



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

CHRISTIAN DANIEL NAVEGANTES ROCHA

**AVALIAÇÃO DE TRINCAS POR FADIGA E DEFORMAÇÃO
PERMANENTE EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BAIRRO BATISTA CAMPOS
EM BELÉM/PA: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A CORRELAÇÃO ENTRE O
TRÁFEGO DE ÔNIBUS E O SURGIMENTOS DOS DEFEITOS ESTRUTURAIS.**

BELÉM - PA
2025

CHRISTIAN DANIEL NAVEGANTES ROCHA

**AVALIAÇÃO DE TRINCAS POR FADIGA E DEFORMAÇÃO
PERMANENTE EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BAIRRO BATISTA CAMPOS
EM BELÉM/PA: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A CORRELAÇÃO ENTRE O
TRÁFEGO DE ÔNIBUS E O SURGIMENTOS DOS DEFEITOS ESTRUTURAIIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do
Instituto de Tecnologia da Universidade Federal
do Pará, requisito final para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo
Massulo Aguiar.

BELÉM - PA
2025


CHRISTIAN DANIEL NAVEGANTES ROCHA

AVALIAÇÃO DE TRINCAS POR FADIGA E DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NO BAIRRO BATISTA CAMPOS EM BELÉM/PA: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A CORRELAÇÃO ENTRE O TRÁFEGO DE ÔNIBUS E O SURGIMENTOS DOS DEFEITOS ESTRUTURAIS.


Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Belém, 16 de setembro de 2025.


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO FIGUEIREDO MASSULO AGUIAR**
Data: 23/09/2025 09:24:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar
Orientador – UFPA

Documento assinado digitalmente
 **CHRISTIANE LIMA BARBOSA**
Data: 23/09/2025 09:39:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. Christiane Lima Barbosa
Membro da Banca – UFPA

Documento assinado digitalmente
 **MARCUS VINICIUS GUERRA SERAPHICO DE ASSI**
Data: 23/09/2025 09:16:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Marcus Vinicius Guerra Seraphico De Assis Carvalho
Membro da Banca – UFPA

Aprovado com conceito EXCELENTE, em 16/09/2025.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças pra buscar meus objetivos.

Aos meus pais, Daniel e Kelly, que dedicaram suas vidas em prol da minha. Pelo amor sem medidas e incondicional. Foi tudo por vocês.

Ao meu irmão, Kauan, meu amigo de todas as horas.

Aos meus avós, Antônio e Erni, que sempre estiveram ao meu lado me ensinando a ter fé em Deus e me amando da forma mais pura.

A minha namorada, Melryan, que acalentou meu coração nos momentos de preocupação.

Aos meus amigos, que tornaram os dias dessa caminhada mais fáceis.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar, que me guiou na elaboração desse trabalho.

A todos que me incentivaram nessa jornada e contribuíram para essa conquista, deixo aqui o meu agradecimento.

RESUMO

ROCHA, Christian Daniel Navegantes. **Avaliação de trincas por fadiga e deformação permanente em pavimentos flexíveis no bairro Batista Campos em Belém/PA: uma investigação sobre a correlação entre o tráfego de ônibus e o surgimento dos defeitos estruturais. 2025.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar.

O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo entender a relação entre existência de fluxo de ônibus e o surgimento das trincas por fadiga e deformações permanentes e entre a intensidade do tráfego de ônibus e o a severidade dos defeitos estudados. O estudo realiza uma investigação sobre a correlação entre o tráfego de ônibus e os defeitos estruturais em pavimentos flexíveis no bairro Batista Campos, em Belém/PA, analisando de forma exclusiva as trincas por fadiga e a deformação permanente, dois problemas recorrentes que afetam a durabilidade e a funcionalidade das vias urbanas. A pesquisa utiliza dados coletados por Cardoso e Neves (2023) e segue uma metodologia baseada em análise estatística, incluindo o teste de associação do Qui-quadrado e o coeficiente de correlação linear de Pearson. A pesquisa conclui que, para os testes realizados levando em conta tráfego *versus* trincas por fadiga, não foram encontradas evidências estatísticas de correlação entre as variáveis; para os testes realizados levando em conta tráfego *versus* deformações, o teste evidenciou a existência de correlação positiva, mostrando que existe ligação entre o tráfego de ônibus e o surgimento de deformações permanentes nas vias estudadas. Para correlações realizadas entre severidades baixa, moderada e alta para os Trincas por Fadiga, foram encontradas correlações entre as variáveis, e, para as Deformações Permanentes, não foram encontradas correlações estatísticas significativas.

Palavras-chave:

Tráfego de Ônibus, Trincas por Fadiga, Deformação Permanente, Pavimentos Flexíveis, Índice de Condição de Pavimento (ICP), Análise Estatística, Correlação de Pearson, Teste de Associação do Qui-quadrado, Severidade dos Defeitos, Gestão de Pavimentos.

ABSTRACT

ROCHA, Christian Daniel Navegantes. **Avaliação de trincas por fadiga e deformação permanente em pavimentos flexíveis no bairro Batista Campos em Belém/PA: uma investigação sobre a correlação entre o tráfego de ônibus e o surgimento dos defeitos estruturais. 2025.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar.

This undergraduate thesis aims to understand the relationship between bus traffic flow and the occurrence of fatigue cracking and permanent deformations, as well as to analyze the influence of bus traffic intensity on the severity of these defects. The study investigates the correlation between bus traffic and structural damages in flexible pavements in the Batista Campos neighborhood, in Belém/PA, with a specific focus on two recurrent problems that affect the durability and functionality of urban roads: fatigue cracking and permanent deformation. The research is based on data collected by Cardoso and Neves (2023) and adopts a methodology grounded in statistical analysis, including the Chi-square association test and Pearson's linear correlation coefficient. The results indicate that, for the tests carried out considering traffic versus fatigue cracking, no statistical evidence of correlation between the variables was found. However, for the tests considering traffic versus permanent deformations, the analysis evidenced the existence of a positive correlation, showing that there is a relationship between bus traffic and the occurrence of permanent deformations in the studied roads. Regarding severity, the analyses revealed statistically significant correlations between traffic and the different levels (low, moderate, and high) of fatigue cracking. On the other hand, for permanent deformations, no statistically significant correlations were observed between bus traffic and the severity levels analyzed.

Keywords:

Bus Traffic, Fatigue Cracking, Permanent Deformation, Flexible Pavements, Pavement Condition Index (PCI), Statistical Analysis, Pearson Correlation, Chi-square Test, Defect Severity, Pavement Management.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Sistema de Gerência de Pavimentos	15
2.1.1 Níveis de Análise de um Sistema de Gerência de Pavimentos.....	17
2.2 Método SHRP Para Cálculo do ICP	20
2.2.1 <i>Strategic Highway Research Program (SHRP)</i>	20
2.2.2 Cálculo do Índice de Condição de Pavimento.	23
2.3 Trincas por Fadiga do Revestimento	27
2.4 Deformação Permanente	28
3. MÉTODO	29
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	29
3.2 Descrição do Método	32
3.2.1 Avaliação de Dados Recolhidos por Cardoso e Neves (2023).....	32
3.2.2 Mapeamento de Trechos com a Presença de Trincas por Fadiga e Deformações Permanentes.....	33
3.2.3 Identificação de Fluxo de Ônibus	33
3.2.4 Análise de Dados	34
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	35
4.1 Análise de Dados para Realização de Cálculos	36
4.2 Mapeamento de Trechos com Tráfego de Ônibus e Fluxo.....	38
4.3 Trincas por Fadiga e Deformação Permanente <i>versus</i> Tráfego de Ônibus.....	40
4.4 Trincas por Fadiga e Deformação Permanente <i>versus</i> Número de Linhas de Ônibus.....	46

4.4.1 Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga.....	47
4.4.2 Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Deformação Permanente.....	51
4.5 Considerações Finais.....	55
5. CONCLUSÃO	57
5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um SGP.....	16
Figura 2 - Níveis de análise de um SGP	18
Figura 3 - Fluxograma de funcionamento de um SGP.....	20
Figura 4 - Intervalo para definição de atividades a serem realizadas segundo ICP.....	24
Figura 5 - Planilha para avaliação de pavimentos	25
Figura 6 - Trinca por fadiga.	27
Figura 7 – Deformação permanente.....	28
Figura 8 – Bairro de Batista Campos	30
Figura 9 - Mapa de localização do bairro de Batista Campos.....	31
Figura 10 - Fluxograma do Método	32
Figura 11 - Trechos Avaliados por Cardoso e Neves.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Defeitos do Manual SHRP	21
Tabela 2 – Classificação da Categoria do Índice de condição do Pavimento	26
Tabela 3 - Fluxo de Ônibus no Bairro de Batista Campos.....	31
Tabela 4 - Trechos com Trincas por Fadiga e Deformação Permanente.....	36
Tabela 5 - Quantidade de Trincas por Fadiga por Grau de Severidade	37
Tabela 6 - Quantidade de Vias com Deformação Permanente por Grau de Severidade.....	38
Tabela 7 – Número de Linhas de Ônibus em 67 Trechos.....	40
Tabela 8 – Tabela 2x2 de Correlação entre Tráfego de Ônibus versus Trincas por Fadiga.....	41
Tabela 9 - Tabela de Distribuição do Qui – Quadrado.....	43
Tabela 10 - Tabela 2x2 de Correlação entre Tráfego de Ônibus versus Deformação Permanente	44
Tabela 11 - Valor em Porcentagem para Trincas por Fadiga em 142 Trechos do Bairro de Batista Campos	48
Tabela 12 - Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.....	49
Tabela 13 - Coeficiente de Correlação Linear de Pearson	50
Tabela 14 - Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.....	50
Tabela 15 - Coeficiente de Correlação Linear de Pearson	50
Tabela 16 - Valor em Porcentagem para Deformações Permanentes em 142 Trechos do Bairro de Batista Campos.	52
Tabela 17 - Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.....	53
Tabela 18 - Coeficiente de Correlação Linear de Pearson	54
Tabela 19 - Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.....	54
Tabela 20 - Coeficiente de Correlação Linear de Pearson	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do ICP.....	23
Equação 2 - Cálculo do ICPobj.....	26
Equação 3 - Equação para Teste de Associação do Qui – Quadrado.....	34
Equação 4 – Equação para Coeficiente de Correlação Linear de Pearson...35	
Equação 5 – Equação para Teste de Associação do Qui – Quadrado.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tipos de Via da Malha Viária Estudada.....	38
--	----

1. INTRODUÇÃO

A expansão acelerada das cidades trouxe consigo a necessidade de sistemas de transporte eficazes, tornando o planejamento e a manutenção da malha viária atividades essenciais para o pleno funcionamento das cidades. Nesse sentido, de acordo com Garcia (2020), as vias pavimentadas estão entre os bens públicos de maior importância para diversos países e cidades, então, a Gerência de Pavimentos se apresenta como um instrumento crucial para assegurar a durabilidade e a funcionalidade de ruas e rodovias.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é configurado como um conjunto de procedimentos, técnicas e instrumentos destinados a realizar o auxílio no processo decisório ligado à manutenção, recuperação e conservação de pavimentos. Por meio do SGP, procura-se assegurar uso mais eficaz e lógico dos recursos financeiros, humanos e materiais existentes, garantindo que a infraestrutura viária esteja em condições apropriadas de segurança, conforto e funcionalidade. Ademais, o sistema possibilita a supervisão constante das condições dos pavimentos, fornecendo informações técnicas atualizadas que dão fundamentação ao planejamento e a priorização de intervenções de forma clara e objetiva (DNIT, 2011).

No Brasil, a falta de uma política que priorize a gerência de pavimentos faz com que sejam desperdiçados recursos financeiros, mão de obra e ferramentas (BERTOLLO, 1997). Dentro do contexto Paraense, especificamente na cidade de Belém, o uso do SGP ainda não possui a abrangência necessária para o alcance de uma malha viária de boa qualidade, fazendo com que a visualização de defeitos nas vias seja comum aos usuários do modal rodoviário. Nesse sentido, dois tipos de problemas se sobressaem entre os demais por conta de suas causas, as quais estão relacionadas a estrutura do pavimento: trincas por fadiga e a deformação permanente, os quais estão ligados a estrutura do pavimento e são intensificados pelo alto volume de tráfego e/ou tráfego pesado nas vias.

Segundo Zanchetta (2017), a realização de ações assertivas no período correto, possibilitam a economia de recursos que podem ser investidos em outros setores. Partindo disso, torna-se imprescindível a vistoria desses defeitos nas vias onde estão presentes, para que sejam propostas formas adequadas de abordagem, evitando gastos desnecessários e tornando mais correta a escolha das áreas onde ocorrerão as principais correções. Assim, este trabalho realizará uma análise da ocorrência de trincas por fadiga e deformações permanentes nas vias do bairro Batista Campos, em Belém do Pará, buscando entender a relação entre os defeitos e o tipo de tráfego presente nas vias onde estão dispostos, uma vez que, o bairro possui um tipo de ocupação que concilia, de forma principal, o uso residencial e comercial, sem a presença de um tráfego expressivo de caminhões, então, o fluxo de veículos pesados se concentra, sobretudo, no fluxo de ônibus do transporte público.

O estudo realizado tem como base o trabalho feito por Cardoso e Neves (2023), no qual foram calculados os Índices de Condição de Pavimentos (ICP) de 142 trechos no bairro Batista Campos, em Belém do Pará, utilizando o método do *Strategic Highway Research Program* (SHRP). A monografia usada como base está inserida em linha de pesquisa iniciada por Sousa (2021), na qual realizou a primeira medição de ICPs nas vias do bairro analisado.

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo realizar a avaliação dos dados de trincas por fadiga e deformações permanentes coletados por Cardoso e Neves (2023), a fim de correlacionar a ocorrência de trincas por fadiga e de deformação permanente ao tráfego existente nos quarteirões em que os defeitos estão presentes.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar a relação entre a ocorrência das trincas por fadiga e das deformações permanentes *versus* o tráfego de veículos pesados;
- Correlacionar os defeitos estudados ao tráfego de linhas de ônibus nos trechos catalogados;
- Verificar a relação entre a extensão e severidade das trincas por fadiga e a quantidade de linhas de ônibus que trafegam na via com a presença do defeito;
- Verificar a relação entre a extensão e severidade das deformações permanentes e a quantidade de linhas de ônibus que trafegam na via com a presença do defeito.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

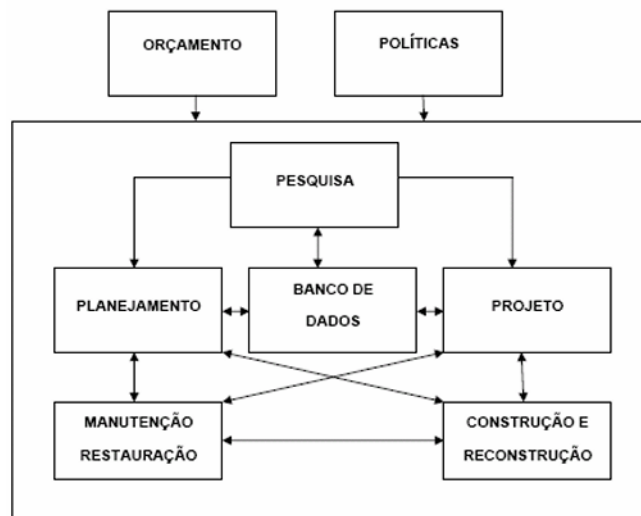
Neste capítulo serão abordadas as principais referências teóricas direcionadas ao Sistema de Gerencia de Pavimentos (SGP): Definição, importância, breve histórico e estrutura do SGP. Serão apresentadas as definições do método SHRP para cálculo do ICP, utilizado por Cardoso e Neves (2023) e, apresentação de definição dos defeitos estruturais de pavimentos analisados na pesquisa.

2.1 Sistema de Gerência de Pavimentos

Segundo o DNIT, um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) compreende um conjunto de procedimentos, técnicas e instrumentos destinados a realizar o auxílio no processo decisório ligado à manutenção, recuperação e conservação de pavimentos. Por meio do SGP, procura-se assegurar a utilização mais eficaz e lógica dos recursos financeiros, humanos e materiais existentes,

garantindo que a infraestrutura viária esteja em condições apropriadas de segurança, conforto e funcionalidade. Ademais, o sistema possibilita a supervisão constante das condições dos pavimentos, fornecendo informações técnicas atualizadas que dão fundamentação ao planejamento e a priorização de intervenções de forma clara e objetiva (DNIT, 2011). Na Figura 1, apresenta-se a estrutura básica de um sistema de gerência de pavimentos:

Figura 1 – Estrutura de um SGP.



Fonte: DNIT (2011)

Segundo Hudson et al (1992, apud Zanchetta, 2017) o Sistema de Gerência de Pavimentos tem como função principais funções a maior eficiência das tomadas de decisão, expandir a abrangência, atualização de dados e realizar providências em vários níveis de tomadas de decisão.

De acordo com Shahin (1994), os pavimentos necessitam ser gerenciados, não somente mantidos. O Sistema de Gerência de Pavimentos é a forma de tornar a administração da malha viária mais presente, tornando mais eficazes ações de intervenção e prevenção.

A questão da Gerência de Pavimentos tem sido discutida ao redor do mundo desde a década de 70, após o desenvolvimento dos primeiros conceitos relacionados ao tema, o que levou ao início da sistematização em órgãos públicos

norte-americanos (HAAS, HUDSON E FALLS,2015 apud SOUSA, 2021). Para Peterson (1987, apud GROSBELLI 2021) as atividades de Gerencia de Pavimentos sempre existiram nas agências de transportes, com a realização das tomadas de decisão, porém, essas decisões podem se diferenciar ao serem tomadas de forma sistematizada ou informal.

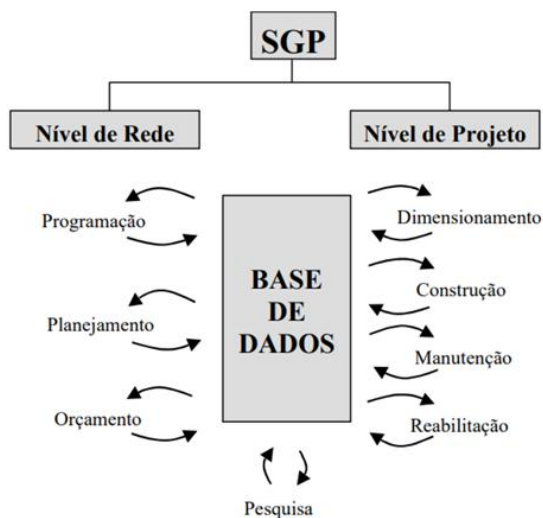
Para Zanchetta (2017), no Brasil ainda é muito baixa a integração entre o poder público e centros de pesquisa, como as Universidades, havendo poucas iniciativas buscando a promoção do SGP. No país, um exemplo positivo da implementação do Sistema de Gerencia de Pavimentos é o da cidade de Anápolis, em Goiás, onde a Prefeitura Municipal da cidade firmou parceria com a EESC/USP.

Por isso, o Sistema de Gerência de Pavimentos desempenha papel fundamental no desenvolvimento econômico, aumento da qualidade de vida e mobilidade urbana, pois ao adotar estratégias de manutenção preventiva e reabilitação das vias a administração pública consegue reduzir elevados custos futuramente (Albuquerque, 2017).

2.1.1. Níveis de Análise de um Sistema de Gerência de Pavimentos

De maneira tradicional existem 2 níveis de análise na Gerência de Pavimentos: Nível de rede e nível de projeto. A Imagem abaixo demonstra os dois níveis de análise e as atividades exercidas em cada um deles.

Figura 2 – Níveis de análise de um SGP.



Fonte: Haas et al. (1994).

O sistema de gerência de pavimentos em nível de rede possui a finalidade de estabelecer uma política de conservação de maior rendimento para a rede viária, levando em consideração o estado da rede, os padrões de qualidade definidos e a capacidade financeira (HAAS et al., 2011).

De forma análoga, Huang (2004) sugere os principais objetivos do nível de rede:

- 1) Gerência em nível de rede:
 - Identificar os pontos em que se necessita de manutenção;
 - Determinar os recursos a serem utilizados;
 - Estabelecer as formas possíveis de financiamento;
 - Determinar os resultados das estratégias no desempenho e utilização do pavimento;
 - Criar o melhor cenário para injeção dos recursos.

Durante a análise em estágio de projeto devem ser realizados estudos e ensaios específicos para avaliar as possíveis causas de deterioração nos pavimentos, de forma que facilite a seleção de estratégias adequadas para o

recondicionamento da malha viária, no contexto da análise técnico-econômica da ocasião (DNIT 2011). Para Huang (2004) os principais objetivos do nível de projeto são:

- 2) Gerência em nível de projeto:
 - Definir necessidade de se construir ou das causas de deterioração da via;
 - Identificar a viabilidade técnica da estratégia de correção;
 - Analisar diferentes formas de correção;
 - Selecionar técnicas eficazes de acordo com a disponibilidade de recursos.

Para Fernandes (2017), para a criação de um sistema de gerência de pavimentos, deve-se, inicialmente, estabelecer as áreas de análise, em razão de alguns aspectos, como o volume de tráfego, o tipo de pavimento, a forma de construção das camadas do pavimento, o tipo de subleito e a conservação do pavimento analisado. Na próxima etapa, deve - se iniciar um levantamento da condição do pavimento, anotando a extensão e a severidade dos defeitos analisados. Baseado na qualidade de preservação do pavimento, pode-se tomar decisões em nível de rede do que realizar nos pavimentos analisados. Após isso, passa-se à análise em nível de projeto, que parte para atividades de manutenção, dimensionamento dos reforços e reconstrução quando necessário. Então, são feitas análises econômicas e de priorização. Na Figura 3 há um fluxograma com o funcionamento de um SGP.

Figura 3 - Fluxograma com funcionamento de um SGP.



Fonte: MAPC (1986).

2.2 Método SHRP Para Cálculo do ICP

2.2.1 *Strategic Highway Research Program (SHRP)*

O manual do *Strategic Highway Research Program (SHRP)*, no português, “Programa Estratégico de Pesquisas Rodoviárias” foi desenvolvido a partir dos estudos sobre o Desempenho de Pavimentos a Longo Prazo (LTPP), desenvolvido pelo Conselho Nacional de Pesquisas dos Estados Unidos. A criação do manual teve o objetivo criar uma base homogênea para o programa e coletar informações sobre os defeitos em pavimentos, possibilitando a padronização da linguagem que especifica diferentes tipos de defeitos (PRESTES 2001).

O SHRP, considera 15 tipos de defeitos, sendo eles caracterizados por sua descrição, níveis de severidade, contendo fotografias para auxílio e a maneira de quantificar sua extensão (FERNANDES JR et al.,1999). De forma semelhante, Ribeiro (2017), o manual é formado por um dicionário que institui tipos de defeitos em pavimentos flexíveis e rígidos, contendo a caracterização dos problemas dos pavimentos, os graus de severidade e a forma de se medir a extensão. Na Tabela 1 mostram-se os 15 defeitos definidos pelo manual SHRP:

Tabela 1 – Defeitos do Manual SHRP.

DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEL DE SEVERIDADE	COMO MEDIR
Trincas por fadiga do revestimento	Áreas submetidas a cargas repetidas de tráfego. Forma: “couro de crocodilo” ou “tela de galinheiro”. Espaçamento inferior a 30 cm	Baixa, Média, Alta	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
Trincas em blocos	Trincas que dividem o pavimento em pedaços aproximadamente retangulares. Tamanho dos blocos: 0,1 a 10 m ²	Baixa, Média, Alta	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
Trincas nos bordos	Apenas para pavimentos com acostamentos não pavimentados. Dentro de uma faixa de 60 cm a partir da extremidade do pavimento	Baixa, Média, Alta	Registrar a extensão afetada (m) para cada nível de severidade.
Trincas longitudinais	Trincas predominantemente paralelas ao eixo, podendo se localizar dentro ou fora das trilhas de roda	Baixa, Média, Alta	Registrar a extensão (m) das trincas longitudinais e os níveis de severidade correspondentes.
Trincas por reflexão	Reflexão de trincas ou juntas das camadas inferiores. Recapeamento ou pavimentos novos (contração da base)	Baixa, Média, Alta	Registrar separadamente as trincas transversais e longitudinais. Registrar nº e extensão das trincas de cada nível de severidade.
Trincas transversais	Trincas predominantemente perpendiculares ao eixo. Severidade de uma trinca: adotar a mais elevada, desde que represente pelo menos 10% da extensão	Baixa, Média, Alta	Registrar nº de trincas, extensão e os níveis de severidade correspondentes.
Remendos	Porção da superfície do pavimento, maior que 0,1 m ² , removida e substituída ou material aplicado ao pavimento após a construção inicial	Função da severidade dos defeitos apresentados pelo remendo	Registrar nº de áreas de remendo e área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
Panelas	Buracos resultantes de desintegração localizada, sob a ação do tráfego e em presença de água	Baixa, Média, Alta	Registrar nº de panelas e área afetada (m ²).
DEFEITO	CARACTERÍSTICA	NÍVEL DE SEVERIDADE	COMO MEDIR

Deformação permanente	Depressão longitudinal nas trilhas de roda, em razão de densificação dos materiais ou ruptura por cisalhamento	Medição de deformação permanente a cada 15m	Registrar a máxima deformação nas trilhas de roda em mm.
Corrugação	Deformação plástica caracterizada pela formação de ondulações transversais na superfície do pavimento	Associados aos efeitos sobre a qualidade do rolamento	Registrar nº de ocorrências e área afetada (m ²).
Exsudação	Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento	Baixa, Média, Alta	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
Agregados polidos	Polimento (desgaste) dos agregados e do ligante betuminoso e exposição dos agregados graúdos	Níveis de polimento associados à redução do coeficiente de atrito	Registrar a área afetada (m ²).
Desgaste	Perda de adesividade do ligante betuminoso e descolamento dos agregados. Envelhecimento, endurecimento.	Baixa, Média, Alta	Registrar a área afetada (m ²) para cada nível de severidade.
Desnível (degrau) entre pista e acostamento	Diferença de elevação entre a faixa de tráfego e o acostamento: camadas sucessivas de revestimento asfáltico; erosão do acostamento não pavimentado; consolidação diferencial.	Medição do desnível (mm) a cada 15m	Registrar o desnível (mm) a cada 15 m ao longo da interface pista-acostamento.
Bombeamento	Saída de água pelas trincas do pavimento sob a ação das cargas do tráfego. Identificação pela deposição, na superfície, de material carreado das camadas inferiores.	Não aplicáveis pois dependem da umidade das camadas inferiores	Registrar nº de ocorrências e extensão afetada (m ²).

Fonte: SOUSA (2021), adaptado.

2.2.2 Cálculo do Índice de Condição de Pavimento

O Índice de Condição de Pavimento (ICP) foi criado para gerar um indicador da integridade estrutural do pavimento e das condições operacionais da superfície, sendo uma ferramenta valiosa para comparar trechos dentro de uma rede viária urbana. Dessa forma, ele se torna de grande relevância para a avaliação de pavimentos em áreas urbanas (BALBO, 1997). O ICP é uma ferramenta segura para se obter informações de grande valia acerca dos pavimentos, permitindo a promoção de ações de manutenção, prevenção e recuperação do pavimento (PÁEZ, 2015). O cálculo do ICP pode ser realizado por meio da Equação 1, demonstrada abaixo, na qual a variável **D_{ij}** é extensão do defeito e **f_{ij}** é fator de ponderação do defeito **i**, com o nível de severidade **j** (INSTITUTO DO ASFALTO, 1989).

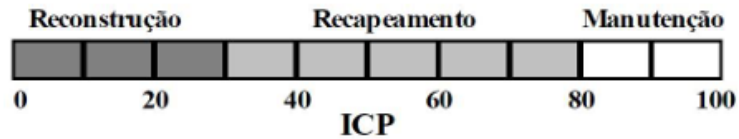
Equação 1- Cálculo do ICP.

$$\text{ICP} = 100 - \sum \sum \text{D}_{ij} \text{f}_{ij} \quad (1)$$

Fonte: Autor, (2025).

O ICP encontrado demonstra de forma quantitativa a condição do pavimento, com base na gravidade e no tipo de defeito. Além disso, o Índice de Condição de Pavimento auxilia na definição das intervenções mais adequadas e no estabelecimento de prioridades para os trechos e serviços necessários. Seguindo esse parâmetro, é possível estabelecer uma hierarquia inicial das ações que devem ser implementadas para se alcançar níveis operacionais, estruturais e de segurança, ao realizar a reconstrução, recapeamento ou manutenção (INSTITUTO DO ASFALTO, 1989). A Figura 4 demonstra o intervalo de avaliação das medidas a serem tomadas, de acordo com o valor obtido no cálculo do ICP.

Figura 4: Intervalo para Definição de Atividades a Serem Realizadas Segundo ICP.



Fonte: INSTITUTO DO ASFALTO, (1989).

Para tornar esse procedimento mais ágil, especialmente quando se trata de grandes áreas, foram desenvolvidos métodos de LVC, cuja coleta ocorre dentro de um veículo em movimento e, a partir disso, são registradas as ocorrências mais relevantes na superfície do pavimento, conforme estabelecido pela norma DNIT 008/2003 – PRO, sendo este o procedimento mais adequado em nível gerencial e de projeto, no que tange aos aspectos relativos aos defeitos de superfície. (Bernucci et al, 2022; DNIT, 2011).

No cálculo do ICP os valores a serem encontrados encontram-se em um intervalo que vai de 0 até 100, no qual o valor 0 indica a pior condição do pavimento e o valor 100 a melhor condição possível. Os defeitos analisados devem ser submetidos a um fator de ponderação, uma vez que alguns influenciam mais do que outros na qualidade do pavimento a ser vistoriado, e os fatores de ponderação devem estar de acordo com as condições operacionais e em relação ao ambiente usado. (FERNANDES et al., 1999). Abaixo está representada a planilha utilizada para quantificação do Índice de Condição de Pavimento:

Figura 5: Planilha para Avaliação de Pavimentos.

PLANILHA PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	
Rodovia ou Rua: _____	Município ou Cidade: _____
Código da Seção: _____	
Extensão: _____	Largura: _____
Tipo de Pavimento: _____	Data: _____
DEFEITOS	AVALIAÇÃO
1. Trincas por Fadiga	0-15 _____
2. Trincas em Blocos	0-5 _____
3. Trincas nos Bordos	0-5 _____
4. Trincas Longitudinais	0-5 _____
5. Trincas por Reflexão	0-5 _____
6. Trincas Transversais	0-5 _____
7. Remendos	0-5 _____
8. Pannels	0-10 _____
9. Deformação Permanente nas Trilhas de Roda	0-15 _____
10. Corrugação	0-5 _____
11. Exsudação	0-5 _____
12. Agregados Polidos	0-5 _____
13. Desgaste	0-5 _____
14. Desnivel Pista - Acostamento	0-5 _____
15. Bombeamento	0-5 _____
Soma dos Defeitos: _____	
Índice de Condição do Pavimento: $ICP = 100 - \text{Soma dos Defeitos}$	
$ICP = 100 -$ _____	
$ICP =$ _____	

Fonte: (adaptada de INSTITUTO DO ASFALTO, 1981).

Zanchetta (2005) sugeriu que a pontuação de cada defeito fosse realizada com base na severidade e extensão dos defeitos, cada uma responsável por 50% da nota. Para severidade, a nota deveria ser determinada pelo maior grau de severidade do defeito encontrado no trecho vistoriado, sendo ponderado por 1/3 para severidade baixa, 2/3 para severidade média e recebendo pontuação integral para severidade alta. A outra metade da nota deve ser considerada para a extensão do grau mais severo do defeito visto, sendo avaliada em pequena, média ou grande, e sendo ponderada nos mesmos critérios da severidade. Os trechos devem ser avaliados separadamente e o resultado obtido pela Equação 2, abaixo demonstrada:

Equação 2 - Cálculo do ICPobj.

$$\text{ICPobj} = 100 - (\text{soma dos defeitos}) \quad (2)$$

Fonte: Zanchetta, 2005), adaptado.

Com base da nota do ICP obtida pode-se classificar o pavimento de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2: Classificação da Categoria do Índice de condição do Pavimento.

Índice de Condição do Pavimento	Categoria do Pavimento
ICP de 100 a 80	Excelente (ótimo)
ICP de 80 a 60	Bom
ICP de 60 a 40	Regular
ICP de 40 a 20	Ruim
ICP de 20 a 0	Péssimo

Fonte: (Chen, 1993), adaptado.

Ao analisar a Planilha para Avaliação de Pavimentos e sua subsequente classificação fica claro que os defeitos estruturais nos pavimentos podem trazer impacto significativo ao cálculo do ICP, uma vez possuem os valores mais elevados na avaliação dos defeitos calculados no método. A relevância do estudo dos defeitos estruturais dos pavimentos também se dá pelo fato de que os problemas da estrutura das vias podem não ser completamente identificados por inspeções visuais superficiais, resultando em uma avaliação imprecisa das condições reais da superfície estudada. (PEREIRA; FERREIRA, 2012).

Nesse sentido, os Tópicos a seguir abordarão mais detalhadamente os conceitos referentes as Trincas por Fadiga e a Deformação Permanente, defeitos que são serão estudados na presente pesquisa.

2.3 Trincas por Fadiga do Revestimento

Segundo o SHRP (1993), as Trincas Por Fadiga do Revestimento ocorrem nas áreas em que ocorrem constantes repetições de carga, ou seja, nas faixas de rodagem. Durante as fases iniciais, pode apresentar uma série de trincas interconectadas, evoluindo para fragmentos com diversos lados e ângulos acentuados, com padrão semelhante a pele de jacaré, se encontrar em estado mais avançado. As Trincas Por Fadiga do Revestimento possuem 3 níveis de severidade:

- BAIXO

Uma área com trincas isoladas, com poucas trincas interconectadas; as trincas não apresentam erosão nos bordos e não há evidência de bombeamento.

- MODERADO

Uma área com trincas interconectadas formando um padrão completo, bordos levemente erodidos, mas ainda não há evidência de bombeamento.

- ALTO

Uma área com trincas interconectadas moderadamente ou severamente erodidas, com padrão evidente; os fragmentos podem se mover sob a ação do tráfego, e o bombeamento pode estar presente.

Figura 6 – Trinca por Fadiga.



Fonte: Autor (2025).

2.4 Deformação Permanente

Segundo o manual SHRP (1993), A Deformação Permanente é um afundamento longitudinal que pode surgir, principalmente, nas trilhas de roda, por conta de um adensamento dos materiais ou ruptura por cisalhamento. O defeito não é categorizado em níveis de severidade, porém, é indicado que, para realizar seu registro, sejam tomadas as medidas de desnível para cada trilha de rodagem.

Apesar da Indicação presente no Manual SHRP, Haas et al. (1994) indica 3 níveis de severidade para o defeito estrutural: Baixo (até 25 mm de desnível), moderado (25 a 50 mm de desnível) e alto (acima de 50 mm de desnível). Também é indicado que as medições das deformações devem ser feitas em intervalos de 20 metros.

Figura 7 – Deformação Permanente.



Fonte: Roadex Network.

3. MÉTODO

Neste capítulo, serão apresentadas as características gerais do meio onde ocorrerá a pesquisa e, também, o método adotado para desenvolvendo do estudo. O procedimento geral será dividido nas seguintes etapas: Avaliação de dados, Mapeamento de trechos com a presença de trincas por fadiga e deformação permanente, identificação do fluxo de linhas de ônibus e análise dos dados de estudo por meio de tratamento estatístico.

3.1. Caracterização da Área de Estudo

O bairro de Batista Campos foi estudado em 2023, por Cardoso e Neves, onde se realizou a hierarquização das vias e mapeamento de 142 trechos viários. Nessa pesquisa, os dados catalogados por Cardoso e Neves (2023) serão utilizados para embasamento. O bairro, pertencente a cidade de Belém, no estado do Pará, abrange área de 1,43 km² e uma população de aproximadamente 20.000 habitantes (IBGE, 2010). A região é marcada pela presença de edifícios residenciais de multipavimentos e estabelecimentos comerciais de diversos gêneros, entre os quais se destaca o shopping Pátio Belém, inaugurado em 1993 como shopping Iguatemi (MADALENO, 2002, apud SOUSA, 2021).

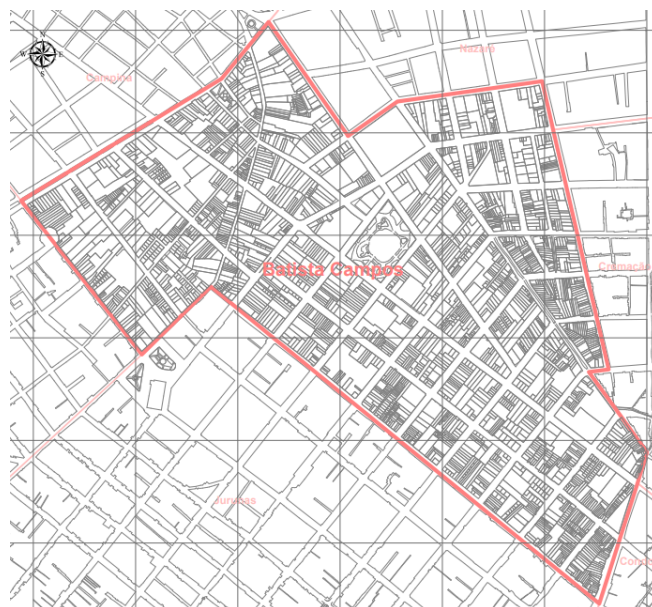
Figura 8 – Bairro Batista Campos.



Fonte: O Liberal (2019).

De acordo com Cardoso e Neves (2023), baseados no Plano Diretor da Cidade de Belém, O sistema viário da região pode ser subdividido em vias estruturais, vias arteriais, vias coletoras e vias locais. Dentro desse conjunto de vias, observa-se o Fluxo de veículos do transporte público (Ônibus) sobretudo nas vias arteriais e coletoras. Abaixo, na Figura 9 é possível visualizar o mapa de localização do bairro de Batista Campos.

Figura 9 – Mapa de Localização do Bairro de Batista Campos.



Fonte: Prefeitura de Belém (2014).

De acordo com Cardoso e Neves (2023), as linhas de ônibus que trafegam pelo bairro de Batista Campos seguem, sobretudo, alguns principais corredores de tráfego. Na Tabela 3 estão apresentados os principais corredores de ônibus do bairro de Batista Campos:

Tabela 3: Fluxo de Ônibus no Bairro de Batista Campos.

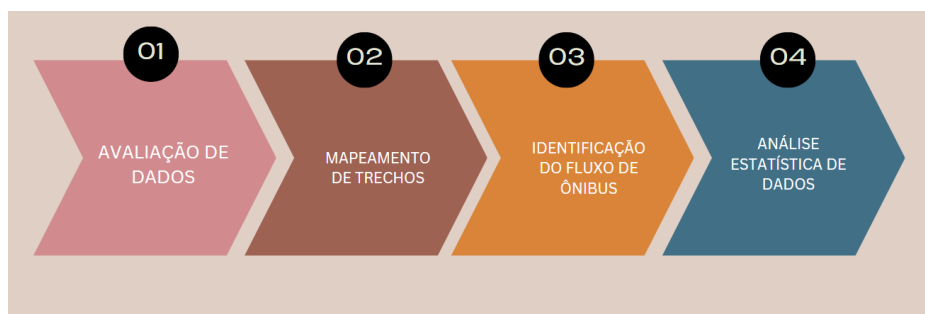
Via	Número de Linhas de Ônibus
Av. Gama Abreu	55
Av. Almirante Tamandaré	37
Av. Padre Eutíquio	35
Av. Gentil Bittencourt	32
Av. 16 de Novembro	26
Av. Conselheiro Furtado	22
Rua dos Mundurucus	21

Fonte: Autor (2025)

3.2. Descrição do Método

Na Figura 10 está apresentado o fluxograma com os passos realizados no estudo. Nos subitens seguintes, cada etapa do fluxograma será detalhada.

Figura 10 - Fluxograma do Método.

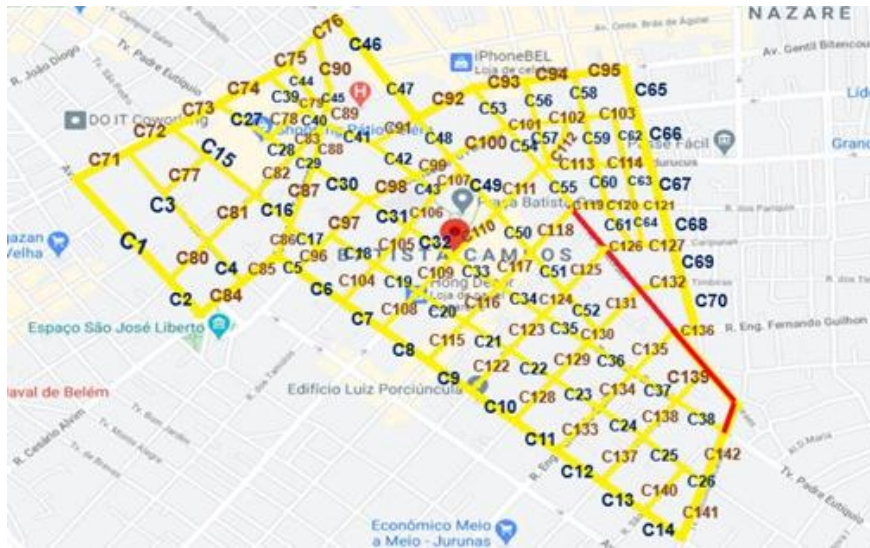


Fonte: Autor (2025).

3.2.1. Avaliação de Dados Recolhidos por Cardoso e Neves (2023)

Seguindo a linha de pesquisa iniciada por Sousa (2021) e continuada por Aihuki (2022), Cardoso e Neves (2023) realizaram a avaliação de 142 trechos no Bairro de Batista Campos, com verificação de defeitos presentes nas vias da malha viária da área estudada e posterior cálculo de ICP, junto a verificação de correlação entre condição de pavimentos e cotas das vias e tipo de via. Nesta etapa, os dados recolhidos em 2023 foram filtrados, e considerados os defeitos estruturais presentes no manual SHRP: Trincas por Fadiga e Deformações Permanentes. A Figura 11 demonstra todos os trechos avaliados por Cardoso e Neves (2023), entre os quais foram desconsideradas as parcelas marcadas em vermelho, por, na avaliação inicial realizada por Sousa (2021), ter sofrido recente atividade de manutenção.

Figura 11 – Trechos Avaliados por Cardoso e Neves (2023).



Fonte: Sousa (2021).

3.2.2. Mapeamento de Trechos com a Presença de Trincas por Fadiga e Deformações Permanentes

Nesta fase, após a definição dos defeitos estudados, serão mapeados, dentro do esquema de trechos definido por Sousa (2021) e catalogados por Cardoso e Neves (2023), as vias com presença de trincas por fadiga e deformação permanente, analisando, assim, os seus graus de severidade e extensão dentro do especificado pelo manual SHRP.

3.2.3. Identificação de Fluxo de Ônibus

Dentro da malha viária do bairro de Batista Campos podem ser identificados vários tipos de intensidade de fluxo de veículos, inclusive, o tráfego de veículos pesados, que, no caso da região estudada, refere-se, sobretudo, ao tráfego de ônibus que realizam o transporte urbano público na cidade de Belém. Nesta etapa será usado o programa MOOVIT, aplicativo de mobilidade urbana que auxilia os usuários com o planejamento de rotas no o transporte público e outros, para realizar

o mapeamento das linhas de ônibus, estabelecimento das vias que possuem esse tipo de tráfego e quantificação do fluxo.

3.2.4. Análise de Dados

Após estudo detalhado em relação a distribuição dos defeitos estruturais estudados na malha viária do bairro de Batista Campos e verificação do fluxo de ônibus nas vias em que estão presentes realizou-se a correlação entre a ocorrência desses problemas nos pavimentos e o tipo de tráfego apresentado nas vias estudadas.

Em alguns casos, as análises serão procedidas considerando que os dados sejam categorizados, por exemplo nível de severidade do defeito (baixa, moderada ou alta) *versus* nível de tráfego (baixo, moderado ou elevado), utilizando-se o teste de associação qui-quadrado.

Equação 3: Equação para Teste de Associação do Qui – Quadrado.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Fonte: Autor (2025).

Na fórmula acima, “ χ^2 ” representa o resultado do teste, “O” representa os valores observados e “E” representa os valores esperados estatisticamente.

Em outras situações, as análises foram procedidas considerando que os dados sejam numéricos, por exemplo área trincada *versus* número de ônibus na hora-pico, utilizando-se técnicas estatísticas como diagramas de dispersão ou correlação linear de Pearson.

Equação 4: Equação para Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

$$r = \frac{\sum(x' y)}{n-1}$$

Fonte: Autor (2025).

Na equação, “r” representa o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, “x” representa a variável x após a padronização dos valores e “y” representa a variável y após a padronização dos valores.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo aborda a análise dos dados coletados por Cardoso e Neves (2023) e realiza a discussão dos resultados obtidos, de forma que sejam feitas correlações e debates a pensamentos de autores anteriormente citados. Por fim, serão apresentadas considerações finais sobre a malha viária analisada e a relação entre os defeitos observados e o tráfego de ônibus no bairro de Batista Campos, em Belém do Pará.

4.1 Análise de Dados para Realização de Cálculos

Fazendo uso do *Software Excel* foi realizada a análise de 142 trechos de via, subdivididos por Sousa (2021) e, posteriormente, estudados por anteriormente por Cardoso e Neves (2023). O filtro realizado entre os dados reunidos em 2023 foi concentrado na presença de Trincas por Fadiga e Deformações Permanentes nos 142 trechos do Bairro de Batista Campos. A tabela 4 mostra os trechos que estão presentes os defeitos estruturais de pavimento avaliados.

Tabela 4: Trechos com Trincas por Fadiga e Deformação Permanente.

TRECHO	TRINCA POR FADIGA	DEFORMAÇÃO PERMANENTE	TRECHO	TRINCA POR FADIGA	DEFORMAÇÃO PERMANENTE	TRECHO	TRINCA POR FADIGA	DEFORMAÇÃO PERMANENTE
C1	SIM	SIM	C49	NÃO	NÃO	C97	NÃO	NÃO
C2	SIM	SIM	C50	SIM	SIM	C98	NÃO	SIM
C3	NÃO	NÃO	C51	SIM	NÃO	C99	NÃO	SIM
C4	SIM	NÃO	C52	SIM	NÃO	C100	SIM	SIM
C5	SIM	SIM	C53	SIM	NÃO	C101	NÃO	NÃO
C6	SIM	NÃO	C54	SIM	NÃO	C102	NÃO	NÃO
C7	SIM	SIM	C55	SIM	SIM	C103	SIM	NÃO
C8	SIM	SIM	C56	SIM	SIM	C104	SIM	NÃO
C9	SIM	NÃO	C57	SIM	NÃO	C105	SIM	NÃO
C10	SIM	SIM	C58	SIM	NÃO	C106	NÃO	NÃO
C11	SIM	SIM	C59	SIM	SIM	C107	NÃO	NÃO
C12	SIM	SIM	C60	SIM	NÃO	C108	SIM	NÃO
C13	NÃO	SIM	C61	SIM	SIM	C109	SIM	NÃO
C14	NÃO	NÃO	C62	NÃO	NÃO	C110	NÃO	NÃO
C15	SIM	NÃO	C63	NÃO	NÃO	C111	SIM	NÃO
C16	NÃO	SIM	C64	SIM	NÃO	C112	SIM	NÃO
C17	SIM	NÃO	C65	SIM	NÃO	C113	SIM	NÃO
C18	NÃO	NÃO	C66	SIM	NÃO	C114	SIM	NÃO
C19	SIM	SIM	C67	NÃO	NÃO	C115	SIM	SIM
C20	SIM	NÃO	C68	SIM	NÃO	C116	SIM	NÃO
C21	SIM	NÃO	C69	SIM	SIM	C117	NÃO	NÃO
C22	SIM	NÃO	C70	SIM	NÃO	C118	NÃO	NÃO
C23	NÃO	SIM	C71	SIM	SIM	C119	NÃO	NÃO
C24	NÃO	NÃO	C72	SIM	SIM	C120	SIM	NÃO
C25	SIM	SIM	C73	SIM	SIM	C121	SIM	SIM
C26	SIM	SIM	C74	SIM	SIM	C122	NÃO	NÃO
C27	NÃO	NÃO	C75	SIM	SIM	C123	NÃO	NÃO
C28	SIM	NÃO	C76	SIM	SIM	C124	NÃO	NÃO
C29	NÃO	NÃO	C77	SIM	NÃO	C125	SIM	NÃO
C30	NÃO	NÃO	C78	SIM	NÃO	C126	SIM	NÃO
C31	SIM	NÃO	C79	SIM	NÃO	C127	SIM	NÃO
C32	NÃO	NÃO	C80	NÃO	NÃO	C128	NÃO	NÃO
C33	SIM	NÃO	C81	NÃO	NÃO	C129	SIM	NÃO
C34	SIM	NÃO	C82	SIM	NÃO	C130	NÃO	NÃO
C35	SIM	NÃO	C83	SIM	NÃO	C131	SIM	NÃO
C36	SIM	NÃO	C84	SIM	NÃO	C132	NÃO	NÃO
C37	SIM	NÃO	C85	NÃO	NÃO	C133	NÃO	NÃO
C38	SIM	NÃO	C86	SIM	NÃO	C134	NÃO	SIM
C39	SIM	NÃO	C87	SIM	NÃO	C135	NÃO	SIM
C40	SIM	NÃO	C88	SIM	NÃO	C136	NÃO	SIM
C41	SIM	NÃO	C89	SIM	NÃO	C137	SIM	NÃO
C42	SIM	NÃO	C90	NÃO	NÃO	C138	SIM	NÃO
C43	SIM	NÃO	C91	SIM	NÃO	C139	SIM	NÃO
C44	SIM	NÃO	C92	SIM	NÃO	C140	NÃO	NÃO
C45	SIM	NÃO	C93	NÃO	SIM	C141	NÃO	NÃO
C46	NÃO	SIM	C94	SIM	SIM	C142	SIM	NÃO
C47	SIM	SIM	C95	SIM	NÃO	TOTAL	98	38
C48	SIM	NÃO	C96	SIM	NÃO			

Fonte: Autor (2025).

A tabela 4 mostra que, entre os 142 trechos estudados, 98 apresentam Trincas por Fadiga e 38 Possuem a presença de Deformação Permanente. De acordo com o Manual SHRP (1993), as Trincas por Fadiga do Pavimento possuem 3 níveis de severidade: Baixo, Moderado e Alto. A análise realizada Cardoso e Neves (2023) identificou que, entre os 98 trechos que possuem as Trincas por Fadiga, existe a divisão entre os três graus de intensidade possíveis, essa relação está apresentada na tabela 5.

Tabela 5: Quantidade de Trincas por Fadiga por Grau de Severidade.

TRINCAS POR FADIGA		
NÍVEL DE SEVERIDADE		
BAIXA	MODERADA	ALTA
47	32	19

Fonte: Autor (2025).

As Trincas por Fadiga do Pavimento de severidade baixa estão presentes em maior quantidade, observadas em 47 trechos diferentes; a segunda severidade mais vista é a moderada, que se apresenta em 32 trechos distintos; a menos observada é a Trinca por Fadiga de severidade alta, que é percebida em 19 trechos. Respectivamente, os três graus de severidade estão presentes em 47,95%, 32,65% e 19,38% das vias onde estão presentes as Trincas por Fadiga do Pavimento.

O Manual SHRP (1993) indica que o defeito estrutural de pavimentos Deformação Permanente não é categorizado em níveis de severidade. No entanto, Haas et al. (1994) recomenda em sua pesquisa a subdivisão da severidade do defeito em três níveis de severidade: Baixo (até 25 mm de desnível), moderado (25 a 50 mm de desnível) e alto (acima de 50 mm de desnível). Cardoso e Neves (2023) observaram que, entre os 142 trechos vistoriadas, 38 apresentam Deformação Permanente Como pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6: Quantidade de Vias com Deformação Permanente por Grau de Severidade.

DEFORMAÇÃO PERMANENTE		
NÍVEL DE SEVERIDADE		
BAIXA	MODERADA	ALTA
23	12	3

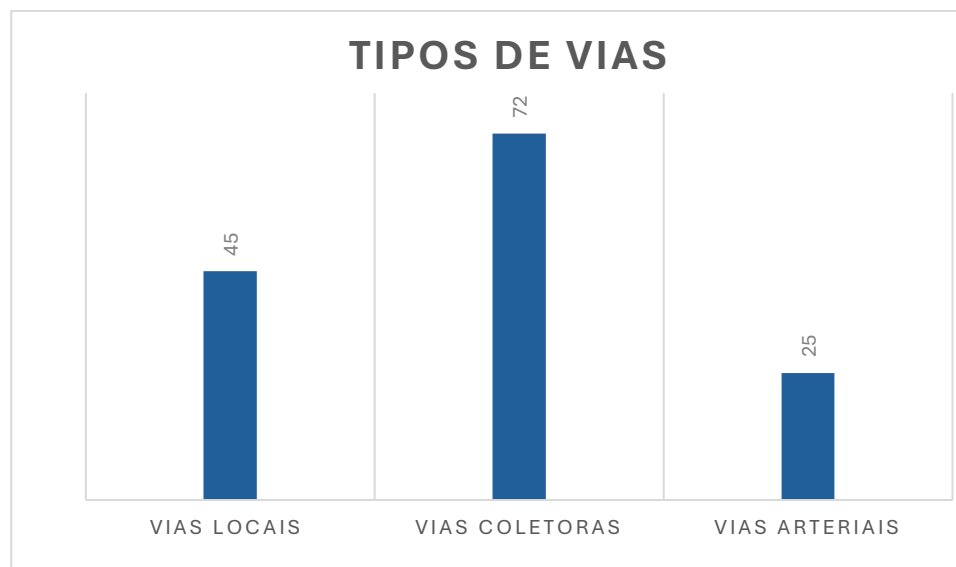
Fonte: Autor (2025).

A tabela acima expõe que, entre os 38 trechos que possuem Deformação Permanente, 60,52% são de Baixa severidade, 31,57% são de severidade Moderada e 7,89% são de Alta Severidade.

4.2 Mapeamento de Trechos com Tráfego de Ônibus e Fluxo

Os 142 trechos que compõe a malha viária analisada possuem três tipos de hierarquização de via: Vias Locais, Vias Coletoras e Vias Arteriais. O Gráfico 1 mostra que entre os 142 trechos observados, 45 pertencem a vias Locais, 72 a vias Coletoras e 25 a vias Arteriais.

Gráfico 1: Tipos de Via da Malha Viária Estudada.



Fonte: Autor (2025).

Com o auxílio do Software MOOVIT, foi observado que, no bairro de Batista Campos, entre os 142 trechos catalogados, existem 39 pontos de paradas de ônibus, distribuídas em 36 trechos diferentes. Outro ponto observado é que 67 trechos da malha viária do bairro possuem o tráfego de ônibus da frota de transporte público, o que equivale a aproximadamente 47,20% das vias contidas no estudo.

Entre os 67 trechos que possuem tráfego de ônibus pertencentes a frota pública, 18 trechos fazem parte vias locais, 27 de vias coletoras e 22 de vias arteriais. Por conta da diferença de hierarquias entre as vias com fluxo de ônibus, existe grande variação entre o número de linhas em cada trecho catalogado, iniciando em 1 linha de tráfego, nos trechos C8, C9, C10, C11, C15, C16, C17 e C134 e, chegando até 55 linhas, nos trechos C74, C75 e C76. A tabela 7 mostra a relação dos 67 trechos que possuem fluxo de ônibus no bairro de Batista Campos e a quantidade de linhas que trafegam por essas vias.

Tabela 7: Número de Linhas de Ônibus em 67 Trechos.

TRECHO	NÚMERO DE LINHAS DE ÔNIBUS	TRECHO	NÚMERO DE LINHAS DE ÔNIBUS
C1	26	C50	3
C2	26	C65	3
C8	1	C66	3
C9	1	C71	37
C10	1	C72	37
C11	1	C73	51
C12	2	C74	55
C15	1	C75	55
C16	1	C76	55
C17	1	C92	32
C19	3	C93	31
C20	3	C94	31
C21	5	C95	31
C22	5	C98	22
C23	5	C99	22
C24	2	C100	22
C25	2	C101	22
C26	2	C102	22
C27	35	C103	22
C28	35	C104	9
C29	35	C105	6
C30	35	C108	21
C31	13	C109	21
C32	4	C110	21
C33	4	C111	21
C34	3	C113	21
C35	3	C114	21
C36	3	C116	2
C37	2	C117	3
C38	2	C133	2
C46	4	C134	1
C47	5	C135	2
C48	5	C136	3
C49	5	67 TRECHOS	

Fonte: Autor (2025).

4.3 Trincas por Fadiga e Deformação Permanente *versus* Tráfego de Ônibus

As Trincas por Fadiga do pavimento e as Deformações Permanentes são defeitos estruturais constantemente associados ao tráfego pesado de veículos de grande porte. Ao realizar a análise dos dados coletados por Cardoso e Neves (2023), os quais foram organizados em 142 trechos por Sousa (2021), viu-se que

existem 67 trechos onde há o tráfego de linhas de ônibus do transporte público e 75 trechos onde esse tipo de movimentação não é percebido.

Inicialmente, observando os dados referentes a presença de Trincas por Fadiga e o tráfego de linhas de ônibus, independentemente da quantidade de linhas, organizou-se, com base no Teste de Associação do Qui – Quadrado, a tabela 8, para verificação da relação de ocorrência entre as duas variáveis em destaque – Tráfego de Ônibus *versus* Trincas por Fadiga.

Tabela 8: Tabela 2x2 de Correlação entre Tráfego de Ônibus *versus* Trincas por Fadiga.

TRINCA POR FADIGA			
TRÁFEGO DE ÔNIBUS			
POSSUI TRINCA	SIM	NÃO	TOTAL
SIM	47	51	98
NÃO	20	24	44
TOTAL	67	75	142

Fonte: Autor (2025).

A tabela 8 está organizada em formato 2x2 realizando a correlação entre a presença de Trincas por Fadiga e a existência do Tráfego de Ônibus nas vias estudadas no Bairro de Batista Campos. Os trechos foram analisados seguindo 4 possibilidades distintas de correlação entre Tráfego e Trincas por Fadiga: trechos com tráfego de ônibus e presença de Trincas por Fadiga; trechos com tráfego de ônibus e sem a presença de Trincas por Fadiga; trechos sem tráfego de ônibus e presença de Trincas por Fadiga; trechos sem tráfego de ônibus e sem a presença de Trincas por Fadiga.

Os dados reais obtidos para as 4 análises, após contagem dos trechos estudados, foram os seguintes:

- 47 trechos com tráfego de ônibus e presença de Trincas por Fadiga;
- 20 trechos com tráfego de ônibus e sem a presença de Trincas por Fadiga;
- 51 trechos sem tráfego de ônibus e presença de Trincas por Fadiga;
- 24 trechos sem tráfego de ônibus e sem a presença de Trincas por Fadiga.

Para realização da verificação estatística foi calculado o valor esperado a partir da relação de proporção entre as análises feitas e a quantidade total de vias catalogadas e, com isso, obtiveram-se os seguintes valores:

- 46,23 trechos com tráfego de ônibus e presença de Trincas por Fadiga;
- 20,76 trechos com tráfego de ônibus e sem a presença de Trincas por Fadiga;
- 51,76 trechos sem tráfego de ônibus e presença de Trincas por Fadiga;
- 23,23 trechos sem tráfego de ônibus e sem a presença de Trincas por Fadiga.

Utilizando o Teste de Associação do Qui – Quadrado para avaliação dos valores reais visualizados utilizou-se a equação 4, ilustrada abaixo:

Equação 5: Equação para Teste de Associação do Qui – Quadrado.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Fonte: Autor (2025).

Na equação, “ χ^2 ” representa o coeficiente do Teste de Associação do Qui – Quadrado; “O” representa o valor Observado; “E” representa o valor esperado da relação de proporção entre os valores de observação. Ao realizar o cálculo com a somatória dos valores presentes na Tabela 8 foi obtido o resultado 0,076. No teste de associação do Qui-quadrado, a escolha dos graus de liberdade depende do número de categorias ou células da tabela de contingência. Para uma tabela 2x2, que é composta por duas linhas e duas colunas, o grau de liberdade é 1. Para a

análise utilizando a Tabela 2x2 será utilizado um nível de significância de 5%, ou seja, 0,05.

Para realizar a verificação para o valor 0,076 obtido é necessário analisar a tabela de distribuição para o Qui – Quadrado, que está apresentada na tabela 9.

Tabela 9: Tabela de Distribuição do Qui – Quadrado.

Distribuição Qui-Quadrado - Unicaudal à Direita										
p ►	99,5%	99%	97,5%	95%	90%	10%	5%	2,5%	1%	0,5%
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	9,236	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997

Fonte: Site Professor Guru (2023).

O valor de 0,076 obtido no teste Qui-quadrado indica que a diferença entre os valores observados e esperados é muito pequena para ser considerada estatisticamente significativa. Ao realizar a comparação com o valor crítico de 3,841 para 1 grau de liberdade e um nível de significância de 5%, como mostrado na tabela de distribuição Qui-quadrado, é observado que 0,076 é inferior. Portanto, o resultado expõe que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, sugerindo que não existe uma associação significativa entre as variáveis analisadas, e que as diferenças observadas podem ser atribuídas ao acaso.

Partindo para a análise das Deformações Permanentes verificadas nos 142 trechos catalogados por Cardoso e Neves (2023) e estudados nessa pesquisa, organizou-se, com base também no Teste de Associação do Qui – Quadrado, a tabela 10 nos mesmos parâmetros observados na tabela 8, para verificação da relação de ocorrência entre as duas variáveis em destaque – Tráfego de Ônibus *versus* Deformações Permanentes do Pavimento.

Tabela 10: Tabela 2x2 de Correlação entre Tráfego de Ônibus *versus* Deformação Permanente.

DEFORMAÇÃO PERMANENTE			
TRÁFEGO DE ÔNIBUS			
TEM DEFORM.	SIM	NÃO	TOTAL
SIM	28	10	38
NÃO	39	65	104
TOTAL	67	75	142

Fonte: Autor (2025).

De forma semelhante a organização dos dados realizada para as Trincas por Fadiga, a tabela 10 está disposta em formato 2x2, de forma que realize a correlação entre a presença de Trincas por Fadiga e a existência do Tráfego de Ônibus nas vias estudadas no Bairro de Batista Campos. Os trechos, analisados de forma análoga ao estudo anterior, seguem 4 possibilidades distintas de correlação entre Tráfego e Deformações Permanentes: trechos com tráfego de ônibus e presença de Deformações Permanentes; trechos com tráfego de ônibus e sem a presença de Deformações Permanentes; trechos sem tráfego de ônibus e presença de Deformações Permanentes; trechos sem tráfego de ônibus e sem a presença de Deformações Permanentes.

Os dados reais obtidos para as 4 análises, após contagem dos trechos estudados, foram os seguintes:

- 28 trechos com tráfego de ônibus e presença de Deformações Permanentes;
- 39 trechos com tráfego de ônibus e sem a presença de Deformações Permanentes;
- 10 trechos sem tráfego de ônibus e presença de Deformações Permanentes;
- 65 trechos sem tráfego de ônibus e sem a presença de Deformações Permanentes.

De forma semelhante ao procedimento realizado para a verificação estatística das Trincas por Fadiga, foram calculados os valores esperados a partir da relação de proporção entre as análises feitas e a quantidade total de vias catalogadas e, com isso, obtiveram-se os seguintes valores:

- 17,92 trechos com tráfego de ônibus e presença de Deformações Permanentes;
- 49,07 trechos com tráfego de ônibus e sem a presença de Deformações Permanentes;
- 20,07 trechos sem tráfego de ônibus e presença de Deformações Permanentes;
- 54,92 trechos sem tráfego de ônibus e sem a presença de Deformações Permanentes.

Ao realizar o cálculo utilizando a equação 2, adotando os mesmos critérios utilizados para as Trincas por Fadiga, obtém-se o valor 14,62. Ao realizar o Teste Qui-quadrado utilizando os mesmos critérios anteriores observa-se que a diferença entre os valores observados e esperados é significativa. Ao realizar a comparação entre o valor obtido e o valor crítico de 3,841 para 1 grau de liberdade e um nível de significância de 5%, conforme mostrado na tabela de distribuição Qui-quadrado, percebe-se um resultado superior ao valor crítico. Portanto, o resultado expõe que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, sugerindo que existe uma associação estatisticamente significativa entre as variáveis analisadas, e que a diferença observada não pode ser explicada apenas pelo acaso, havendo relação positiva entre o tráfego de linhas de ônibus e o surgimento de Deformações Permanentes.

4.4 Trincas por Fadiga e Deformação Permanente versus Número de Linhas de Ônibus

Os defeitos estruturais dos pavimentos são categorizados de diferentes formas, de acordo com o Manual SHRP (1993). As Trincas por Fadiga do pavimento são organizadas em três graus de severidade: baixo, moderado e alto. A Deformação Permanente, de acordo com o Manual Americano, não possui prévia indicação de subdivisão em severidades, porém, Haas et al. (1994) indica 3 níveis de severidade para o defeito estrutural: Baixo (até 25 mm de desnível), moderado (25 a 50 mm de desnível) e alto (acima de 50 mm de desnível), os quais serão utilizados para categorizar esse defeito.

Como apresentado no tópico 4.1, as Trincas por Fadiga estão dispostas em 98 trechos entre os 142 estudados organizando-se na seguinte quantidade:

- 47 trechos com Trincas por Fadiga de baixa severidade;
- 32 trechos com Trincas por Fadiga de severidade moderada;
- 19 trechos com Trincas por Fadiga de severidade alta.

As Deformações Permanentes estão dispostas em 38 trechos entre os 142 estudados organizando-se na seguinte quantidade:

- 23 trechos com Deformações Permanentes de baixa severidade;
- 12 trechos com Deformações Permanentes de severidade moderada;
- 3 trechos com Deformações Permanentes de severidade alta.

Partindo dos valores catalogados, foram realizadas correlações entre a severidade dos defeitos observados e o número de linhas de ônibus que trafegam nos trechos viários do bairro de Batista Campos, por meio do cálculo do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson. Os cálculos foram realizados de forma

independente para os 3 graus de severidade de ambos os defeitos estruturais e, por fim, para o somatório das três categorias.

4.4.1 Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga

Ao realizar a Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga *versus* Número de Linhas de Ônibus, tomando como base, inicialmente, as 142 vias catalogados, observam-se os valores apresentados na tabela 11 para porcentagens de trincas por fadiga em relação a área total do trecho.

Tabela 11: Valor em Porcentagem para Trincas por Fadiga em 142 Trechos do Bairro de Batista Campos.

TRECHOS	% TRINCAS POR FADIGA						
	Baixa	Média	Alta	TRECHOS	Baixa	Média	Alta
C1	0,00	5,37	0,00	C72	0,10	0,00	0,00
C2	15,97	0,00	0,00	C73	0,00	0,00	2,64
C3	0,00	0,00	0,00	C74	1,28	0,00	0,00
C4	0,00	0,38	0,00	C75	0,01	0,00	0,00
C5	0,67	0,00	0,00	C76	0,47	0,00	0,00
C6	0,00	2,88	13,25	C77	0,61	0,00	0,00
C7	1,62	0,00	0,00	C78	0,00	0,07	0,00
C8	0,00	0,06	0,00	C79	0,00	14,90	0,00
C9	1,83	2,26	1,75	C80	0,00	0,00	0,00
C10	0,00	0,00	4,80	C81	0,00	0,00	0,00
C11	0,00	1,71	8,61	C82	8,38	0,00	0,00
C12	0,00	0,00	30,04	C83	12,24	0,00	0,00
C13	0,00	0,00	0,00	C84	0,09	0,00	0,00
C14	0,00	0,00	0,00	C85	0,00	0,00	0,00
C15	0,31	0,00	0,00	C86	0,06	0,90	0,00
C16	0,00	0,00	0,00	C87	0,99	6,49	0,00
C17	0,07	0,00	0,00	C88	10,13	0,00	0,00
C18	0,00	0,00	0,00	C89	17,00	0,00	0,00
C19	0,00	0,00	0,90	C90	0,00	0,00	0,00
C20	0,00	15,36	0,08	C91	0,88	0,00	0,00
C21	0,00	0,84	0,00	C92	0,01	0,00	0,00
C22	0,00	6,96	0,00	C93	0,00	0,00	0,00
C23	0,00	0,00	0,00	C94	0,00	1,19	0,00
C24	0,00	0,00	0,00	C95	2,14	0,00	0,00
C25	0,08	0,63	0,00	C96	0,94	0,00	0,00
C26	0,00	0,08	0,00	C97	0,00	0,00	0,00
C27	0,00	0,00	0,00	C98	0,00	0,00	0,00
C28	0,32	0,00	0,00	C99	0,00	0,00	0,00
C29	0,00	0,00	0,00	C100	0,06	0,00	0,00
C30	0,00	0,00	0,00	C101	0,00	0,00	0,00
C31	0,00	2,97	0,28	C102	0,00	0,00	0,00
C32	0,00	0,00	0,00	C103	0,15	0,54	0,00
C33	0,23	0,00	0,00	C104	4,59	0,00	0,00
C34	0,00	0,06	0,00	C105	0,08	0,00	0,00
C35	6,18	0,00	0,00	C106	0,00	0,00	0,00
C36	0,02	2,10	0,00	C107	0,00	0,00	0,00
C37	13,23	66,67	0,00	C108	0,64	13,09	0,00
C38	0,00	0,00	49,33	C109	7,79	0,00	0,00
C39	9,01	0,00	0,00	C110	0,00	0,00	0,00
C40	20,62	0,00	0,00	C111	7,09	0,00	0,00
C41	19,56	2,95	1,01	C112	32,18	0,00	0,00
C42	3,48	1,75	0,00	C113	1,43	0,00	0,00
C43	8,02	0,00	0,00	C114	4,18	0,00	0,00
C44	0,00	3,21	0,00	C115	4,34	2,87	0,00
C45	0,00	200,00	0,00	C116	1,49	5,41	0,54
C46	0,00	0,00	0,00	C117	0,00	0,00	0,00
C47	0,14	0,56	1,14	C118	0,00	0,00	0,00
C48	0,00	3,14	0,00	C119	0,00	0,00	0,00
C49	0,00	0,00	0,00	C120	1,40	0,00	0,00
C50	0,13	2,89	0,00	C121	2,86	0,00	0,00
C51	0,00	3,35	0,00	C122	0,00	0,00	0,00
C52	0,00	37,10	0,00	C123	0,00	0,00	0,00
C53	0,27	0,00	0,00	C124	0,00	0,00	0,00
C54	2,52	0,00	0,00	C125	0,00	3,87	0,00
C55	2,94	0,00	0,00	C126	0,38	0,00	0,00
C56	0,00	0,00	0,95	C127	5,56	0,00	0,00
C57	0,00	34,77	0,00	C128	0,00	0,00	0,00
C58	0,00	5,06	0,00	C129	23,42	0,00	0,00
C59	0,81	2,28	11,88	C130	0,00	0,00	0,00
C60	0,00	3,93	0,00	C131	68,47	0,00	0,00
C61	1,36	0,00	0,00	C132	0,00	0,00	0,00
C62	0,00	0,00	0,00	C133	0,00	0,00	0,00
C63	0,00	0,00	0,00	C134	0,00	0,00	0,00
C64	14,45	27,50	0,00	C135	0,00	0,00	0,00
C65	0,46	0,00	0,00	C136	0,00	0,00	0,00
C66	0,00	0,43	3,05	C137	100,00	0,00	0,00
C67	0,00	0,00	0,00	C138	0,00	0,00	86,90
C68	0,25	0,00	0,14	C139	0,08	28,71	0,00
C69	0,20	1,60	0,00	C140	0,00	0,00	0,00
C70	0,00	2,48	9,78	C141	0,00	0,00	0,00
C71	0,71	0,00	0,00	C142	0,13	0,00	0,00

Fonte: Autor (2025).

Os dados presentes na tabela 11 englobam todos os 142 trechos catalogados no bairro de Batista Campos, com todos os valores em Porcentagem para as severidades baixa, moderada e alta. Quanto aos valores referentes ao número de linhas, a tabela 7, apresentada anteriormente, expõe 67 trechos onde existe tráfego de coletivos da frota pública, havendo uma variação de 1 a 55 linhas de ônibus entre as vias em que a movimentação desses veículos é presente.

Para dar continuidade ao cálculo do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, r , é necessário realizar a padronização dos dados observados nas tabelas 7 e 11, obtendo-se sua soma, média e desvio padrão. A tabela 12, apresentada abaixo mostra os valores encontrados para esses coeficientes de correção dos valores das Trincas por Fadiga de severidade baixa, moderada e alta, e, também, o somatório dos três níveis de severidade. Além disso, também se realizou para o número de linhas de ônibus que trafegam nos 142 trechos, valores que permanecerão iguais para todos os cálculos.

Tabela 12: Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	SOMATÓRIO	Nº de linha de ônibus
SOMA	447,10	519,34	227,09	1193,53	991,00
MÉDIA	3,15	3,66	1,60	8,41	6,98
DESVIO - PADRÃO	11,10	18,38	8,86	22,72	13,00

Fonte: Autor (2025).

Partindo, então, para os cálculos dos valores do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, se obtém os valores contidos na tabela 12, para o cálculo abrangendo os 142 trechos.

Tabela 13: Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

	Coeficiente de Correlação Linear de Pearson
BAIXA	-0,096
MODERADA	-0,140
ALTA	-0,062
TOTAL	-0,298

Fonte: Autor (2025).

Para valores de $n=142$, verifica-se que os valores obtidos para as severidades baixa, moderada e alta estão abaixo do resultado mínimo tabelado, o que indica que não há correlação entre os valores relacionados; o somatório de todas as severidades indicou, por sua vez, uma baixa correlação. O valor obtido ao correlacionar o total das Trincas por Fadiga presentes nos 142 trechos, independente da severidade indica que há uma correlação baixa entre a área trincada e o número de linhas de ônibus.

Ao realizar essa análise somente para os trechos onde existe o tráfego ônibus obtemos os valores para padronização de dados apresentados na tabela 13.

Tabela 14: Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	SOMATÓRIO	Nº de linha de ônibus
SOMA	71,19	132,28	132,28	5,37	991,00
MÉDIA	1,06	1,97	1,97	15,97	14,79
DESVIO - PADRÃO	2,91	8,47	8,47	0,06	15,61

Fonte: Autor (2025).

Para os 67 trechos são obtidos os valores de “r” da tabela 15.

Tabela 15: Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

	Coeficiente de Correlação Linear de Pearson
BAIXA	0,037
MODERADA	-0,396
ALTA	-0,399
TOTAL	-0,758

Fonte: Autor (2025).

Para $n=67$, percebe-se que o valor do coeficiente para as Trincas por Fadiga de severidade baixa é menor do que o mínimo tabelado para esse valor de n , o que indica falta de correlação entre Severidade e número de linhas de ônibus. Para as severidades moderada e alta é possível observar um valor maior, o que indica a existência de correlação, mas com relevância baixa. Para a soma das Trincas por Fadiga foi obtido um valor elevado, maior do que o mínimo tabelado, o que caracteriza uma correlação de intensidade alta para Severidade e número de linhas de ônibus que trafegam nos 67 trechos.

4.4.2 Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Deformação Permanente

Partindo para realizar o mesmo tipo de análise para a Deformações Permanentes do pavimento, ou seja, a Correlação Linear de Pearson para Deformações Permanentes *versus* Número de Linhas de Ônibus, toma-se como base, de forma semelhante, inicialmente, as 142 vias catalogadas por Cardoso e Neves (2023). Os valores coletados por eles estão dispostos na tabela 16, contendo porcentagens de Deformações Permanentes em relação a área total do trecho.

Tabela 16: Valor em Porcentagem para Deformações Permanentes em 142 Trechos do Bairro de Batista Campos.

% DEFORMAÇÃO PERMANENTE							
TRECHOS	Baixa	Média	Alta	TRECHOS	Baixa	Média	Alta
C1	0,38	0,24	0,00	C72	0,50	0,00	0,10
C2	0,41	0,00	0,10	C73	0,52	0,00	0,00
C3	0,00	0,00	0,00	C74	0,26	0,09	0,00
C4	0,00	0,00	0,00	C75	0,16	0,08	0,00
C5	2,10	0,00	0,00	C76	0,37	0,00	0,00
C6	0,00	0,00	0,00	C77	0,00	0,00	0,00
C7	0,39	0,20	0,00	C78	0,00	0,00	0,00
C8	0,48	0,10	0,00	C79	0,00	0,00	0,00
C9	0,00	0,00	0,00	C80	0,00	0,00	0,00
C10	0,03	0,00	0,00	C81	0,00	0,00	0,00
C11	0,00	0,90	0,00	C82	0,00	0,00	0,00
C12	1,61	0,00	0,00	C83	0,00	0,00	0,00
C13	3,10	0,00	0,00	C84	0,00	0,00	0,00
C14	0,00	0,00	0,00	C85	0,00	0,00	0,00
C15	0,00	0,00	0,00	C86	0,00	0,00	0,00
C16	0,16	0,00	0,00	C87	0,00	0,00	0,00
C17	0,00	0,00	0,00	C88	0,00	0,00	0,00
C18	0,00	0,00	0,00	C89	0,00	0,00	0,00
C19	0,20	0,00	0,00	C90	0,00	0,00	0,00
C20	0,00	0,00	0,00	C91	0,00	0,00	0,00
C21	0,00	0,00	0,00	C92	0,00	0,00	0,00
C22	0,00	0,00	0,00	C93	0,60	0,20	0,00
C23	0,00	0,81	0,00	C94	0,56	0,00	0,00
C24	0,00	0,00	0,00	C95	0,00	0,00	0,00
C25	4,16	0,00	0,00	C96	0,00	0,00	0,00
C26	0,26	0,00	0,00	C97	0,00	0,00	0,00
C27	0,00	0,00	0,00	C98	0,40	0,00	0,00
C28	0,00	0,00	0,00	C99	0,50	0,00	0,00
C29	0,00	0,00	0,00	C100	0,42	0,00	0,00
C30	0,00	0,00	0,00	C101	0,00	0,00	0,00
C31	0,00	0,00	0,00	C102	0,00	0,00	0,00
C32	0,00	0,00	0,00	C103	0,00	0,00	0,00
C33	0,00	0,00	0,00	C104	0,00	0,00	0,00
C34	0,00	0,00	0,00	C105	0,00	0,00	0,00
C35	0,00	0,00	0,00	C106	0,00	0,00	0,00
C36	0,00	0,00	0,00	C107	0,00	0,00	0,00
C37	0,00	0,00	0,00	C108	0,00	0,00	0,00
C38	0,00	0,00	0,00	C109	0,00	0,00	0,00
C39	0,00	0,00	0,00	C110	0,00	0,00	0,00
C40	0,00	0,00	0,00	C111	0,00	0,00	0,00
C41	0,00	0,00	0,00	C112	0,00	0,00	0,00
C42	0,00	0,00	0,00	C113	0,00	0,00	0,00
C43	0,00	0,00	0,00	C114	0,00	0,00	0,00
C44	0,00	0,00	0,00	C115	0,48	0,10	0,00
C45	0,00	0,00	0,00	C116	0,00	0,00	0,00
C46	0,15	0,04	0,00	C117	0,00	0,00	0,00
C47	0,28	0,00	0,00	C118	0,00	0,00	0,00
C48	0,00	0,00	0,00	C119	0,00	0,00	0,00
C49	0,00	0,00	0,00	C120	0,00	0,00	0,00
C50	0,19	0,00	0,00	C121	0,55	0,00	0,00
C51	0,00	0,00	0,00	C122	0,00	0,00	0,00
C52	0,00	0,00	0,00	C123	0,00	0,00	0,00
C53	0,00	0,00	0,00	C124	0,00	0,00	0,00
C54	0,00	0,00	0,00	C125	0,00	0,00	0,00
C55	0,28	0,00	0,00	C126	0,00	0,00	0,00
C56	0,52	0,00	0,00	C127	0,00	0,00	0,00
C57	0,00	0,00	0,00	C128	0,00	0,00	0,00
C58	0,00	0,00	0,00	C129	0,00	0,00	0,00
C59	0,83	0,00	0,00	C130	0,00	0,00	0,00
C60	0,00	0,00	0,00	C131	0,00	0,00	0,00
C61	1,73	0,00	0,00	C132	0,00	0,00	0,00
C62	0,00	0,00	0,00	C133	0,00	0,00	0,00
C63	0,00	0,00	0,00	C134	0,35	0,00	0,00
C64	0,00	0,00	0,00	C135	0,26	0,18	
C65	0,00	0,00	0,00	C136	0,00	0,25	0,25
C66	0,00	0,00	0,00	C137	0,00	0,00	0,00
C67	0,00	0,00	0,00	C138	0,00	0,00	0,00
C68	0,00	0,00	0,00	C139	0,00	0,00	0,00
C69	0,80	0,00	0,00	C140	0,00	0,00	0,00
C70	0,00	0,00	0,00	C141	0,00	0,00	0,00
C71	0,28	0,56	0,00	C142	0,00	0,00	0,00

Fonte: Autor (2025).

A Tabela 16 apresenta dados sobre os 142 trechos catalogados no bairro de Batista Campos, com as porcentagens correspondentes às severidades das Deformações Permanentes presentes nos trechos, classificadas como baixa, moderada e alta, de acordo com a indicação de Haas et al. (1994). Como comentado anteriormente, a Tabela 7, mostra que, em 67 desses trechos, há circulação de coletivos da frota pública, com quantidade de linhas variando entre 1 e 55, dependendo das vias em que esses veículos operam, evidenciando a variação no padrão de tráfego coletivo na região.

De forma análoga ao procedimento realizado anteriormente, para prosseguir com o cálculo do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, r , é necessário padronizar os dados presentes nas Tabelas 7 e 16, de forma a encontrar a soma, o cálculo da média e do desvio padrão dos valores observados. A Tabela 17, mostrada abaixo, apresenta os valores de correção para a porcentagens de Deformação Permanentes nas severidades baixa, moderada e alta, além do somatório dos três níveis de severidade. Essas correções são essenciais para o cálculo do coeficiente de correlação, permitindo a análise da relação entre as variáveis envolvidas. Além disso, também será realizado para o número de linhas de ônibus que trafegam nos 142 trechos, tal como realizado anteriormente, os quais permanecerão iguais para todos os cálculos.

Tabela 17: Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	SOMATÓRIO	Nº de linha de ônibus
SOMA	24,28	3,74	0,45	28,47	991,00
MÉDIA	0,69	0,29	0,15	0,20	6,98
DESVIO - PADRÃO	0,87	0,28	0,09	0,54	13,00

Fonte: Autor (2025).

Partindo, então, para os cálculos dos valores do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson, se obtém os valores contidos na tabela 18, para o cálculo abrangendo os 142 trechos.

Tabela 18: Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

	Coeficiente de Correlação Linear de Pearson
BAIXA	0,00156
MODERADA	0,00112
ALTA	0,00020
TOTAL	0,00288

Fonte: Autor (2025).

Para a correlação entre Deformação Permanente e número de linhas de ônibus com $n = 142$, verifica-se que os valores obtidos para as severidades baixa, moderada e alta estão muito abaixo do resultado mínimo tabelado, o que indica que não há correlação entre os valores relacionados. O valor obtido, independente da severidade indica que não há uma correlação entre o percentual de Deformações Permanentes e o número de linhas de ônibus.

Partindo para a segunda análise, realizando os cálculos exclusivamente para os trechos onde passam ônibus, deve-se realizar a substituição do valor de n para 67. Seguindo o procedimento de ação para correlação, deve-se, também, realizar a padronização dos valores obtidos na tabela 16, por meio da soma, média e desvio padrão para os valores. Os valores desses índices de padronização estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19: Soma, Média e Desvio Padrão para Padronização de Dados.

	BAIXA	MODERADA	ALTA	SOMATÓRIO	Nº de linha de ônibus
SOMA	13,49	3,45	0,45	17,39	991,00
MÉDIA	0,54	0,31	0,15	1,00	14,79
DESVIO - PA	0,81	0,30	0,09	1,20	15,61

Fonte: Autor (2025).

Para os 67 trechos, os valores encontrados para “ r ” estão dispostos abaixo, na tabela 20.

Tabela 20: Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

	Coeficiente de Correlação Linear de Pearson
BAIXA	0,00053
MODERADA	-0,00067
ALTA	0,00014
TOTAL	0,00001

Fonte: Autor (2025).

Para $n=67$, percebe-se que o valor do coeficiente para as Trincas por Fadiga de severidade baixa, moderada e alta é bem menor do que o mínimo tabelado para esse valor de n , o que indica falta de correlação entre Severidade e número de linhas de ônibus. Além disso, ao analisar a soma total das Deformações Permanentes encontrou-se um valor também menor, o que deixa evidente a falta de correlação entre os fatores analisados para o número de linhas de ônibus que trafegam nos 67 trechos.

4.5 Considerações Finais

Sousa (2021) iniciou a linha de pesquisa realizando a subdivisão dos 142 trechos pertencentes ao bairro de Batista Campos, de forma que os dados referentes as vias começaram a ser coletados. Cardoso e Neves (2023), com sua pesquisa, atualizaram os dados e as informações sobre os 142 trechos catalogados.

A partir desses dados, realizou-se uma análise específica das Trincas por Fadiga e das Deformações Permanentes existentes nas vias. Foi verificado que 98 trechos possuem as Trincas por Fadiga, sendo 47 trechos de severidade baixa, 32 de severidade moderada e 19 de alta severidade. Quanto as Deformações Permanentes, foram verificadas em 38 trechos, sendo 23 de baixa severidade, 12 de severidade moderada e 3 de alta severidade. Partindo para a observação do fluxo de ônibus nos trechos catalogados, observou-se que existem 36 trechos em que estão presentes paradas de ônibus e que em 67 existe o fluxo dos coletivos. Os trechos com maior fluxo de ônibus são C74, C75 e C76.

O Teste de Associação do Qui Quadrado para a correlação entre Trincas por Fadiga e vias onde existe o fluxo de ônibus resultou no valor 0,076, sugerindo que

não há associação entre as variáveis avaliadas. A análise para as Deformações Permanentes, também para a associação com a existência do fluxo de ônibus, resultou em um valor de 14,62, que, em comparação com o valor crítico mostrou a evidência suficiente para se recusar a hipótese nula, sugerindo associação estatística significativa e positiva entre as variáveis participantes do teste, Deformações Permanentes e tráfego de linha de ônibus nos trechos avaliados.

O cálculo do Coeficiente de Correlação Linear de Pearson foi realizado correlacionando Trincas por Fadiga e o número de linhas de ônibus que trafegam nos trechos analisados, considerando 142 e 67 trechos, e também, correlacionando Deformações Permanentes e o número de linhas de ônibus que trafegam nos trechos estudados, considerando, também, 142 e 67 trechos.

Para 142 trechos, o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga obtido para baixa severidade foi de -0,096, para severidade moderada é -0,140, para alta severidade é -0,062 e para a soma das três severidades é -0,298. Para as três severidades os valores mostraram inexistência de correlação entre os dois fatores analisados. A somatória das 3 severidades para $n = 142$ demonstrou correlação baixa.

Para 67 trechos, o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga obtido para baixa severidade foi de 0,037, para severidade moderada foi de -0,396, para alta severidade foi de -0,399 e para a soma das três severidades foi obtido um valor de -0,758. Para a severidade baixa não foi encontrada correlação entre; para as severidades moderada e alta os valores mostraram baixa correlação entre os dois fatores analisados. A somatória das 3 severidades para $n = 67$ está acima do mínimo tabelado, e demonstrou que, no geral, existe correlação entre as variáveis.

Agora, para 142 trechos, o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Deformações Permanentes e o número de linhas de ônibus para baixa severidade foi de 0,00156, para severidade moderada foi de 0,00112, para alta severidade foi de 0,00020 e para a soma das três severidades foi obtido um valor de 0,00288. Os valores encontrados estão abaixo do valor limite tabelado para $n = 142$, o que mostra inexistência de correlação entre os aspectos analisados.

Para 67 trechos, o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Deformações Permanentes e o número de linhas de ônibus para baixa severidade foi de 0,00053, para severidade moderada foi de -0,00067, para alta severidade foi de 0,00014 e para a soma das três severidades foi obtido um valor quase nulo, de 0,00001. Os valores mostraram falta de correlação entre os aspectos das três severidades e a somatória mostrou correlação nula.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa teve como objetivo geral realizar um tratamento específico dos dados coletados por Cardoso e Neves (2023), com a finalidade de compreender e correlacionar a ocorrência de trincas por fadiga e deformação permanente com o tráfego existente nos quarteirões onde esses defeitos são observados. A análise buscou relações e objetivou identificar padrões de falhas no pavimento e sua relação com a intensidade do tráfego de ônibus da frota pública. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão da influência do tráfego de ônibus públicos no bairro de Batista Campos e a sua relação com a produção de defeitos estruturais na malha viária. Apesar de limitações do estudo quanto ao desconhecimento da estrutura do pavimento e impossibilidade de se considerar o tráfego de veículos pesados não relacionados ao transporte público, foi possível observar se existem correlações entre o tráfego de ônibus e o surgimento de defeitos estruturais nos pavimentos.

Entre os principais resultados encontrados estão:

- 69,01% dos trechos estudados possuem Trincas por Fadiga;
- 26,76% dos trechos estudados possuem Deformações Permanentes;
- O Teste de Associação do Qui Quadrado Mostrou falta de relação entre a ocorrência de Trincas por Fadiga e o Tráfego de Ônibus;
- O Teste de Associação do Qui Quadrado Mostrou existência de relação entre ocorrência de Deformações Permanentes e o Tráfego de Ônibus;

- O valor para o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga *versus* número de linhas de ônibus, para 142 trechos, de severidade baixa, moderada e alta, apontou falta de correlação entre as duas variáveis para as três severidades independentes e correlação baixa para a somatória;
- O valor para o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Trincas por Fadiga *versus* número de linhas de ônibus, para 67 trechos, para severidade baixa sugeriu falta de correlação, para severidades moderada e alta sugeriu correlação baixa e sua somatória, sugeriu uma correlação alta entre os dois aspectos;
- O valor obtido para o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Deformações Permanentes *versus* número de linhas de ônibus, para 142 trechos, para os três graus de severidade e sua somatória sugeriu falta de correlação entre os aspectos observados;
- O valor obtido para o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson para Deformações Permanentes *versus* número de linhas de ônibus, para 67 trechos, para os três graus de severidade e sua soma sugeriu falta de correlação entre os aspectos observados.

Os testes estatísticos realizados, embora não tenham revelado correlações significativas para algumas hipóteses analisadas, validam o trabalho realizado, pois seguiram métodos estatísticos rigorosos. A análise identificou uma correlação positiva entre o tráfego de ônibus e as deformações permanentes em algumas vias e em relação ao número de linhas e o grau de severidade de trincas por fadiga, o que contribui para a compreensão do impacto do tráfego na pavimentação.

Fatores como a idade do pavimento, a falta de dados sobre intervenções anteriores e a ausência de informações sobre a estrutura do pavimento (espessura das camadas de revestimento e base) interferem diretamente nos resultados observados. Portanto, a interpretação dos resultados deve considerar esses elementos, indicando que a relação entre o tráfego e os defeitos no pavimento é complexa e multifatorial.

5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros

A elaboração dessa pesquisa mostrou que outras questões também podem ser estudadas seguindo a vertente desse trabalho, tais como:

- Testar as correlações entre ocorrência de Trincas por Fadiga e Deformação Permanente com o tráfego, levando em consideração o número de veículos;
- Correlacionar a ocorrência de Trincas por Fadiga e Deformação Permanente com a idade do pavimento estudado;
- Testar as correlações entre ocorrência de Trincas por Fadiga e Deformação Permanente considerando a Estrutura do Pavimento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO. Pavement management guide. American Association of State Highway and Transportation Officials. 2 Ed. Washington, DCC/USA, 2012.

AIHUKI, Josef Ndauvako. Avaliação de desempenho de vias do bairro de Batista Campos, em Belém-PA, em relação ao Índice de Condição do Pavimento (ICP). 2022. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

ALBUQUERQUE, Fernando Silva. Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro. 2007. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ABEDA, 2ª edição, 2022.

BERTOLLO, S. A. M. Considerações Sobre a Gerência de Pavimentos Urbanos em Nível de Rede. 1997. Dissertação (Mestrado em Transporte) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 1997.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Secretaria de Política Nacional de Transportes (SPNT). Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNL: Plano Nacional de Logística e Transportes – Relatório Final. Brasília: SPNT/MT, set. 2012.

CARDOSO, A. A. A.; NEVES, L. N. F. Avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis do bairro de Batista Campos em Belém/PA mediante ao cálculo do índice de condição do pavimento. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento - Norma DNIT 009/2003 – PRO. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2003.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Gerência de Pavimentos. 2. ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2011.

FERNANDES JÚNIOR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos. 1999. Apostila. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 1999.

GROSELLI, Camila. Avaliação da prática de gerência de pavimentos urbanos em municípios do estado do Paraná. 2021. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; FALLS, L. C. Pavement Asset Management. Scrivener Publishing Company. Beverly, Massachusetts, USA, 2015.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. P. Modern Pavement Management. Krieger Publishing. Malabar, Fla, 1994.

HUANG, Y.H. Pavement Analysis and Design. Paramount Communication Company: New Jersey, 1993.

KULASH, Damian J. The Strategic Highway Research Program (SHRP). [S.l.]: National Research Council

MACHADO, Denise Maria Camargo. Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MAPC. Pavement Management, A Manual for Communities. U. S. Department of Transportation. Metropolitan Area Planning Council, Boston, MA, 1986.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project. Washington, DC: Strategic Highway Research Program, 1993. (SHRP-P-338).

PEREIRA, Abel Lemos. Estudo correlacional entre a qualidade do pavimento e indicadores demográficos e socioeconômicos no Bairro de Batista Campos em Belém-PA. 2023. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.

PEREIRA, L. M.; FERREIRA, S. R. Avaliação de Defeitos Estruturais em Pavimentos. Porto Alegre: Editora Técnica, 2012.

PRESTES, M. P. Métodos de avaliação visual de pavimentos flexíveis: um estudo comparativo. 2001.

RIBEIRO, T. P. Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 1, n. 04, p. 733-754, 2017.

SHAHIN, M. Y. Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Editora Chapman & Hall: New York, 1994.

SOUSA, Talmo Cunha de. Avaliação objetiva de pavimentos flexíveis pelo método do ICP/SHRP: estudo de caso, bairro de Batista Campos em Belém-PA. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

SOUTO, I. A. Análise de métodos de cálculo do índice de condição do pavimento aplicado à gerência de pavimentos urbanos. 2018. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

ZANCHETTA, F. Aquisição de dados sobre a condição dos pavimentos visando a implementação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos. 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ZANCHETTA, Fábio. Sistema de Gerência de Pavimentos Urbanos: Avaliação de Campo, Modelo de Desempenho e Análise Econômica. 2017. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

BARBETTA, Pedro Alberto. Estatística Aplicada às Ciências Sociais. 9 ed. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 2014.