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via, mostrada na Figura 13. Quando apresentar extensão de até 1 m é denominada trinca transversal curta (TCC) e se tiver a extensão superior a 1 m denomina-se trinca transversal longa. (TTL).

Figura 13 – Exemplo de trinca transversal isolada



Fonte: CNT (2017)

b) Trinca longitudinal

Quando a direção se denota paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 1 m é denominada trinca longitudinal curta (TLC). Quando a extensão for superior a 1 m denomina-se trinca longitudinal longa (TLL), conforme ilustrações na Figura 14.

Figura 14 - Exemplos de trincas longitudinais



Fonte: CNT, 2017

c) Trinca de retração

Mostrado na Figura 15, este tipo de trinca não é oriundo de fenômenos de fadiga, atribui-se aos fenômenos de retração térmica ou do material que compõe o revestimento.

Figura 15 – Exemplo de trinca de retração



FONTE: CNT (2017)

2.5.1.3.2 Trinca interligada

a) Trinca tipo “Couro de Jacaré”

São conjuntos de trincas interligadas que se espalham sem direções preferenciais, formando um aspecto que se assemelha à aparência de um couro de jacaré.

Essas trincas podem apresentar-se com erosão acentuada nas bordas (JE) e sem erosão nas bordas (J), respectivamente nas Figuras 16a e 16b.

Figura 16a - Exemplo de trinca couro de jacaré com erosão nas bordas



Fonte: BERNUCCI et al., (2008)

Figura 16b - Exemplo de trinca couro de jacaré sem erosão



Fonte: CNT (2017)

b) Trinca tipo “Bloco”

É o conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela constituição de blocos com lados bem definidos, podendo ser visualizados na Figura 17a e 17b: com erosão nas bordas (TBE) ou sem erosão nas bordas (TB), respectivamente.

Figura 17a e 17b - Exemplo de trincas em bloco



Fonte: CNT (2017)

2.5.2 Afundamento

É um tipo de deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento do revestimento asfáltico, podendo ser: Plástico ou Consolidação

2.5.2.1 Afundamento plástico

É causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento.

Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local (ALP);

Quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda (ATP), conforme Figura 18.

Figura 18 – Afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP)



Fonte: CNT (2017)

2.5.2.2 Afundamento de consolidação

É uma deformação permanente caracterizada por depressão da superfície de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de soerguimento, conforme Figura 19.

Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local (ALC);

Quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC).

Figura 19 – Exemplos de (a) Afundamento por consolidação em trilha de roda e (b) Afundamento por consolidação localizado



(a)

(b)

Fonte: BERNUCCI et al., (2008)

2.5.3 Ondulação ou Corrugação

São defeitos na forma de ondulações que ocorrem na seção transversal na superfície do pavimento. São diferenciadas pelo comprimento de ondas, sendo as corrugações estabelecidas por centímetros e as ondulações na ordem de metros.

2.5.4 Escorregamento

É ilustrado na Figura 20, dado através de um movimento horizontal do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, se dá pela formação de fendas em forma de meia-lua.

Figura 20 – Exemplos de presença de escorregamento na pista.



Fonte: CNT (2017)

2.5.5. Exsudação

Acontece quando o ligante é excessivo na composição da massa asfáltica, sendo carregado através do revestimento até superfície do pavimento, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Exemplo de exsudação no pavimento



Fonte: CNT (2017)

2.5.6 Desgaste

Ocorre quando o revestimento sofre com o desprendimento de agregados resultado de ações abrasivas dos esforços do tráfego. Pode-se ver um exemplo desta patologia na Figura 22.

Figura 22 – Exemplo de desgaste



Fonte: BERNUCCI et al., (2008)

2.5.7 Panela ou buraco

É uma cavidade que se forma no revestimento asfáltico que possuem dimensões e profundidades variadas, pode afetar a estrutura do pavimento podendo comprometer as demais camadas inferiores provocando a desagregação dessas camadas, mostrados nas Figuras 23 e Figura 24.

Figura 23 – Exemplo de panela profunda, com danos a base



Fonte: CNT (2017)

Figura 24 – Exemplo de panela superficial



Fonte: CNT (2017)

2.5.8 Remendo

É o preenchimento de uma cavidade com novo material asfáltico. pode atingir uma ou mais camadas, é realizado na operação denominada de “tapa-buraco”.

2.5.8.1 Remendo profundo

É a substituição do revestimento de uma ou mais camadas inferiores do pavimento geralmente feito no formato retangular, conforme pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Exemplo de remendo profundo



Fonte: CNT (2017)

2.5.8.2 Remendo superficial

É uma correção da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada de massa asfáltica, como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Exemplo de remendo



Fonte: CNT (2017)

2.6 ASPECTOS DA AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) utiliza diferentes métodos de avaliação de pavimentos. As metodologias fundamentais que servirão de base para os objetivos deste trabalho, destacam-se:

- Avaliação visual - inspeção visual das condições superficiais do pavimento para identificação de deformações, trincas, buracos e outras patologias – DNIT 008 E 009/2003;
- Avaliação funcional - medição da irregularidade longitudinal e transversal do pavimento, utilizando equipamentos como o perfilômetro e o simulador de cargas – DNIT 006/2003;

2.6.1 Avaliação visual

O método de avaliação visual é amplamente utilizado em todo o mundo como uma forma simples e prática de avaliar as condições de pavimentos. Segundo Yildirim et al. (2013), a avaliação visual é uma técnica de baixo custo e fácil aplicação, sendo muitas vezes a primeira etapa em uma avaliação mais detalhada do pavimento.

Segundo a Cartilha de Pavimentação do DNIT (2014), a avaliação visual deve ser realizada em várias seções do pavimento, a fim de identificar variações nas condições superficiais. A cartilha também ressalta a importância de uma boa iluminação e limpeza da superfície para uma avaliação visual mais precisa.

No entanto, é importante ressaltar que a avaliação visual pode apresentar algumas limitações, especialmente em relação à subjetividade do avaliador e à capacidade de identificar defeitos abaixo da superfície. Por esse motivo, a avaliação visual geralmente é complementada por outras técnicas de avaliação, como a avaliação funcional e estrutural.

Segundo Huang et al. (2007), a avaliação visual tem sido utilizada como um método preliminar de seleção de seções de pavimentos para avaliação mais detalhada, e pode ser usada em conjunto com outras técnicas para avaliação de pavimentos. A avaliação visual também é importante para identificar problemas de drenagem, que podem levar a patologias mais graves no pavimento (Wang et al., 2019).

Em resumo, a avaliação visual é um método importante e amplamente utilizado para avaliação de pavimentos, especialmente por sua simplicidade e baixo custo. No entanto, é importante lembrar que a avaliação visual deve ser complementada por outras técnicas de avaliação para uma análise mais precisa e completa do pavimento.

2.6.1.2 DNIT 008/2003 – PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos asfálticos – Procedimento

Esse método de inspeção visual constante representa uma união dos outros métodos de avaliação subjetiva e objetiva da superfície de pavimentos asfálticos, ou seja, dos procedimentos DNIT-007/2003-PRO e DNIT-009/2003-PRO.

Através desta Norma é possível a determinação dos seguintes parâmetros: a) ICPF – Índice da Condição do Pavimento Flexível b) IGGE – Índice de Gravidade Global Expedido c) Porcentagem de área com trincamento (área trincada) d) Nº de Panelas e Remendos e) Porcentagem de área com outros defeitos f) IES – Índice do Estado de Superfície do Pavimento

O processo de avaliação envolve a utilização de um formulário apresentado na página subsequente, que deve ser preenchido por, no mínimo, dois técnicos experientes e o motorista do veículo. O veículo deve ser conduzido a uma velocidade aproximada de 40 km/h no sentido crescente da quilometragem do PNV nas rodovias com duas faixas de tráfego. Em rodovias com pistas duplas, o percurso deve ser realizado na pista esquerda em sentido contrário ao

sentido crescente da quilometragem. Os dados do formulário são registrados geralmente para cada quilômetro percorrido na rodovia, observando-se as divisões necessárias que caracterizam os segmentos homogêneos, como interseções, O.A.E., topografia das regiões, etc.

O ICPF é calculado como a média das notas atribuídas de acordo com os critérios apresentados na Tabela 4 dos conceitos do ICPF.

Tabela 4 - Conceitos de ICF

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	NESECITA DE CONSERVÇÃO ROTINEIRA	5 -4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA - Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 -3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com "panelas" e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 - 2
Ruim	RECAPEAMENTO CO CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2 -1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Restauração do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base.	1 -0

Fonte: DNIT (2006)

O IGGE – Índice da Gravidade Global Expedita é calculado também por intermédio dos dados colhidos no formulário do campo e no formulário de cálculo mostrado.

O IES é avaliado pelo ICPF e IGGE para cada seguimento de acordo com a Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Avaliação de IES

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10		

Fonte: DNIT (2006)

2.6.1.3 DNIT 009/2003 – PRO – Avaliação subjetiva da superfície dos pavimentos asfálticos - Procedimento

Foi desenvolvida uma metodologia para avaliação subjetiva de pavimentos asfálticos baseada na experiência da AASHTO para determinar o V.S.A. (Valor da Serventia Atual), que mede subjetivamente as qualidades de suavidade e conforto de rolamento proporcionado pelo pavimento existente. Para essa avaliação, é atribuída uma média de notas por uma equipe de no mínimo 5 avaliadores que percorrem o trecho rodoviário em questão a uma velocidade próxima ou abaixo da velocidade máxima permitida. O comprimento máximo dos segmentos homogêneos avaliados em uma única direção é de 2 km. O valor do V.S.A. é calculado para cada trecho de acordo com a média das notas de todos os avaliadores, utilizando a fórmula a seguir.

$$V.S.A. = \frac{\sum x}{n}$$

onde:

V.S.A. – valor da Serventia Atual

x - valores da Serventia Atual individuais atribuídos por cada membro de grupo

n - número de membros do grupo de avaliação.

2.6.2 Avaliação funcional

O propósito da avaliação funcional de pavimentos é determinar o grau de deterioração da estrada, por meio da identificação e quantificação dos problemas superficiais que afetam a segurança e o conforto dos usuários. (SILVA, 2008)

A principal característica de um pavimento é o grau de deterioração observado na sua superfície, que pode ser classificado em dois tipos: deformação permanente e degradação superficial. Ambos os tipos de danos resultam na perda de eficácia do pavimento em termos de segurança, conforto e capacidade de rolamento. (CAVALCANTE, 2005)

O manual do DNIT intitulado "Manual de Restauração de Pavimentos Flexíveis", publicado em 2006, apresenta uma metodologia para a avaliação funcional de pavimentos flexíveis baseada na avaliação visual das condições de superfície, avaliação da capacidade de suporte e avaliação da capacidade de drenagem.

2.6.2.1 Avaliação superficial objetiva

2.6.2.1.1 DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos -

Procedimento

A Norma DNIT 006/2003-PRO tem como objetivo principal a apresentação de um índice combinado de falhas, denominado Índice de Gravidade Global (IGG), que é baseado no "Severity Index".

Esse índice foi adaptado pelo Engenheiro Armando Martins Pereira para as condições dos pavimentos brasileiros e leva em consideração a medida das profundidades dos afundamentos nas trilhas de roda, avaliadas a partir das medidas das flechas com treliça de base igual a 1,20 m, além de outras ocorrências.

O efeito da irregularidade longitudinal é avaliado de forma indireta pela dispersão das flechas medidas nas trilhas de roda, expressa por meio da variância determinada em uma análise estatística sobre os valores individuais obtidos em um determinado segmento.

Com base nesses dados, o IGG permite classificar o estado geral de um trecho homogêneo de pavimento, em função da incidência de defeitos de superfície, atribuindo-lhe conceitos variáveis de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do pavimento pelo índice IGG

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

Fonte: DNIT (2006)

Esse índice é um indicador importante das condições do pavimento, pois auxilia na tomada de decisões sobre as intervenções de restauração necessárias para manter ou melhorar a qualidade do pavimento. Dessa forma, a Norma DNIT 006/2003-PRO é fundamental para garantir a segurança e o conforto dos usuários das vias pavimentadas no Brasil.

O método de cálculo do IGG segue uma sistemática que utiliza pesos ou fatores de ponderação para cada evento mensurado, incluindo a frequência relativa de estações com diferentes tipos de defeitos e parâmetros estatísticos relacionados às flechas nas trilhas de roda.

Esses pesos são utilizados para caracterizar a influência de cada evento na qualidade do pavimento. Para implementar esse método, as estações de ensaio devem ser instaladas com um espaçamento de 20 metros, alternando as faixas de tráfego para pistas simples ou na mesma faixa de tráfego, geralmente na externa, para pistas duplas. A superfície de avaliação é delimitada por seções transversais localizadas a 3 metros antes e depois da estação e pelo eixo da pista de rolamento para pistas simples ou pelo eixo de separação de faixa para pistas duplas. Assim sendo, é possível deduzir que cada estação de ensaio corresponde a uma área de 21 m² (6,0 m x 3,5 m). Como resultado, é evidente que o processo envolve a análise de cerca de 15% da área total do pavimento examinado.

Em cada estação de ensaio, um técnico altamente capacitado para identificar os vários tipos de defeitos deve registrar na ficha de campo a configuração da terraplenagem e se cada tipo de falha está presente ou não. Vale ressaltar que a quantidade de cada tipo de defeito em cada estação não será indicada, apenas sua presença será identificada.

Além disso, é necessário utilizar uma treliça de alumínio com uma base de 1,2 m, equipada com uma régua graduada que se move verticalmente em sua região central. O técnico deve medir a deflexão nas trilhas de roda externa e interna, expressa em milímetros. Os dados coletados durante a inspeção serão processados no escritório, começando com a separação dos segmentos com características homogêneas, como a mesma constituição da estrutura (revestimento, base, sub-base e subleito), o mesmo tipo de materiais nas camadas e suas espessuras, a mesma intensidade de tráfego e as mesmas condições climáticas. Em seguida, é preciso determinar a frequência absoluta e relativa das falhas registradas, bem como a média aritmética e a variância (o quadrado do desvio padrão) das deflexões nas trilhas de roda.

Para os eventos observados (defeitos ou medidas estatísticas das flechas), é necessário atribuir um peso ou fator de ponderação que reflita a importância de cada um em relação à serventia do pavimento. Por exemplo, trincas de classe 1 possuem pouco impacto na serventia, portanto recebem um fator de ponderação menor (0,2), enquanto panelas e corrugações, que têm grande influência na serventia, recebem um fator de ponderação maior (1,0).

Ao multiplicar a frequência relativa de cada defeito (bem como a média e a variância das flechas) pelo seu fator de ponderação, obtemos o Índice de Gravidade Individual (IGI) correspondente ao evento, que representa a fração do IGG afetada pelo evento. A soma de todos os valores de IGI resulta no valor do IGG a ser atribuído ao segmento homogêneo.

A sistemática do DNIT 006/2003-PRO possibilita não apenas uma análise das condições do pavimento com base no IGG, mas também uma interpretação detalhada do perfil de falhas em cada segmento homogêneo.

2.7 MANUTENÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O pavimento é constituído de várias camadas transversais que vão distribuir os esforços dos carregamentos dos veículos em geral para o solo. Esta mesma estrutura é indispensável ao transporte rodoviário, tendo em vista que o solo por si só não apresenta as condições necessárias para suportar o tráfego de veículos em uma via períodos extensos.

Para se tomar melhores medidas e determinar qual a melhor forma de intervenção nos pavimentos é necessário que se identifique qual foi a causa da deterioração e também qual o momento certo para intervir, para que se tenha um bom desempenho nos pavimentos através das estratégias de conservação, manutenção, recuperação e reabilitação do pavimento.

Shiavon e Monzoli (2017), salientam que cabe à gerência de pavimentos conceber projetos viários que supram essa deficiência, bem como, ao longo do tempo, determinar as corretas intervenções em sua estrutura a fim de se obter o melhor retorno possível para os recursos investidos. Quando o cuidado com as estruturas viárias é negligenciado, a consequência imediata se apresenta pelo surgimento de defeitos em sua superfície. Oriundos de problemas na concepção, execução, manutenção e acentuados pela ação do tráfego e das intempéries, eles comprometem o funcionamento das vias e põem em risco a segurança daqueles que as utilizam (BERNUCCI et al, 2008).

É possível escolher a estratégia adequada para realizar atividades de manutenção, reabilitação ou reconstrução, utilizando diferentes métodos de avaliação disponíveis.

(MA et al. 2019) classificam as técnicas de manutenção em três categorias: manutenção rotineira, manutenção periódica e manutenção corretiva, enquanto as técnicas de reabilitação são classificadas em quatro categorias: reabilitação superficial, reabilitação estrutural, reabilitação completa e reconstrução.

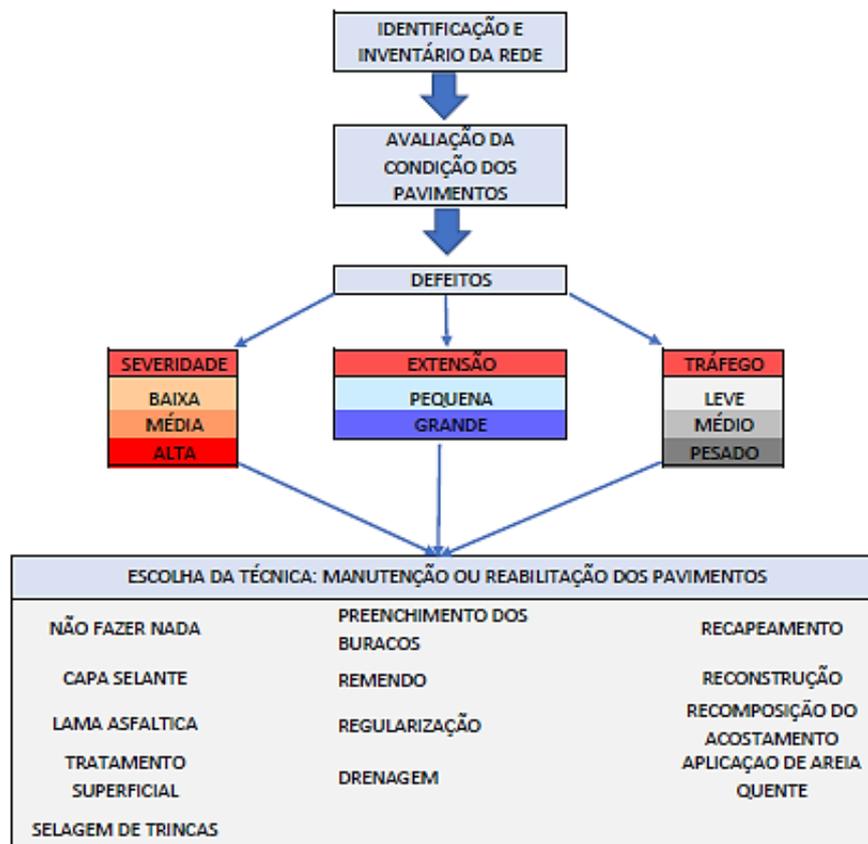
(LU e GAO, 2020) classificam as técnicas de manutenção em quatro categorias: manutenção rotineira, manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção preditiva, enquanto as técnicas de reabilitação são classificadas em quatro categorias: reabilitação superficial, reabilitação estrutural, reabilitação funcional e reabilitação completa.

A ODA (2016) apresenta uma opção simples e eficiente para um método de seleção de estratégias a serem aplicadas na manutenção dos pavimentos, conhecida como: Árvore de Decisão.

2.7.1 ÁRVORES DE DECISÃO

De acordo com (FERNANDES JR. e PANTIGOSO, 1998), ao selecionar atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos, é possível utilizar uma "árvore de decisão" que considera diversos fatores, tais como a gravidade e extensão dos defeitos, além do volume de tráfego - quando este último é um fator que influencia a ocorrência do defeito. Com base nessa análise, são definidas as atividades de manutenção e reabilitação a serem realizadas, de acordo com o estado das patologias, desde as mais leves até as mais críticas conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27: Diagrama sintético do Método da Arvore de Decisões



Fonte: Autoria Própria (2023) – Baseado em Fluxograma SGP. DNIT, 2011.

Conforme ilustrado no diagrama, no processo é realizado o levantamento e identificação do trecho do pavimento. Com os dados coletados, é produzida uma avaliação, a partir de um método previamente determinado, que vai apontar e identificar o tipo dos defeitos observados

e então atribuir uma possível decisão baseado no grau de severidade de cada degradação. O método é simples e muito prático, porque considera fatores de acordo com o tipo de degradação, todavia tem uma limitação, visto que não considera a possibilidade de vários tipos de degradações no mesmo trecho.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O trecho definido para o estudo foi a Av. Rodrigo Otávio em toda a sua extensão, com início no bairro Coroadó seguindo pelo Bairro Japiim e finalizando na Bola da Suframa. A avenida totaliza 4.700 m.

Conforme estabelecido nos objetivos deste trabalho, foi realizada a verificação remota, utilizando-se o aplicativo *Google Earth*[®], que é um programa de computador cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, a partir de imagens de satélite obtidas por fontes diversas, imagens aéreas e 3D.

Para a verificação remota, foi feito uso do aplicativo *Google Earth*[®] no modo *Street View*[®], que permite a busca de imagens aéreas em períodos pré-estabelecidos. Para a melhor organização e registro do levantamento remoto efetivado, foi aplicada a ferramenta “régua” do aplicativo, que propicia a divisão de determinado trecho em uma quantidade determinada de subtrechos. Estes, por sua vez, podem ser destacados por meio da ferramenta “marcador”, que possibilita a inserção de um ícone nos pontos desejados. No item Resultados, será apresentado o mapa visual com a demarcação de todas as estações definidas para avaliação visual do pavimento.

O período mais atualizado verificado no aplicativo foi março de 2020, e devido a esta limitação foi utilizado o ano de 2020 para observação das imagens remotas. Ao término do levantamento remoto, foi executado o levantamento *in loco* no mesmo trecho, levantamento este atualizado para o período de julho a setembro de 2022.

Após isso, houve a escolha, organização e tratamento das imagens capturadas remotamente de acordo com as estações previamente marcadas com auxílio do programa *Google Earth*[®]. O processo de escolha dessas imagens foi definido de forma que o defeito apontado apresentasse a melhor caracterização visual das degradações em cada estação de estudo.

Para o levantamento de campo, por razões de segurança e devido ao tráfego intenso de veículos na Av. Rodrigo Otávio, foi acordado entre o autor do trabalho e seus orientadores que todos os levantamentos seriam realizados prioritariamente de modo visual, e, eventualmente, se houvesse condições seguras para medições mais precisas, essas, seriam executadas posteriormente.

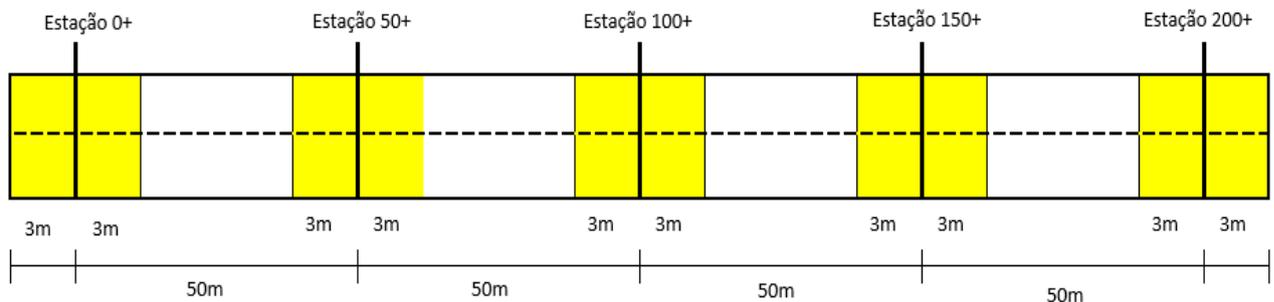
O procedimento *in loco* foi executado por meio de visitas técnicas no trecho estudado. O foco dessas visitas foi a realização do levantamento visual das degradações que ocorrem na

superfície do pavimento, por meio de registros fotográficos e em tabela das degradações observadas.

A captura das imagens foi realizada com o auxílio de um celular da marca Motorola®, modelo Moto G7 Play, com câmera que registra imagens em 13 MegaPixels.

Para efeito de localização e demarcação das superfícies de avaliação, e inventário das ocorrências (degradações), foi estabelecido o seccionamento do montante total em subtrechos de 50 metros, doravante denominadas estações de avaliação. Das quais foram delimitadas em seções transversais 3 metros antes e depois do ponto referencial da estação conforme ilustrado na Figura 28.

Figura 28 – Exemplo de demarcação das áreas de análise por estações



Fonte: Autoria Própria, (2023)

Após o percurso ser seccionado em subtrechos, definiu-se a data de 02/07/2022, no período de 09 às 10:30, para realizar a visita inicial de reconhecimento do trecho. Desta forma, neste dia, foi percorrido cerca de 1.000 m para o reconhecimento dos pontos e as observações a respeito das degradações presentes nas estações previamente demarcadas remotamente e identificadas por pontos fixos de referência.

A segunda visita técnica realizada em 09/07/2022 foi considerada efetivamente o primeiro dia para a execução do levantamento de campo. Os trabalhos iniciaram às 10h e se encerraram às 12h, e o percurso efetivo foi de 1.500 m.

Na terceira visita técnica, em 16/07/2022 das 9:45 às 10:45h, o trecho percorrido foi de 1.550 até 2.800 m da avenida.

Na quarta e última visita técnica, o trecho foi realizado no dia 23/07/2022 das 9 às 10:30h, foi percorrido o trecho de 2.850 a 4.700 m da avenida, sendo o levantamento em campo concluído com sucesso e as informações coletadas foram reunidas as informações das visitas anteriores para a organização, tratamento dos dados e apresentação dos resultados.

Vale ainda salientar que, a princípio, foram determinadas 5 visitas a região, sendo a quinta apenas necessária para coleta de dados e imagens que não ficassem adequados. No caso desta

pesquisa não foi necessária. Também é válido citar que as vistas foram determinadas de acordo com o tempo, recursos e praticidade disponível do autor.

A identificação das degradações no pavimento do trecho escolhido para o estudo foi realizada por meio de verificação visual remota e também *in loco*. Nessa etapa, foi realizado o levantamento e captura dos dados necessários para a identificação das degradações ao longo do percurso do trecho citado.

Para a caracterização das manifestações patológicas dos pavimentos do trecho em pauta, foram utilizados os conceitos e dados contidos na literatura técnica, nas normas do DNIT e outras relacionadas ao estudo proposto.

Quanto a verificação e análise dos impactos na mobilidade urbana provenientes das degradações identificadas na Avenida Rodrigo Otávio, demandados pelo tráfego de veículos de cargas, aplicou-se o método de observação empírica, coletando-se dados do fluxo de veículos de carga que transitam no trecho considerado no estudo para relacioná-lo as degradações instaladas em determinadas estações, realizar um levantamento no percurso da seguinte forma:

- **Definição de pontos de observação** - Foram selecionadas 3 estações de acordo com as degradações estabelecidas para que se pudesse fazer a amostragem de veículos de carga que trafegam na avenida: **Estação 1:** (3°06'05"S/59°58'58"W), **Estação 2:** (3°06'55"S/59°58'57"W) e **Estação 3:** (3°07'32"S/59°58'59"W)

- **Tempo Proposto** - O tempo estabelecido para as observações e amostragem dos veículos de carga nas estações pré-definidas, foi de 15 minutos em horários distintos longo dos 3 dias, para que se resultasse numa amostragem mais realista quanto possível. Neste caso, o critério de escolha de 15 minutos foi definido em comum acordo entre orientado e orientador, com base na viabilidade prática, tempo de execução do trabalho e obter uma representatividade que pode ser considerada satisfatória.

Foram escolhidos 3 dias de observação e em pontos diferentes, para considerar possíveis variações de fluxo. Também, devido a disponibilidade maior de executar as visitas nestes dias, que foram realizadas principalmente pela parte da manhã devido a ideia de coletar dados durante um trânsito em dias e horários considerados mais intensos;

- **Coleta de dados** – Para o procedimento descrito, foram considerados somente a passagem dos veículos de carga e nesse contexto foi registrado o tipo do veículo e a quantidade de eixos deste;

- **Definição das estações para a amostragem dos veículos de carga.**

A estação 1, localiza-se na estação 1100+ que foi observado no dia 16/07/2022 no horário de 9:10 às 9:25, conforme a tabela apresentada no capítulo Resultados.

A estação 2, localiza-se na estação 2750+, realizado no dia 23/07/2022 no horário das 8:45 às 9:00, onde foi observado um fluxo de veículos moderado e foi contabilizado o número de veículos cuja mesma será apresentada na tabela no capítulo Resultados.

A estação 3 localiza-se na estação 4000+, realizado no dia 06/08/2023 no horário das 10:30 às 10:45, onde foi constatado um fluxo de veículos intenso e foi contabilizado o número de veículos conforme apresentado no capítulo Resultados.

Finalmente, serão apresentadas, as projeções e a análise dos resultados obtidos. Para isso, foram apresentados:

- Mapa demarcador do levantamento remoto, e referencial para levantamento de campo;
- Tabela contendo as estações inspecionadas, as degradações observadas no modo remoto e em campo, e, amostras de imagens das degradações observadas de forma remota e em campo;
- Tabela contendo as degradações observadas e agrupadas em trechos de 1.000m, bem como a caracterização das degradações examinadas;
- Análise comparativa entre os resultados obtidos no levantamento remoto e o levantamento em campo.
- Apresentação dos impactos na mobilidade urbana relacionados as degradações identificadas no trecho pesquisado.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Apresentação do mapa

O tipo de rodovia é classificado como pista dupla, ou seja, separados por um canteiro central, onde cada pista tem no mínimo duas ou mais faixas de tráfego de mesmo sentido.

Considerando que o trecho escolhido para estudo envolve a Avenida Rodrigo Otávio em sentido único, optou-se pelo percurso que inicia entre lateral do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e o complexo viário Gilberto Mestrinho, e termina na rotatória do Centro Cultural dos Povos da Amazônia, mais conhecida pelos manauaras como Bola da Suframa, como pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 – Demarcação e seccionamento do trecho de forma remota.



Fonte: Google Earth, (2023) - Adaptado

As estações foram designadas a cada 50 metros, delimitadas por uma seção transversal no eixo da rodovia. Para a realização da identificação visual e inventário das degradações detectadas no trecho compreendido, foi definida a distância de 3 m, no sentido vante e ré das estações para serem analisadas posteriormente.

4.2 Identificação das degradações

Com o aumento constante do tráfego de veículos, as estradas e vias urbanas são submetidas a uma grande carga de tensão e desgaste, o que acelera o processo de deterioração

dos pavimentos. No Brasil, diversas técnicas e ferramentas são utilizadas para a identificação das degradações dos pavimentos, como a análise visual de superfície, a medição de rugosidade e a análise de trincas e fissuras (SOUZA et al., 2016).

Neste estudo, foi realizado a inspeção visual foi realizada via coleta de dados in loco, onde foi registrado um inventário de ocorrências nas estações. Nestes pontos também foram capturadas imagens de todos os defeitos encontrados no trecho.

O trecho ficou dividido em 94 estações, das quais foram catalogadas e observadas a incidência de defeitos na superfície do pavimento. Posteriormente, os registros foram organizados e indicados em um inventário, de acordo com cada estação, como é observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Degradações observadas por estação

ESTAÇÕES	DEGRADAÇÕES OBSERVADAS	FISSURA LONGITUDINAL	FISSURA TRANSVERSAL	TRINCA LONGITUDINAL	TRINCA TRANSVERSAL	TRINCA COURO DE JACARÉ	TRINCA EM BLOCO	PANELA	DESGASTE	EXSUDAÇÃO	REMENDO	AFUNDAMENTO	ESCORREGAMENTO
0	Patologia primária - remendo. Patologias secundárias - fissuras longitudinais curtas, afundamento, trinca couro de jacaré com erosão acentuada nas bordas, escorregamento das bordas	1				1					1	1	1
100+	Panela							1					
150+	Trinca transversal				1								
200+	Fissuras transversais		1										
550+	Trinca em bloco						1						
850+	Panelas; trinca transversal longa, trinca transversal curta; fissuras transversais		1		1			1					
950+	Panela							1					
1150+	Panela							1					
1250+	Fissuras transversais		1										
1300+	Trinca longitudinal longa, trinca couro de jacaré			1		1							
1450+	Trinca couro de jacaré					1							
1500+	Panela							1					
1550+	Fissuras longitudinais curtas	1											
1600+	Remendo										1		
1650+	Escorregamento												1
1700+	Panela							1					
1750+	Remendos, afundamento e trinca transversal curta				1						1	1	
1800+	Trinca em bloco com erosão de borda						1						
1850+	Indícios de trinca couro de jacaré					1							
2050+	Afundamento por consolidação localizado, exsudação									1		1	
2150+	afundamento de consolidação localizado											1	
2250+	Trinca em bloco						1						
2450+	Trincas interligadas couro de jacaré					1							
2600+	Desgaste								1				
3000+	Panela, fissura transversal curta		1					1					
3150+	Trinca longitudinal curta			1									
3200+	Trinca longitudinal curta			1									
3250+	Panelas							1					
3300+	Remendo										1		
3350+	Panelas							1					
3550+	Remendo com afundamento										1		
3600+	Trinca longitudinal longa	1											
4500+	Exsudação									1			
TOTAL		3	4	3	3	5	3	9	1	2	5	4	2

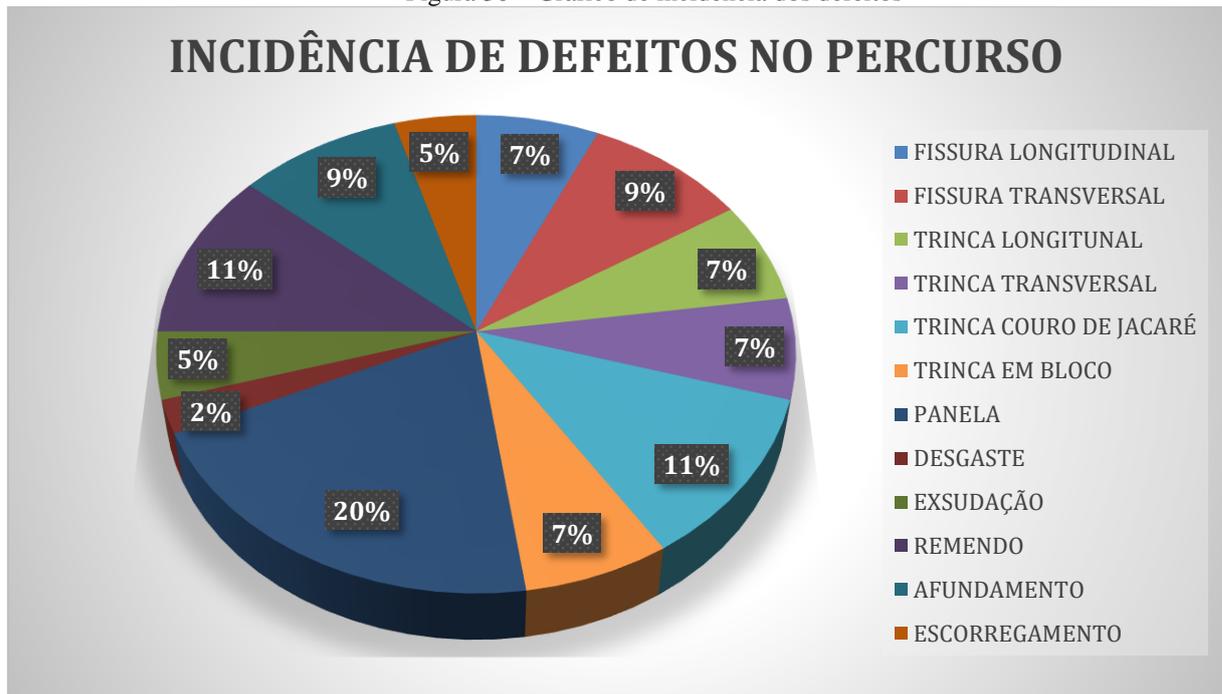
*Obs: As estações que não foram citadas na tabela não apresentaram nenhuma ocorrência constatada.

Fonte: Autoria Própria, (2023)

A constatação dos defeitos não levou em consideração a mensuração das patologias identificadas, visto que o processo ficou inviável a ser realizado. Considerando que o fluxo da Avenida é altamente intenso e perigoso, por motivos de segurança não foi adotada esse processo na metodologia deste estudo.

Desta forma, relacionou-se a incidência dos defeitos em todo o trecho estudado para que pudesse apurar as patologias mais recorrentes, como pode ser observado o Figura 30.

Figura 30 – Gráfico de incidência dos defeitos



Fonte: Autora Própria, (2023)

Como exposto no gráfico, de forma geral, foi apurado uma grande variedade de manifestações patológicas ao longo do trecho estudado. Sendo possível constatar que o defeito de maior incidência no trecho foi as (1) Painéis – 20%, (2) Remendos e Trincas couro de jacaré – 11%. Tais defeitos podem apresentar predominância em relação aos demais devido a diversos fatores, alguns deles serão observados na Tabela 10 nas próximas seções, que vai expor as possíveis causas para determinado tipo de degradação.

A identificação destas manifestações pode indicar que a via está em um estado inicial de degradação, ou seja, pode-se notar que 48% dos defeitos encontrados são defeitos primários, constituídos por fissuras e trincas que no futuro, se não forem tratadas, podem progredir gerando a evolução para patologias mais severas.

É importante ressaltar que a identificação precoce das degradações dos pavimentos pode levar a intervenções mais efetivas e econômicas, reduzindo custos com manutenção e aumentando a vida útil dos pavimentos (BORGES et al., 2019).

Desta maneira, com o auxílio do gráfico nota-se uma tendência de evolução dos defeitos menores para os mais complexos. Com base nessa compreensão, é possível desenvolver um plano de ação mais eficaz e direcionado para o controle das patologias identificadas, além de estabelecer um programa de manutenção preventiva mais estruturado.

Além deste tipo de identificação geral das manifestações, outra forma de se fazer a visualização do cenário das degradações foi realizando um resumo de patologias encontradas por extensão em subtrechos, neste caso, a cada quilômetro. É uma abordagem bastante utilizada na engenharia dos pavimentos, que pode fornecer dados sobre a extensão e intensidade dos defeitos ao longo da via.

Sendo assim, a Tabela 8 vai apresentar uma distribuição dos defeitos para que se possa identificar possíveis trechos que tem maiores recorrências de defeitos e mostrar o quantitativo de incidências encontradas para que se tenha condições de avaliar os trechos mais impactados e afetados nesta investigação.

Tabela 8 – Resumo de defeitos por quilometro inventariado

TRECHO / ESTAÇÃO	OCORRÊNCIA SIM / NÃO	DEFEITO(S)	QUANTIDADE
km 00 a 01 – Est. 0, 100, 150, 200, 550, 850, 950	Sim	Fissura, Panela, Trinca, Remendo, Afundamento, Escorregamento	3F;3P; 3T 1R;1AF; 1E
km 01 a 02 – Est. 1150, 1250, 1300, 1450, 1500, 1550, 1600, 1650,1700, 1750, 1800, 1850,	Sim	Fissura, Panela, Trinca, Remendo, Afundamento, Escorregamento	2F;3P; 6T 2R;1AF; 1E
km 02 a 03 – Est 2050, 2150, 2250, 2450, 2600	Sim	Trinca, Exsudação, Desgaste, Afundamento	2T; 1EX; 1D; 2AF
km 03 a 04 - 3000, 3150, 3200, 3250, 3300, 3350, 3550, 3600	Sim	Fissura, Panela, Trinca, Remendo	2F; 3P; 3T; 2R
km 04 a 05 – Est. 4500	Sim	Exsudação	1EX

Fonte: Autoria Própria (2023)

(SILVA et al., 2019) e (VARGAS et al., 20216) afirma que a divisão em trechos menores fornece uma análise mais precisa para a identificação de pontos mais críticos gerando um melhor direcionamento, monitoramento e controle para tomar ações preventivas em pontos específicos focados em trechos mais problemáticos e que impactam a mobilidade urbana.

Além disso, outro fator no qual o levantamento contribui é no desenvolvimento de um planejamento estratégico fornecendo dados para concentração de recursos e intervenções na tomada de decisões em pontos específicos de forma mais eficiente. (MARQUES et al., 2017)

Neste caso, o trecho km 00 a 01 e km 01 a 02 foram os trechos com maior incidência de defeitos, apresentando respectivamente 12 e 15 constatações e maior variedades observadas. Tal variação pode ser explicada por diversos fatores, (MENDES, 2014) afirma que a ocorrência o fato de ocorrer uma variação na incidência dos defeitos pode ser associada com maior tráfego de veículos pesados e problemas na execução do pavimento durante a construção e além disso, a exposição a condições ambientais específicas e variações nas características do solo ao longo da via também podem afetar a incidência de defeitos. Também existe a possibilidade de que as ações recentes de reparo e manutenção da prefeitura tenham influenciado na evolução dos defeitos em determinadas áreas.

Outro ponto fundamental observado na tabela foi que as maiores incidências de defeitos ocorrem no subtrecho localizado entre km 01 a 02, possivelmente mais evoluído pela movimentação de veículos de carga em alta velocidades, sobrecarga dos veículos e frenagem e aceleração dos veículos. (ZANINELLI et al.,2015).

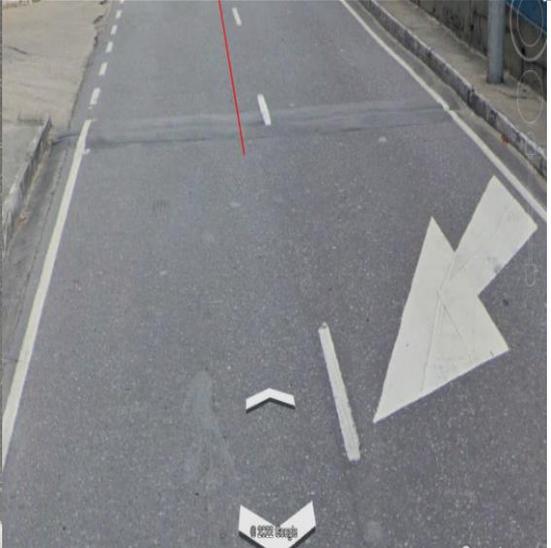
Inclusive durante os registros fotográficos foi verificado que a maioria das manifestações se localizavam na pista de tráfego do lado da borda da via. De acordo com Souza et al. (2013), os trechos do meio da via podem ser mais afetados pelo efeito de borda, que é o fenômeno em que as deformações e tensões induzidas pelos veículos se concentram nas faixas de rolamento mais próximas às bordas do pavimento, resultando em maior deterioração nessas regiões.

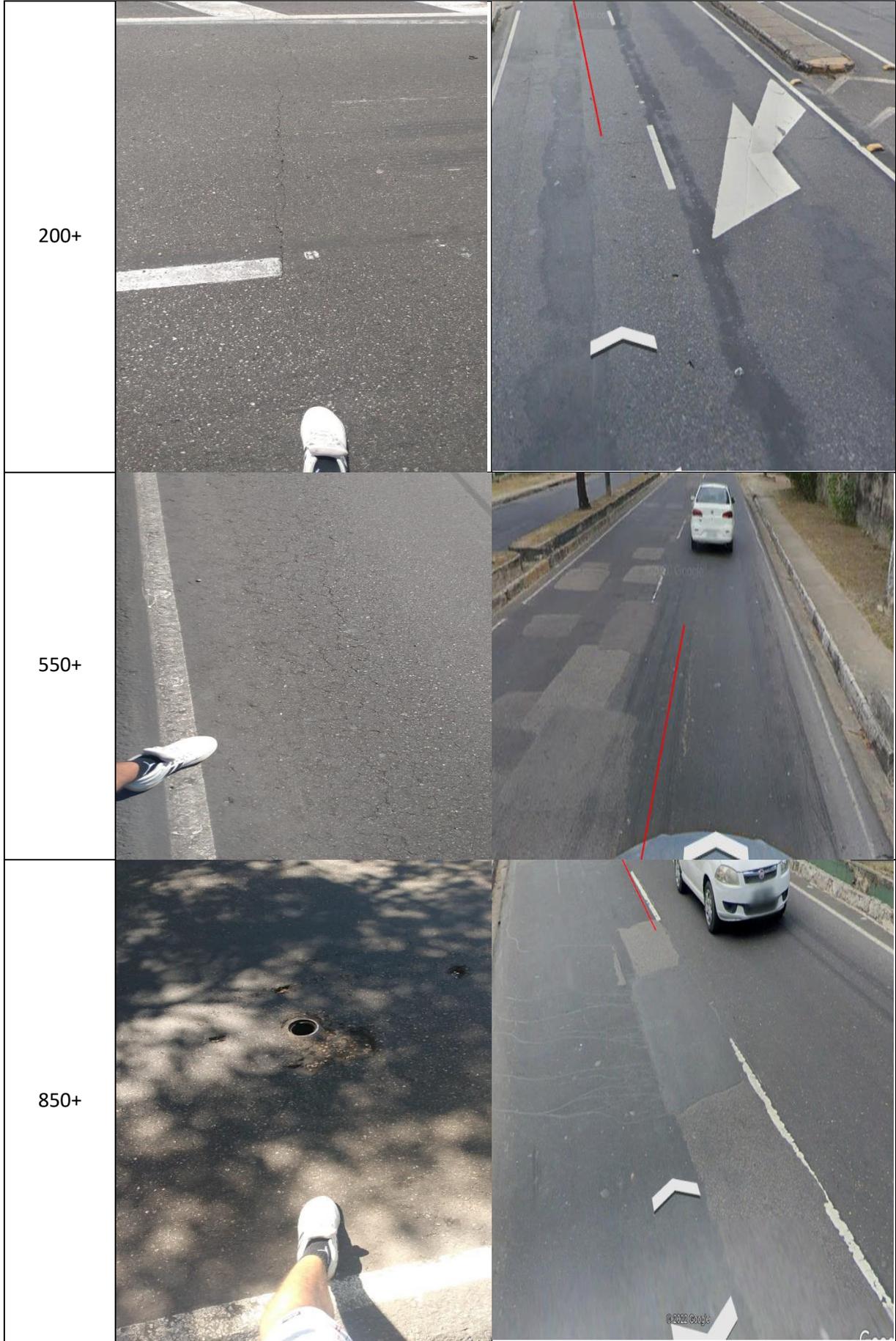
4.3 Método de avaliação superficial do pavimento

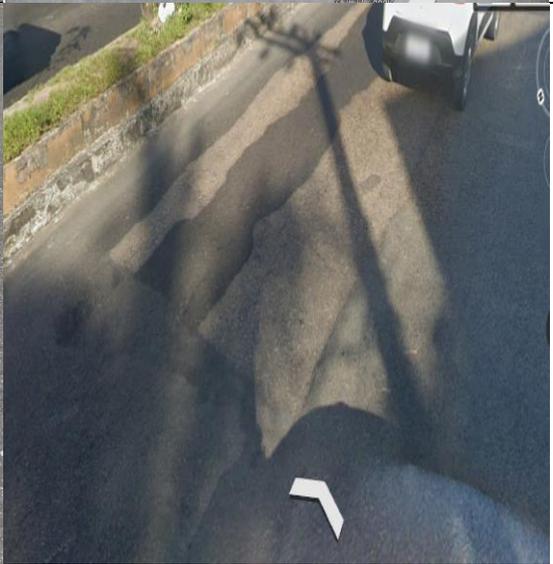
O principal método empregado na avaliação da superfície deste trabalho foi a identificação visual das degradações dos pavimentos causados por veículos de cargas.

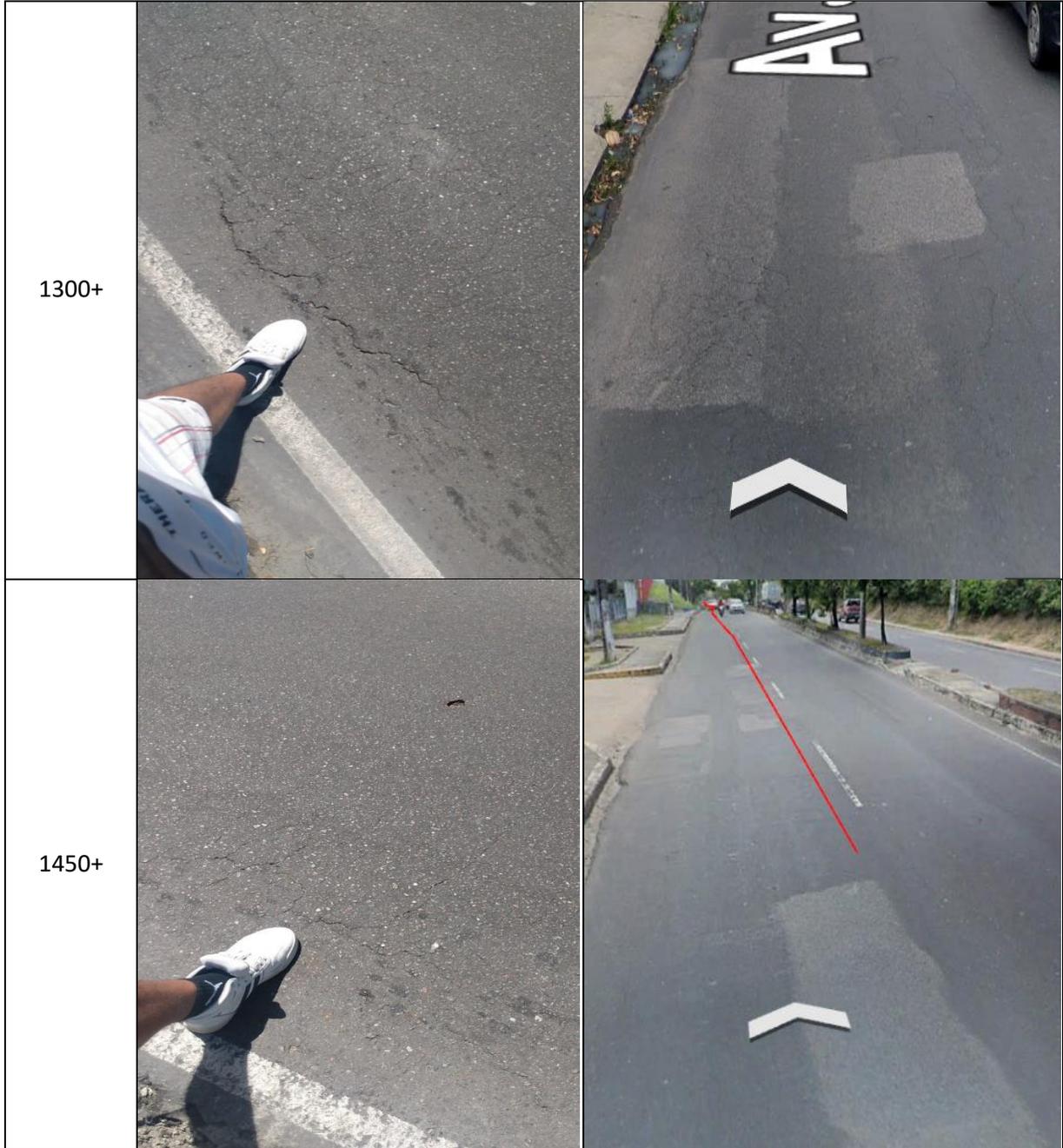
Neste quesito, abordou-se o tema de forma a realizar uma comparação visual entre os dados obtidos remotamente e os dados coletados *in loco*, mostrado na Tabela 9. Atendendo a um dos objetivos do estudo, obteve-se imagens que demonstram o contraste nas estações, a manifestação observada e a evolução dos defeitos entre o ano base do **Google Earth** (2020) e o ano de coleta em campo (2022), ano no qual foram registradas as fotografias a fim realizar uma sucinta consideração.

Tabela 9 – Identificação e inventário dos defeitos na Avenida Rodrigo Otávio

ESTAÇÃO	IMAGEM REAL EM CAMPO	IMAGEM STREET VIEW 2020
0		
100+		
150+		



<p>950+</p>		
<p>1150+</p>		
<p>1250+</p>		



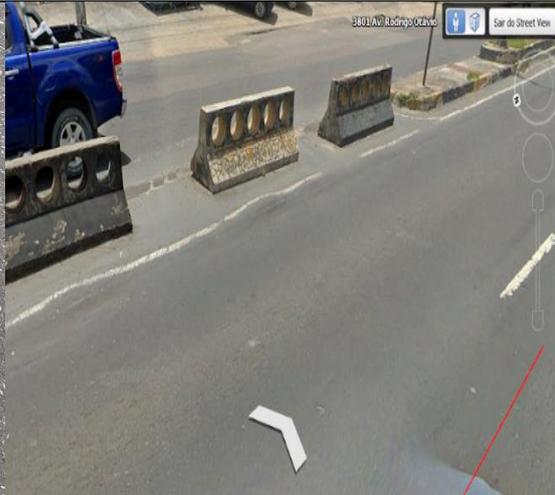
<p>1500+</p>		 <p>54</p>
<p>1550+</p>		
<p>1600+</p>		 <p>© 2022 Google</p>

<p>1650+</p>		
<p>1700+</p>		
<p>1750+</p>		

<p>1800+</p>		
<p>1850+</p>		
<p>2050+</p>		

<p>2150+</p>		
<p>2250+</p>		
<p>2450+</p>		

<p>2600+</p>		
<p>3000+</p>	 	
<p>3150+</p>		

<p>3200+</p>		
<p>3250+</p>		
<p>3300+</p>		

<p>3350+</p>		
<p>3550+</p>		
<p>3600+</p>		
<p>4500+</p>		

Fonte: Autoria Própria, (2023)

Um fator de importância a ser mencionado neste estudo, foi observado que a Avenida passou por um processo de recapeamento na camada de rolamento do pavimento, entre a coleta de dados do ano base do *Street View* e o ano de coleta de campo. Possivelmente executado no ano de 2022, pelo programa “Asfalta Manaus, por meio da Secretaria Municipal de Infraestrutura (Seminf), da Prefeitura de Manaus.

Após a visualização do comparativo da tabela comparativa, pode-se constatar alguns fatos muito interessantes:

- (1) No ano de 2020 a Avenida se encontrava com uma quantidade relativamente expressiva de degradações e até mesmo muitos reparos emergenciais foram executados em operações de manutenção da via e puderam ser observados nas imagens. A possível evolução destas manifestações, justifica a necessidade do recapeamento pelo qual a Avenida passou no ano de 2022. Ou seja, não se pode realizar um comparativo cronológico da Avenida devido a ter sido feito operações de manutenção, porém pode-se entender que tal necessidade foi levada em questão em virtude da má qualidade do pavimento.
- (2) Outro ponto importante é a avaliação da eficácia das intervenções. Por exemplo, pode-se visto muitos processos de recuperação na via, através de remendos, porém se não forem feitos da maneira correta irá resultar em alguns indícios de que defeitos já começaram a surgir nos mesmos pontos onde foram recuperados, indicando ineficiência na correção.
- (3) A comparação pode colaborar a identificar problemas na durabilidade do pavimento, pois se houve um processo de recapeamento, e entre 1 ou 2 anos depois os defeitos já começam a surgir pode indicar falha no método construtivo, execução ou má qualidade do material.
- (4) Os resultados vão também auxiliar na identificação de mudanças significativas, pois ao comparar as imagens pode-se observar se surgiram novos defeitos, se os defeitos se agravaram ou se houve reparos.

Dentre os defeitos apurados e de acordo com autores e literaturas na área da pavimentação, foi organizada a tabela 10, com os defeitos encontrados e as suas possíveis causas.

Tabela 10 – Degradações encontradas e possíveis causas

TIPO DE DEFEITO	POSSÍVEIS CAUSAS
Fendas e Fissuras	<ol style="list-style-type: none"> i. má dosagem do asfalto ii. excesso de finos no revestimento

	iii. compactação excessiva ou no momento inadequado
Trincas (transversal, longitudinal)	i. Junta de construção malfeita; ii. Contração/dilatação do revestimento devido ao gradiente técnico ou envelhecimento do asfalto; iii. Propagação das trincas existentes nas camadas subjacentes, como por exemplo, das bases tratadas com cimento ou juntas de revestimentos rígidos (trincas de propagação)
Trincas interligadas (couro de jacaré e em bloco)	i. “Colapso do revestimento asfáltico devido à repetição das ações do tráfego; ii. Subdimensionamento ou má qualidade da estrutura de uma das camadas do pavimento; iii. Baixa capacidade de suporte do solo; iv. Envelhecimento do pavimento (fim da vida); v. Asfalto duro ou quebradiço” (CNT, 2017, p.85) vi. gradientes de temperatura que diariamente provocam tensões e deformações (bloco)
Afundamento de consolidação	i. Deformação de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito ii. Enfraquecimento dos materiais utilizados abaixo do revestimento iii. Compactação inadequada iv. Problemas de drenagem
Escorregamento	i. Ligação inadequada entre o revestimento e a camada sobre a qual este se apoia (deficiências na imprimação ou pintura de ligação); ii. Limitada inércia do revestimento asfáltico devido à pequena espessura; iii. Compactação deficiente das misturas asfálticas ou da porção superior da camada de base; iv. Fluência plástica do revestimento na ocorrência de altas temperaturas” (DNIT, 2005, p.382).
Exsudação (EX)	i. Excesso de ligante ii. Devido ao calor que dilata o asfalto e deixa o ligante sem espaço
Desgaste (D)	i. Falhas de adesividade ligante-agregado, ii. Presença de água aprisionada e sobreposição em vazios da camada de revestimento, gerando deslocamento de ligante, iii. Deficiência no teor de ligante problemas executivos ou de projeto de misturas (DNIT, 2005).
Panela ou buraco	i. Trincas de fadiga – processo que ocorre devido ao acúmulo das solicitações do tráfego ao longo do tempo ii. Desintegração localizada na superfície do pavimento, deficiência na compactação, iii. Umidade excessiva em camadas de solo e falha na imprimação (DNIT, 2005)
Remendo (R)	i. Excesso da carga de tráfego, ii. Emprego de material de má qualidade, iii. Ação do meio ambiente e má construção.

Fonte: Autoria Própria, 2023 – Baseado no DNIT, (2005)

As causas principais das degradações nos pavimentos flexíveis são diversas e podem variar de acordo com as condições locais, o tipo de tráfego e a qualidade da construção do pavimento. No entanto, algumas causas são comumente identificadas como principais responsáveis pelas deteriorações em pavimentos flexíveis.

De acordo com Souza et al. (2018), a **carga de tráfego**. O estudo destaca que o aumento do tráfego de veículos pesados, como os de carga, contribui significativamente para a deterioração das camadas asfálticas.

Em relação à **fadiga estrutural**, Santos et al. (2019) ressaltam que a aplicação repetida de cargas no pavimento ao longo do tempo é um fator determinante para a sua deterioração, resultando em rachaduras e fissuras no pavimento.

O **envelhecimento do asfalto** é uma causa normalmente observada nas deteriorações dos pavimentos flexíveis, conforme evidenciado por Soares et al. (2017). O estudo destaca que a exposição prolongada aos raios solares, chuva e variações de temperatura provoca o envelhecimento do asfalto, levando à perda de suas propriedades e ao surgimento de rachaduras.

Sobre **deficiências construtivas**, Mendes et al. (2016) destacam que a qualidade da construção do pavimento é fundamental para evitar problemas prematuros de degradação. O estudo resalta a importância de garantir uma espessura adequada, compactação correta das camadas e qualidade da mistura asfáltica durante a execução do pavimento.

Em relação à **manutenção inadequada**, Amaral et al. (2019) afirmam que a falta de manutenção preventiva é um fator agravante para a degradação dos pavimentos flexíveis. O estudo destaca a importância de realizar reparos de rachaduras, trincas e aplicar tratamentos superficiais regularmente para prolongar a vida útil do pavimento.

4.4 Impactos na mobilidade urbana

A mobilidade urbana está amplamente relacionada com o deslocamento das pessoas, é constituída por toda uma estrutura que viabiliza o “ir e vir”, ou seja, ampliar o acesso ao espaço urbano, com o propósito de serem realizadas atividades econômicas e sociais. (GOLLNICK, 2014).

Com este intuito, (KEIB, 2012) afirma que a qualidade da mobilidade pode ser diretamente influenciada pelas políticas de transporte, de trânsito, circulação, acessibilidade e desenvolvimento urbano e uso do solo.

Neste estudo, foi realizado uma pesquisa de amostragem de fluxo de veículos de carga no trecho afim de entendermos a quantidade e intensidade do tráfego no corredor urbano. Foi

determinado um procedimento, conforme explicado com mais detalhes no tópico da metodologia, que se baseou em realizar três amostragens por um período de 15 minutos em dias diferentes. A ideia consistiu em identificar o tipo de veículo, verificar quantos eixos continham, contabilizar o número de veículos que transitaram em nos pontos fixos de observação e entender como ocorre o fluxo nesta via, a Tabela 11 apresenta o quadro obtido nesta pesquisa

Tabela 11 – Amostragem de fluxo de veículos de carga no trecho

Levantamento do fluxo de veículos de carga na Avenida Rodrigo Otávio - Manaus																				
COLETA DE CAMPO	DIA 01 (16/07/2022) - 9:10 até 9:25						DIA 02 (23/07/2022) - 8:45 até 9:00						DIA 03 (06/08 /2022) - 10:30 até 10:45						N° TOTAL DE VEÍCULOS	
TIPOS DE VEÍCULOS	Qty.	N° DE EIXOS DOS VEÍCULOS					Qty.	N° DE EIXOS DOS VEÍCULOS					Qty.	N° DE EIXOS DOS VEÍCULOS						
		2	3	4	5	6 ou +		2	3	4	5	6 ou +		2	3	4	5	6 ou +		
CAMINHÃO BAÚ GRANDE	2	2					3	1				1	1	4	2		2			9
CAMINHÃO BAÚ PEQUENO	6	6					5	4	1					5	4	1				16
CAÇAMBA	1		1				2		2					4	1	3				7
ÔNIBUS	5	4	1											3	2	1				8
MICROONIBUS							3	3						1	1					4
CARRETA SEM CARGA	3		1		2		2					2		3		1		2		8
CARRETA COM CONTEINER	6				2	4	6				4	2		8				5	3	20
CAMINHÃO PIPA							2			2				1			1			3
CAVALO MECANICO							1					1								1
CAMINHÃO GUINCHO							1	1												1
CAMINHÃO CARROCERIA ABERTA	3	1	1			1	2	1	1					3	3					8
CAMINHÃO GUINCHO							1	1												1
CAMINHÃO CARROCERIA ABERTA PEQUENO							2	2						1	1					3
CAMINHÃO MUNCK	1	1																		1
CAMINHÃO ROLL ON ROLL OFF	1	1					2	2												3
CAMINHÃO BETONEIRA	1		1				1		1					2		2				4
TOTAL	29	15	5	0	4	5	33	15	5	2	5	6	35	14	8	3	7	3	97	

Fonte: Autoria Própria, (2023)

Após analisar a tabela, pode-se notar uma certa constância entre o número de veículos nos dias da realização da amostragem. Ou seja, se tirarmos uma média aritmética do total de veículos de carga chega-se a um valor médio de 32,33 veículos. O valor obtido não apresenta desvio muito discrepante da mediana, ou seja, pode ser uma estimativa plausível para o estudo.

Como a pesquisa de campo foi realizada por um período de 15 min, ampliando para 1 hora se tem o quantitativo de aproximadamente 130 veículos circulando pela Avenida em Horário de fluxo mais intenso.

Outra consideração importante a ser citada, é que o trecho é uma rota de ligação com o distrito industrial, ou seja, um corredor muito utilizado no escoamento de mercadorias. Com isso, o tráfego predominante de veículos de carga foi de carretas com contêineres, seguidos por

caminhões baú grandes e pequenos, correspondendo juntos a cerca de 46,39% do total de veículos que transitam no local.

Também foi constatado que os veículos que transitam pela via, são em sua maioria veículos com 2 eixos, representando 45,36% da amostragem. A via sofre um impacto com estes veículos de forma que propicia o surgimento de patologias no pavimento, como deformação permanente, trincas de fadiga e desgaste localizado. A sobrecarga nos eixos dos caminhões gera pressão concentrada em áreas restritas, comprometendo a capacidade estrutural do pavimento.

Além disso, o carregamento repetitivo nessas áreas pode ocasionar trincas de fadiga, enquanto o impacto dos pneus dos caminhões contribui para o desprendimento de agregados e formação de sulcos (OLIVEIRA, 2017)

4.4.1 Impactos nos veículos

A degradação nos pavimentos pode ter um impacto significativo nos veículos de carga que transitam pelas estradas. Esses impactos podem afetar não apenas o desempenho dos veículos, mas também a segurança, a eficiência do transporte e os custos operacionais das empresas de transporte.

Segundo Andrade et al. (2019), as degradações nos pavimentos, como buracos, fissuras e irregularidades, podem causar danos aos veículos de carga. Esses danos podem incluir desgaste excessivo dos pneus, danos nas suspensões, desalinhamento da direção e aumento do consumo de combustível. Um estudo realizado por Martins et al. (2018) em uma rodovia brasileira constatou que os veículos de carga que trafegam em pavimentos degradados apresentaram um aumento de 20% no desgaste dos pneus em comparação com aqueles que trafegam em pavimentos em boas condições.

Além disso, a degradação nos pavimentos também pode levar a um aumento na ocorrência de acidentes envolvendo veículos de carga. De acordo com um estudo realizado por Amaral et al. (2020), a presença de buracos e irregularidades no pavimento pode comprometer a estabilidade dos veículos, aumentando o risco de derrapagens e perda de controle. Esses acidentes podem resultar em danos materiais, lesões e até mesmo perda de vidas.

Em relação aos custos operacionais das empresas de transporte, a degradação dos pavimentos pode gerar gastos extras com manutenção dos veículos e a necessidade de reparos frequentes. Segundo Oliveira et al. (2017), os custos de manutenção dos veículos de carga podem aumentar significativamente quando eles são submetidos a pavimentos degradados. Além disso, o tempo de viagem pode ser prolongado devido a desvios e limitações de

velocidade impostas pela má condição do pavimento, impactando a eficiência do transporte e a entrega de mercadorias.

O impacto econômico no setor dos transportes de carga é exposto também na Pesquisa de Rodovias 2022 (DNIT, 2022) onde é descrito que o custo operacional dos veículos de carga sofre diretamente os impactos devido a degradação das vias. A rentabilidade da empresa sofre significativamente durante a realização dos serviços de transporte de suas mercadorias, a estimativa calculada pelo CNT é de um aumento de 33,1% no custo operacional das transportadoras no Brasil. O aumento gerado pela dificuldade de movimentação de cargas e passageiros no implica no preço final repassado aos consumidores, causando prejuízo tanto para as empresas, quanto para a população.

Já no Estado do Amazonas a situação é ainda mais complexa, devido a baixa qualidade dos pavimentos flexíveis do Estado, escassez de investimentos e planos de ações mais eficiente, o estudo do CNT aponta a estimativa no aumento de custo operacional em um valor de 67,8% relacionado q qualidade do pavimento do Estado.

Diante deste cenário, ações como o monitoramento constante, a realização de reparos preventivos e a implementação de políticas de conservação eficientes podem contribuir para reduzir os impactos nos veículos de carga e garantir uma operação mais segura e eficiente das empresas de transporte.

4.4.2 Impactos na infraestrutura

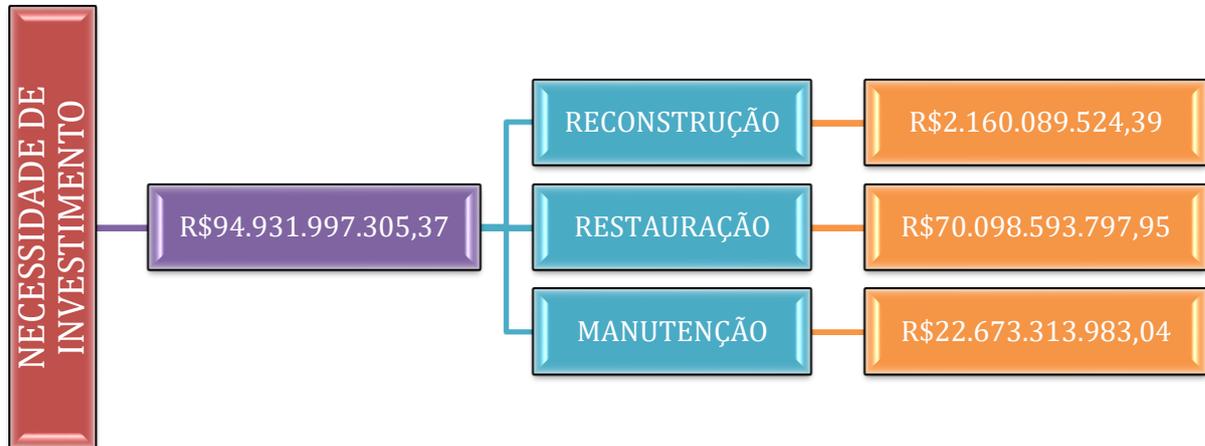
De acordo com o trabalho de Souza et al. (2016), a circulação de veículos de carga é uma das principais causas de degradação dos pavimentos, especialmente nas áreas urbanas e industriais.

Os impactos das patologias nos pavimentos na infraestrutura são diversos. Em primeiro lugar, a presença dessas falhas pode levar a uma redução na capacidade de carga do pavimento, o que significa que ele pode não suportar o tráfego esperado, resultando em restrições de peso ou até mesmo no fechamento da via em casos extremos. Além disso, as patologias podem comprometer a segurança dos usuários da estrada, aumentando o risco de acidentes.

Conforme pode ser observado no estudo da Pesquisa de Rodovias CNT 2022 (Painel de rodovias, 2022) onde se determinou alguns dados e análises das rodovias das quais o estudo CNT englobou, podemos identificar alguns fatores tanto a nível Brasil como para a nível regional no Estado do Amazonas, conforme ilustrado nas Figuras 31 e 32.

BRASIL

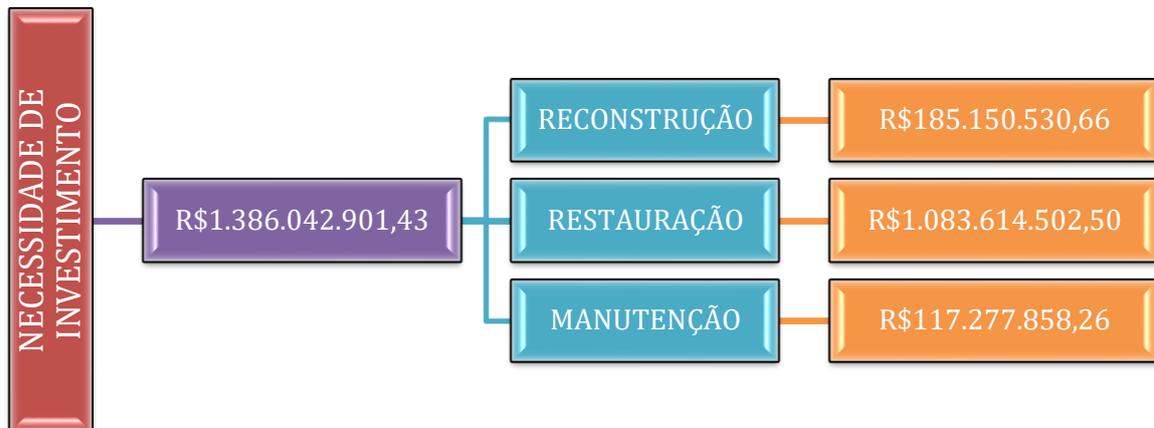
Figura 31 – Necessidade de investimentos nas rodovias brasileiras



Fonte: Painel da Pesquisa CNT de Rodovias, (2022) – Adaptado.

AMAZONAS

Figura 32 – Necessidade de investimentos nas rodovias do Estado do Amazonas



Fonte: Painel da Pesquisa CNT de Rodovias, (2022) – Adaptado.

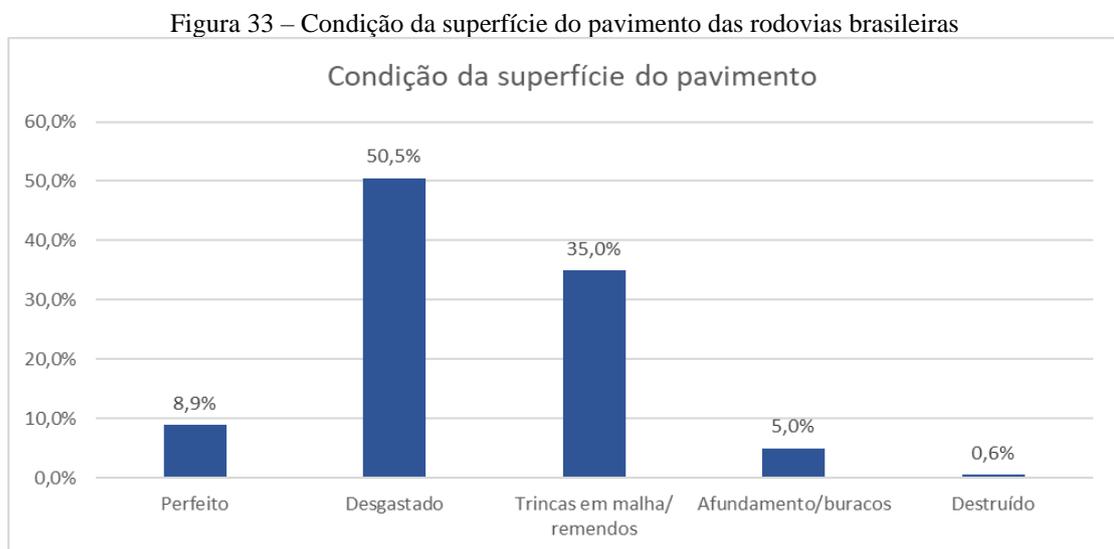
As degradações patológicas dos pavimentos podem comprometer o aumento dos custos com manutenção e a interdição de vias podem causar congestionamento do tráfego e impactar negativamente a mobilidade urbana, como destacado por Motta e Mascarenhas (2018). Por isso é importante que haja o investimento do montante apontado na pesquisa CNT, pois quanto mais o tempo passe sem haver manutenção, mais oneroso se torna o processo de recuperação.

A figura 31 mostra que aproximadamente 95 bilhões de reais deveriam ser gastos nas rodovias do país, sendo que 73,84% deste valor seria destinado apenas a restauração das vias existentes enquanto a manutenção ficaria com 2,26%.

Já no caso do Amazonas, na figura 32 reafirma o cenário nacional, os gastos com restauração ficam por volta de 78,18%, enquanto a verba destinada a manutenção seria de 8,46%.

Diante destes fatos, se reafirma a necessidade de traçar planos de manutenção constante e preventivas nas vias urbanas do país, visto que o custo para restauração e recuperação são bem mais elevados.

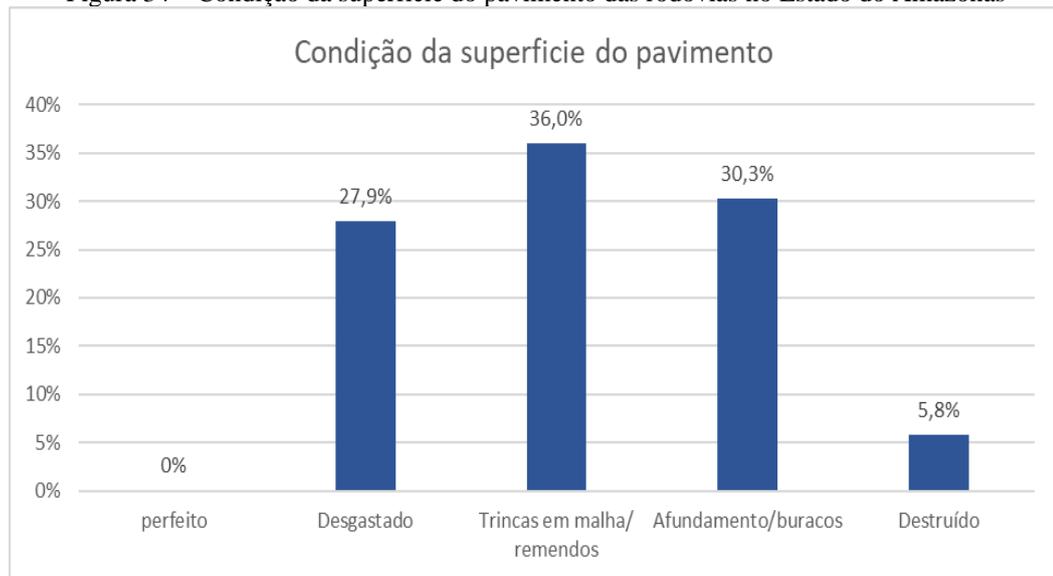
Na figura 33 e 34, está exposto a atual condição da superfície do revestimento asfáltico no cenário brasileiro e no Estado do Amazonas, nestes casos estamos verificando exclusivamente para a camada de rolamento do pavimento.



Fonte: Painel da Pesquisa CNT de Rodovias, (2022) – Adaptado.

Neste caso, existe uma forte presença de manifestações relacionadas a desgastes, trincas em malha e remendos, ou seja, 85,5% da malha pavimentada do país se encontra em estado abaixo, o que justifica a necessidade de investimento citada na Figura 31

Figura 34 – Condição da superfície do pavimento das rodovias no Estado do Amazonas



Fonte: Painel da Pesquisa CNT de Rodovias, (2022) – Adaptado.

Já no Estado do Amazonas a situação é mais agravante, verifica-se claramente que não houve nenhuma via rodoviária que foi classificada como perfeita, os defeitos são tão predominantes que mesmo com trabalhos realizados pela prefeitura de Manaus, as vias não conseguem manter um padrão de qualidade duradouro.

Conforme os dados analisados, as patologias nas vias urbanas, como buracos, desgastes, trincas e afundamentos, resultam em custos elevados para a infraestrutura de transporte. A degradação nos pavimentos também pode levar a um aumento na ocorrência de acidentes envolvendo veículos de carga.

4.4.3 Impacto ambiental

As degradações patológicas nos pavimentos causadas pelos veículos de carga têm um impacto ambiental significativo. Os veículos de carga carregados em excesso podem causar danos ao pavimento, resultando em buracos, rachaduras, fissuras e desgaste prematuro. Essas degradações não apenas prejudicam a estrutura do pavimento, mas também afetam a qualidade do ar e a saúde humana.

Os veículos de carga emitem gases de escape, partículas finas e outros poluentes atmosféricos que afetam a qualidade do ar e podem causar problemas respiratórios em seres humanos e animais. Conforme destaca o estudo de Alves et al. (2018), as emissões de poluentes do tráfego de veículos podem levar a um aumento na incidência de doenças respiratórias em populações urbanas. As degradações nos pavimentos podem agravar ainda mais esse problema,

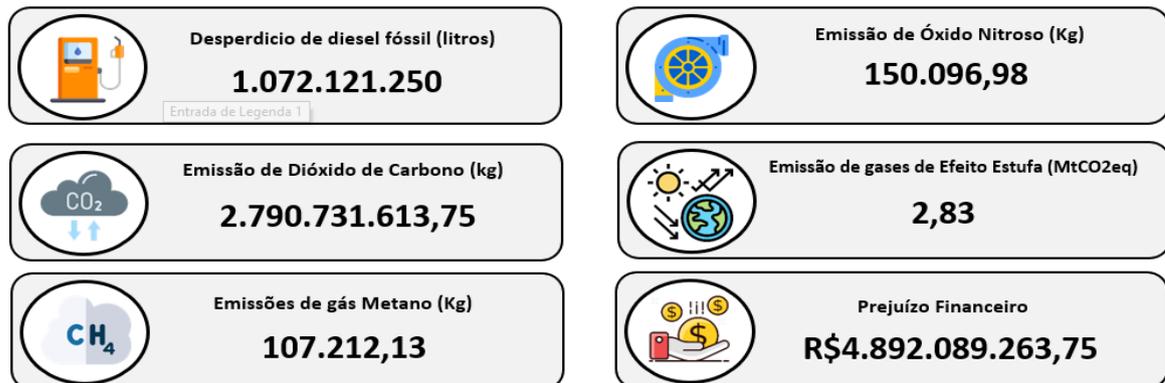
já que poeira e outras partículas finas podem ser levantadas pelos veículos em circulação e acabar afetando a qualidade do ar em áreas residenciais e urbanas próximas.

O consumo de combustíveis fósseis pelos veículos de carga é uma das principais preocupações ambientais. De acordo com Silva et al. (2019), o aumento do tráfego de caminhões de carga contribui para o consumo de grandes quantidades de combustíveis, resultando na emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa.

No que diz respeito à poluição do ar, Souza et al. (2018) ressaltam que os veículos de carga emitem poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio (NOx) e material particulado (MP), que podem ter impactos significativos na qualidade do ar.

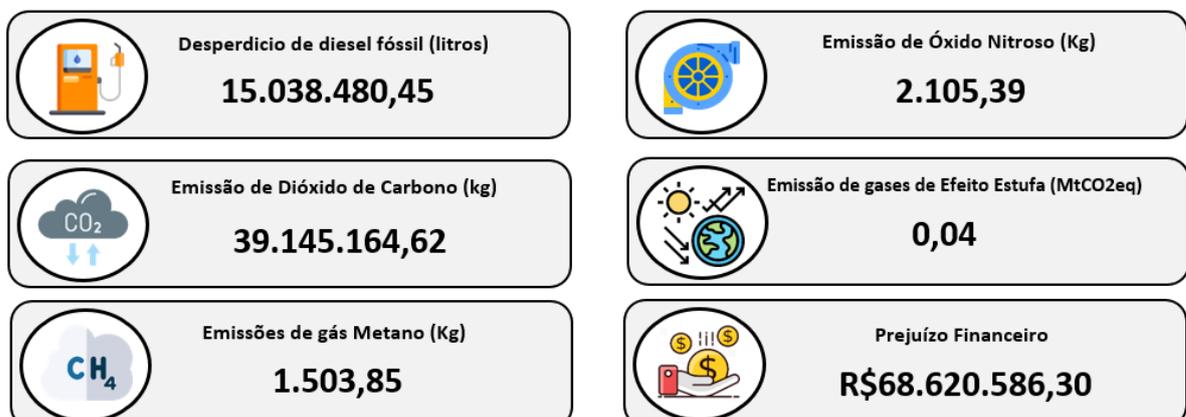
As afirmações são reafirmadas pelo estudo de rodovias da CNT, 2022. Onde foram levantados dados numéricos referente a combustível, emissão de poluentes atmosféricos e prejuízo financeiro, os dados foram lançados na Figura 35 para referenciar o Brasil e na Figura 36 para mostrar em relação ao Estado do Amazonas.

Figura 35 – Impactos ao meio ambiente e financeiro associados a condição do pavimento no Brasil



Fonte: Painel CNT, (2022) – Adaptado

Figura 36 – Impactos ao meio ambiente e financeiro associados a condição do pavimento no Amazonas



Fonte: Painel CNT, (2022) - Adaptado

Com o objetivo de aliviar esses impactos ambientais, são necessárias ações e políticas adequadas. Costa et al. (2020) enfatizam a importância de incentivar a adoção de veículos de carga mais eficientes e menos poluentes, como os veículos elétricos e híbridos. Além disso, estratégias de gestão do tráfego, investimento em infraestrutura adequada e promoção de transportes alternativos, como a intermodalidade, podem contribuir para reduzir os impactos ambientais causados pelo tráfego de veículos de carga.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação dos pavimentos devido ao tráfego de veículos de carga é uma questão de extrema relevância para a mobilidade urbana. Neste trabalho, os objetivos principais da pesquisa foram identificar e caracterizar as patologias do pavimento, comparar os levantamentos remoto e de campo, e avaliar os possíveis impactos na mobilidade urbana.

Ao explorar os impactos do intenso tráfego de veículos de carga nas vias urbanas, foram analisadas as consequências para a infraestrutura rodoviária, para a integridade dos veículos e também os impactos ao meio ambiente. Foi constatado que o grande fluxo de veículos de carga, bem como o deslocamento de veículos com peso excessivo em áreas urbanas, pode acelerar o desgaste dos pavimentos, resultando em buracos, trincas e outras formas de deterioração.

Embora, por motivos de segurança optou-se por não tentar realizar mensurações de manifestações observadas devido ao trânsito intenso, rápido e perigoso, o estudo realizado forneceu informações importantes sobre tipo, características e quantidade das degradações presentes na Avenida Rodrigo Otávio, forneceu também detalhes sobre o fluxo de veículos de carga na região.

Da mesma forma que permitiu comparar a via rodoviária em dois cenários, na visão do *Street View* no ano base de 2020 e em campo no ano de 2022 e observar que se não tivesse acontecido uma intervenção na via, seria possível identificar a evolução das manifestações, porém este fato também justificou a necessidade de uma ação de recuperação na Avenida.

Nesse contexto, ressalta-se a necessidade de políticas efetivas de manutenção e reabilitação dos pavimentos para mitigar os impactos negativos do tráfego de veículos de carga e a implementação de medidas adequadas de manutenção.

Em conclusão, a degradação dos pavimentos causada pelos veículos de carga representa um desafio significativo para a mobilidade urbana. O estudo destaca a importância de estratégias de gestão eficientes, envolvendo manutenção preventiva, reabilitação adequada e controle do tráfego de carga. Somente por meio de abordagens integradas e sustentáveis será possível garantir a durabilidade dos pavimentos, a segurança viária e a qualidade de vida nas cidades.

REFERÊNCIAS

- ABREU, B. R. A. **Diretrizes para elaboração de planos de mobilidade urbana de carga.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2015. 135p.
- ALMEIDA, A. T. de; LAPA, K. C. V. C. C. **Análise do desempenho do pavimento em rodovias.** Revista de Ciências Gerenciais, v. 21, n. 1, p. 23-34, 2017.
- ALVES, José Eustáquio. 2022. **Brasil tem 85% da população vivendo em grandes centros urbanos.** Disponível em: <https://projeto colabora.com.br/ods11/brasil-tem-85-da-sua-populacao-vivendo-em-grandes-centros-urbanos/>. **Acessado em 23 de março de 2023**
- ALVES, L. R. S. et al. **Relação entre poluição do ar e morbidade respiratória em São Paulo.** Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 21, supl. 1, p. 159-173, 2018
- AMARAL, F. P. et al. **Influência da degradação do pavimento na segurança do tráfego rodoviário.** Revista Brasileira de Engenharia de Transportes, v. 7, n. 3, p. 141-153, 2020.
- AMARAL, J. F. et al. **Análise dos principais fatores de degradação de pavimentos flexíveis no Brasil.** In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 2019.
- ANDRADE, C. F. et al. **Impactos da qualidade do pavimento nas operações de transporte rodoviário de carga.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Transportes, 2019.
- ASFALTO PARANÁ, **Buracos em ruas e rodovias podem causar acidentes e prejuízos aos veículos e pedestres,** 2017. Disponível em: <https://asfaltosparana.com.br/buracos-em-ruas-e-rodovias/>
- AVEP BRASIL, **Problemas no caminhão causados por veículos de carga,** 2017. Disponível em: <https://www.avepbrasil.com.br/blog/problemas-no-caminhao-causados-por-buracos-nas-estradas>
- BALBO, J. **Projeto e restauração.** Oficina dos Textos. São Paulo, 2007.
- BERNUCCI, Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros / Liedt.** Cap. 9. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.
- BORGES, L. A. C. et al. **Identificação e classificação de falhas em pavimentos urbanos: estudo de caso na cidade de Uberlândia-MG.** Revista Brasileira de Engenharia Civil, v. 31, n. 1, p. 1-10, 2019.7
- BRASIL. **Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana.** Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana - SeMob, Ministério das Cidades, Brasília, 2015.
- CNI, Portal da Indústria. **Infraestrutura, 2022 – O que é, quais os tipos, seus desafios e prioridades.** Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a->

LU, J.; GAO, R. **Development of a pavement maintenance and rehabilitation decision-making model using fuzzy logic**. International Journal of Pavement Engineering, v. 21, n. 6, p. 739-751, 2020.

MA, Y. et al. **A review on pavement maintenance management optimization modeling**. Journal of Cleaner Production, v. 212, p. 235-251, 2019.

MARQUES, A. S. et al. **Avaliação do estado de conservação do pavimento de rodovias estaduais: estudo de caso**. Revista Transportes, v. 25, n. 3, p. 36-45, 2017.

MARTINS, G. F. et al. **Avaliação do desempenho de pneus de caminhões em função da degradação do pavimento**. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018.

MENDES, A. L. R. et al. **Estudo sobre a influência da qualidade construtiva na durabilidade de pavimentos flexíveis**. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 2016.

MENDES, P. L. **Distribuição de defeitos em pavimentos asfálticos: um estudo de caso em rodovia brasileira**. Revista Transportes, v. 22, n. 1, p. 1-11, 2014.

MOTTA, L. M. G., & MASCARENHAS, F. C. (2018). **The Impact of Pavement Deterioration on Urban Mobility: An Assessment of the Economic Cost in Salvador, Brazil**. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 144(3), 04018002. doi: 10.1061/JTEPBS.0000104

Mundo Educação 2022. **Manaus**. Disponível em: (<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/manaus.htm>). Acessado em 13 de março de 2023

ODA, S. **Apostila Sistema de gerências de pavimentos**, Escola de engenharia de São Carlos, 2016.

OLIVEIRA, D. R. et al. **Impactos financeiros das patologias nas vias urbanas: estudo de caso em uma metrópole brasileira**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Civil, 2019.

OLIVEIRA, E. R. **Estudo do tráfego de veículos pesados em vias urbanas**. Revista Transportes, v. 25, n. 2, p. 111-120, 2017.

OLIVEIRA, J. R. et al. **Avaliação dos custos operacionais do transporte rodoviário de cargas em função da qualidade do pavimento**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Transportes, 2017.

OLIVEIRA, R. A. et al. **Análise comparativa das condições de pavimentos rodoviários brasileiros**. Revista de Pesquisa em Transportes, v. 12, n. 3, p. 53-67, 2018.

PAPPA, Marcia Fernanda; CHIROLI, Daiane Maria. **Mobilidade Urbana Sustentável**. VII EPCC – Encontro Internacional de Produção científica. Maringá – Paraná, 2011.

Pesquisa CNT de rodovias 2019 – **Relatório Gerencial**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte: SEST SENAT, 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 12 de setembro de 2022.

Pesquisa CNT de rodovias 2021 – Brasília: CNT: SEST SENAT, 2021. 231p.: il.color.; mapas gráficos. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acesso em 08 de setembro de 2022.

PREVIDELLI, Amanda. **Trânsito: número de automóveis dobrou nos últimos 10 anos**. Portal EXAME.55. outubro de 2012. Disponível em: <https://exame.com/brasil/transito-numero-de-automoveis-dobrou-nos-ultimos-10-anos/>

PROAUTO, 2022. **Qual o tamanho da malha viária no Brasil e no mundo**. Manaus, 14 de outubro de 2022. Disponível em: <https://www.proauto.org.br/blog/qual-o-tamanho-da-malha-viaria-no-brasil-e-no-mundo/>

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, julho de 2017. ISSN:2448-0959

ROCHA, J. P. et al. **Diagnóstico de patologias encontradas em pavimentos rodoviários flexíveis e semirrígidos**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16 n.30; p. 199. 2019.

RODRIGUES, Juciano Martins. **Frota brasileira cresceu 77% em dez anos. Observatório das Metrôpoles**, Postado em 01 de outubro de 2019. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/noticias/11808/frota-brasileira-de-carros-cresceu-77-em-dez-anos.html>

SANCHES, E. O. et al. **Avaliação da contaminação do solo e das águas causada por substâncias químicas provenientes de pavimentos deteriorados**. In: Congresso Brasileiro de Geotecnia, 2017.

SANTOS, A. S. et al. **Estimativa dos custos das patologias nas vias urbanas: estudo de caso em uma cidade brasileira**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Civil, 2020.

SANTOS, J. R. et al. **Análise de fadiga estrutural em pavimentos flexíveis sob tráfego pesado**. *Revista Brasileira de Transportes*, v. 7, n. 2, p. 95-111, 2019.

SCHIAVON, G. S.; MANZOLI, A. **Avaliação Objetiva e Subjetiva em superfície de pavimento flexível em trecho urbano – Análise da distância entre estações de avaliação em subtrechos homogêneos**. *Rev. Científica Eletrônica Estácio*, Ribeirão Preto, v.10, n.10, p. 01-23. 2017.

SCHIMTZ, Isadora de Medeiros, 2021. **A relação entre a falta de manutenção de rodovias e os acidentes de trânsito**. Disponível em: <https://www.kartado.com.br/a-relacao-entre-a-falta-de-manutencao-de-rodovias-e-os-acidentes-de-transito/>. Acessado em 04 de abril de 2023.

SILVA, A. C. F. et al. **Identificação e caracterização das degradações em pavimentos rodoviários**: estudo de caso. Revista Engenharia Civil, v. 15, n. 1, p. 32-43, 2019.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2º Ed. São PAULO: Pini, 2008

SILVA, R. M. et al. **Impactos ambientais do transporte rodoviário de cargas: uma análise do consumo de combustíveis e emissões de gases de efeito estufa**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Civil, 2019.

SOARES, J. P. et al. **Estudo sobre o envelhecimento do asfalto e suas consequências em pavimentos flexíveis**. In: Congresso Brasileiro de Asfalto, 2017.

SOUZA, A. C. D. et al. **Identificação das principais causas de degradação de pavimentos asfálticos: estudo de caso em uma rodovia do estado do Mato Grosso do Sul**. Revista da Infraestrutura Rodoviária, v. 1, n. 1, p. 41-52, 2016.

SOUZA, D. S. et al. **Avaliação da carga de tráfego em pavimentos flexíveis e sua influência na degradação**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Transportes, 2018.

SOUZA, L. B. et al. **Avaliação do efeito de borda em pavimentos flexíveis**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 3, p. 270-275, 2013.

SOUZA, M. A. et al. **Poluição atmosférica gerada pelo tráfego de veículos pesados em rodovias**. Revista Brasileira de Engenharia de Transportes, v. 7, n. 2, p. 55-70, 2018.

SPERAFICO, Dilceu, 2017. **A falta e má qualidade de pavimentação de estradas brasileiras**. Portal Agência FPA. Paraná, 8 de dezembro de 2017. Disponível em: <https://agencia.fpagropecuaria.org.br/2017/12/08/falta-e-ma-qualidade-de-pavimentacao-de-estradas-brasileiras>. Acessado em 22 de novembro de 2022.

VARGAS, R. M. et al. **Monitoramento e avaliação da deterioração do pavimento em trechos rodoviários**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Civil, 2016.

WANG, C., ZHANG, Y., CHEN, S., & LIU, H. (2019). **Visual inspection and drainage analysis for pavement maintenance: A case study in China**. Sustainability, 11(4), 1098.

Yildirim, I., Baykal, G., & Erdem, D. (2013). **Pavement condition assessment: a review of evaluation methods**. KSCE Journal of Civil Engineering, 17(2), 345-357.

ZANINELLI, D. et al. **Avaliação da distribuição de danos em pavimentos asfálticos de uma rodovia do estado de São Paulo**. Revista Engenharia na Agricultura, v. 23, n. 2, p. 110-119, 201