



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
"CAMPUS ILHA SOLTEIRA"

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PROJETOS DE MANUTENÇÃO EM RODOVIAS PAVIMENTADAS:
ESTUDO OBJETIVO NA PERSPECTIVA DA GESTÃO DE
PAVIMENTOS**

BRUNO CORREA GARCIA

Ilha Solteira- SP

Julho de 2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
"CAMPUS ILHA SOLTEIRA"

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**PROJETOS DE MANUTENÇÃO EM RODOVIAS PAVIMENTADAS:
ESTUDO OBJETIVO NA PERSPECTIVA DA GESTÃO DE
PAVIMENTOS**

BRUNO CORREA GARCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha
Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima.

Ilha Solteira – SP
Julho de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G216p Garcia, Bruno Correa.
Projetos de manutenção em rodovias pavimentadas: estudo objetivo na perspectiva da gestão de pavimentos / Bruno Correa Garcia. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
50 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Jairo Salim Pinheiro de Lima

Inclui bibliografia

1. Manutenção rodoviária. 2. Pavimento. 3. Gestão de indicadores.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO: ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES

REALIZADA EM: 12-07-2024

DISCENTE: Bruno Correa Garcia

COMISSÃO EXAMINADORES

1. Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima – UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador).
2. Prof. Ms. Gean Pereira da Silva Júnior – UNESP/FE Ilha Solteira (Examinador).
3. Profa. Dra. Cláudia Scoton Antonio Marques – UNESP/FE Ilha Solteira (Examinadora).

Título do trabalho: Projetos de manutenção em rodovias pavimentadas: estudo objetivo na perspectiva de gestão de pavimentos.

Local: Vídeo conferência. Unesp, Departamento de Engenharia Civil.

Horário de início: 10 h

Em sessão pública, após exposição em torno de 30 (trinta minutos), o discente foi arguido oralmente, e no final da exposição foi **"APROVADO"** pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo discente.

Ilha Solteira, 12 de julho de 2024.

Documento assinado digitalmente



JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA
Data: 12/07/2024 11:48:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima
UNESP/FE Ilha Solteira (Orientador)

Documento assinado digitalmente



GEAN PEREIRA DA SILVA JÚNIOR
Data: 12/07/2024 12:07:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ms. Gean Pereira da Silva Junior
UNESP/FE Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente



CLAUDIA SCOTON ANTONIO MARQUES
Data: 12/07/2024 12:20:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Claudia Scoton Antonio Marques
UNESP/FE Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente



BRUNO CORREA GARCIA
Data: 12/07/2024 12:02:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ciente:

Discente: Bruno Correa Garcia

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Cursos: Agronomia, Ciências Biológicas, Eng. Civil, Eng. Elétrica, Eng. Mecânica, Física, Matemática e Zootecnia.
Avenida Brasil Centro, 56 Caixa Postal 31 CEP 15385-000 Ilha Solteira São Paulo Brasil
pabx (18) 3743 1000 fax (18) 3742 2735 scom@adm.feis.unesp.br www.feis.unesp.br

AGRADECIMENTOS

Em especial, deixo meu agradecimento para Marilene C. da Silva Garcia, minha mãe; Olegário B. Rosa Garcia, meu pai; Murilo C. Garcia, meu irmão; Breno C. Garcia, meu irmão; Dr. Jairo Salim Pinheiro de Lima, meu orientador; além destes citados, gostaria de deixar meu agradecimento à minha família como um todo, aos excelentes professores e funcionários da FEIS, a todos que auxiliaram de alguma forma nesse trabalho de conclusão de curso, à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira por proporcionar tantas boas experiências acadêmicas e de vida, e pôr fim aos meus colegas e amigos de classe, os quais foram minha segunda família durante o curso e levá-lo-eis para vida.

TÍTULO: PROJETOS DE MANUTENÇÃO EM RODOVIAS PAVIMENTADAS: ESTUDO OBJETIVO NA PERSPECTIVA DA GESTÃO DE PAVIMENTOS.

RESUMO

Este estudo busca avaliar a eficiência de projetos de manutenção em pavimentos rodoviários, focando em trechos amostrais das rodovias SP 327, SP 225 e SP 270. Analisando intervenções específicas, como fresagem e recomposição, e comparando dados de fluxo de veículos (VDM), quantidade de intervenções realizadas, soluções aplicadas e reincidência de problemas. A pesquisa adota uma metodologia que inclui a identificação detalhada das patologias dos pavimentos e a investigação dos fatores que influenciam seu desempenho, utilizando uma abordagem baseada em dados quantitativos e qualitativos. Os resultados revelaram correlações significativas entre as variáveis estudadas, destacando a necessidade de implementar um sistema de gestão eficiente para a manutenção rodoviária, incluindo a criação de painéis de controle e gestão de indicadores. Esses painéis permitem uma abordagem mais assertiva para a manutenção preventiva, priorizando intervenções em áreas críticas. O estudo sugere que outros fatores, além dos analisados, devem ser considerados. Portanto, apesar das correlações identificadas, é necessário avaliar outras variáveis, como a condição atual do pavimento, sua vida útil, a carga média dos veículos e a qualidade dos serviços de manutenção, para uma compreensão mais completa e detalhada das necessidades de manutenção, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes.

Palavras-chave: Manutenção Rodoviária; Pavimento; Gestão de Indicadores .

TITLE: MAINTENANCE PROJECTS ON PAVED HIGHWAYS: AN OBJECTIVE STUDY FROM THE PAVEMENT MANAGEMENT PERSPECTIVE.

ABSTRACT

This study aims to assess the efficiency of maintenance projects on road pavements, focusing on sampled sections of the SP 327, SP 225, and SP 270 highways. Analyzing specific interventions such as milling and recomposition, and comparing data on vehicle flow (VDM), quantity of interventions performed, solutions applied, and recurrence of issues, the research adopts a methodology that includes detailed identification of pavement pathologies and investigation into factors influencing their performance, using a data-driven approach. The results reveal significant correlations among the variables studied, highlighting the need to implement an efficient management system for road maintenance, including the creation of control panels and indicator management. These panels allow for a more targeted approach to preventive maintenance, prioritizing interventions in critical areas, but the study suggests that other factors, beyond those analyzed, should be considered. Therefore, despite the identified correlations, it is necessary to evaluate other variables such as the current condition of the pavement, its lifespan, average vehicle load, and maintenance service quality for a more comprehensive understanding of maintenance needs, contributing to the development of more effective strategies.

Keywords: Road Maintenance; Pavement; Indicator Management .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.0 - Corte transversal: camadas do pavimento asfáltico flexível.....	3
Figura 2.0 - Variação da serventia com o tráfego ou tempo utilização da via.....	7
Figura 3.0 - Formação de painéis.....	9
Figura 4.0 - Exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem de pavimentos em uso.....	11
Figura 5.0 - Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo.....	12
Figura 6.0 - Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de intervenções.....	14
Figura 7.0 - Exemplo de deslizamento de massa.....	14
Figura 8.0 - Exemplo de trincas severas.....	15
Figura 9.0 - Concreto betuminoso usinado a quente.....	17
Figura 10 - Aplicação do cimento de reciclagem de base.....	18
Figura 11 - Aplicação da emulsão asfáltica RR2C ECOFLEX-B.....	18
Figura 12 - Aplicação do antiaderente de pneu remocil 270.....	19
Figura 13 - Roda Trena Medição.....	19
Figura 14 - Fresadora 1000.....	20
Figura 15 - Vibroacabadora.....	20
Figura 16 - Fresadora de pequeno porte.....	21
Figura 17 - Caminhão-prancha.....	21
Figura 18 - Equipamentos de sinalização.....	22
Figura 19 - Utilização da régua niveladora de pedreiro.....	22
Figura 20 - Caminhão espargidor.....	23
Figura 21 - Utilização da fita métrica para conferência de espessura localizada.....	23
Figura 22 - Tablet Samsung S9.....	24
Figura 23 - O rolo compactador pneu e o rolo chapa.....	24
Figura 24 - Forma para coleta de amostras.....	25
Figura 25 - Rolo compactador misto (Pneu e chapa).....	25
Figura 26 - Fluxograma de atividades.....	26
Figura 27 - Painel de gestão de intervenções modelo.....	30
Figura 28 - Mapa de intervenções.....	33
Figura 29 - Mapa dos segmentos amostrais.....	34
Figura 30 - Gráfico de colunas de atendimento por segmento.....	35
Figura 31 - VDMA X Quantidade de intervenções.....	36
Figura 32 - VDMA X Reincidência média.....	37
Figura 33 - Quantidade de Intervenções x Reincidência média.....	38
Figura 34 - Quantidade de Intervenções x Reincidência máxima.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.0 - Níveis de serventia.....	5
Tabela 2.0 - Trechos amostrais.....	30
Tabela 3.0 - Volume médio diário mensal (VDM).....	31
Tabela 4.0 - Volume médio diário anual (VMDA).....	31
Tabela 5.0 - Reincidências de intervenções.....	33

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1 Pavimento Asfáltico Flexível.....	2
3.2 Pavimento Asfáltico Rígido.....	5
3.3 Avaliação Funcional de Pavimentos Asfálticos.....	5
3.4 Conservação Dos Pavimento.....	7
3.4.1 Definição.....	7
3.4.2 Conservação Rotineira.....	8
3.4.3 Conservação Periódica.....	10
3.5 Avaliação Estrutural de Pavimentos Asfálticos.....	10
3.6 Técnicas de Restauração Asfáltica.....	13
3.6.1 Definição.....	13
3.6.2 Técnicas de Restauração de Pavimentos com problemas funcionais.....	15
3.6.3 Técnicas de restauração de pavimentos com problemas estruturais.....	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS.....	17
4.1 Materiais.....	17
4.2 Equipamentos.....	19
4.3 Métodos.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1 Trechos Amostrais.....	31
5.2 Volume médio diário de veículos.....	31
5.3 Intervenções de manutenção do pavimento.....	33
6. CONCLUSÃO.....	40
7. REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Manual de Conservação Rodoviária apresentado pelo DNIT (2005), o transporte, inserido no processo produtivo com destacada função na atividade meio, posiciona-se com relevância no contexto do desenvolvimento global do país, ao mesmo tempo em que constitui indutor ao desenvolvimento socioeconômico e fator de segurança e integração político-administrativa.

Desde a década de 1920, a pavimentação tornou-se elemento central no desenvolvimento do país, influenciado por políticas que reconhecem a infraestrutura rodoviária como um símbolo de progresso.

O grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos (Bernucci et al., 2007). No entanto, a disparidade entre estradas pavimentadas e não pavimentadas destaca a necessidade de foco na eficácia da gestão do ciclo de vida, especialmente na manutenção.

Levantamentos recorrentes da CNT têm apontado a maioria dos pavimentos do Brasil com algum tipo de problema, incluindo trechos concessionados da malha federal. Estima-se ser necessário investimentos de R\$ 38,6 bilhões para a reconstrução e a restauração das rodovias brasileiras. Para qualificar o sistema de transportes nacional considerando todos os modais de transportes, seriam necessários investimentos de R\$ 1,7 trilhão (CNT, 2019).

A história da pavimentação no Brasil evidencia a relevância de estradas bem conservadas, não apenas para o transporte, mas também para a segurança e eficiência econômica, considerar o conforto ao rolamento também significa economia nos custos de transporte (Bernucci et al., 2007).

O modal de transporte rodoviário encontra-se em parte em estado deficiente, sendo os investimentos nas rodovias prioritários neste momento, não apenas por ser o modal mais utilizado, mas por exigir menor investimento quando comparado aos demais modais. Destaque-se ainda que pelo modal rodoviário circulam 95% dos passageiros (CNT, 2019).

Este estudo se concentra na análise do desempenho de um projeto de manutenção em trechos específicos, considerando intervenções como fresagem, recomposição, alto-módulo.

A metodologia adotada inclui a seleção criteriosa de trechos para a análise detalhada, visando identificar patologias e compreender os fatores que influenciam o desempenho do pavimento. Ao comparar dados de controle tecnológico, estudos prévios das condições do pavimento e o fluxo/carga nos trechos, busca-se contribuir para o aprimoramento das estratégias de manutenção e, por consequência, a preservação da qualidade do pavimento.

Este estudo não apenas aborda a importância da gestão do ciclo de vida em pavimentos como referência à tomada de decisão sobre intervenções, mas também apresenta uma análise visando contribuir para o desenvolvimento contínuo das práticas de manutenção em rodovias pavimentadas e maximização dos investimentos.

2. OBJETIVOS

Este estudo teve por objetivo geral analisar a eficiência de projetos de manutenção em pavimentos rodoviários em trechos amostrais das rodovias SP 327, SP 225 e SP 270. Dentre os objetivos específicos, destacaram-se a avaliação de intervenções como fresagem e recomposição. Além disso, foram comparados os dados de fluxo de veículos (VDM), quantidade de intervenções realizadas, soluções aplicadas e reincidência de intervenções.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pavimento asfáltico flexível

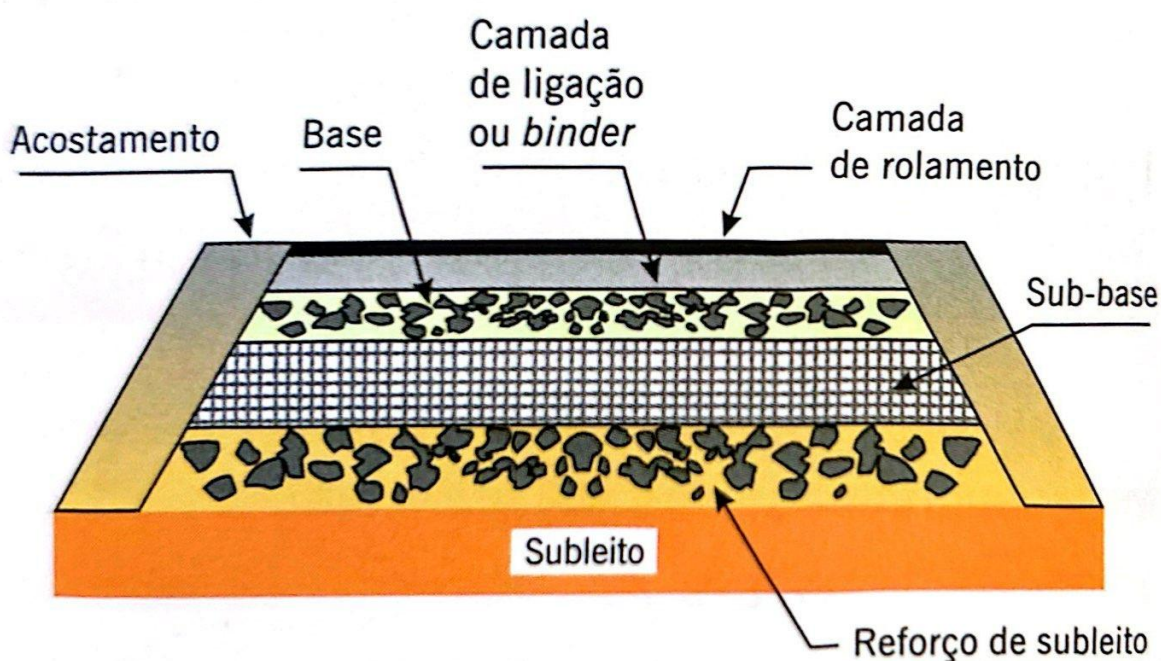
Do ponto de vista estrutural e funcional, segundo Bernucci et al (2007), O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície da terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

O pavimento rodoviário classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: *rígidos* e *flexíveis*. Pavimento *flexível* é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga

se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (DNIT, 2005).

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro principais camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento - em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, algumas camadas podem ser suprimidas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros (Bernucci et al., 2007). Assim, uma representação ilustrativa é apresentada na Figura 1.0.

Figura 1.0 - Corte transversal: camadas do pavimento asfáltico flexível.



Fonte: Bernucci et al, 2007.

Dentre os pavimentos flexíveis, os tipos de pavimento asfáltico são variados e são selecionados com base em uma série de fatores, incluindo o volume e o tipo de tráfego, as condições climáticas locais e a disponibilidade de materiais de construção. Entre os principais tipos de pavimento asfáltico estão o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), a Camada de Rolamento Asfáltica (CRA), o

Tratamento Superficial Duplo (TSD), o Tratamento Superficial Triplo (TST), e o Micro-Revestimento Asfáltico.

A avaliação de pavimentos é essencial para garantir a segurança e a durabilidade das vias rodoviárias. Utilizando técnicas como ensaios em campo e análises laboratoriais, identificam-se defeitos e determina-se a necessidade de intervenções corretivas ou preventivas, tanto em pavimentos existentes quanto em novos projetos, promovendo mobilidade sustentável e de qualidade. Assim, são definidos conceitos fundamentais essenciais para compreender e gerenciar eficazmente essas estruturas (Bernucci et al., 2007):

- serventia: descrição detalhada das características e condições do pavimento, incluindo sua utilidade, capacidade de suporte de carga e qualidade geral;
- desempenho: variação da serventia ao longo do tempo (ou do tráfego) de uso do pavimento;
- gerência: envolve a administração e gestão dos recursos aplicados ao planejamento, projeto, construção, manutenção e avaliação dos pavimentos. Isso inclui a otimização dos processos para garantir a eficiência e durabilidade dos pavimentos ao longo de sua vida útil;
- restauração: consiste em um conjunto de operações destinadas a restabelecer, total ou parcialmente, as características técnicas originais de um pavimento. Isso pode envolver intervenções como manutenção preventiva e reforço para garantir a funcionalidade e segurança do pavimento ao longo do tempo;
- manutenção preventiva: refere-se a correções localizadas que visam preservar a maior parte da superfície do pavimento, substituindo pequenas áreas danificadas para manter sua capacidade de serventia;
- reforço: envolve a restauração do pavimento aproveitando o valor residual de sua estrutura e adicionando uma nova camada de mistura asfáltica, também conhecida como recapeamento. Atualmente, isso pode incluir fresagem do revestimento antigo e adição de nova camada estrutural para melhorar a durabilidade e desempenho do pavimento;
- reconstrução: consiste na reconstrução completa do pavimento, que pode envolver a remoção total dos materiais antigos, desde o subleito até a sub-base, e sua substituição por novos materiais. Alternativamente, pode incluir a reciclagem dos materiais antigos com ou sem adição de

estabilizantes para garantir a qualidade e resistência do pavimento reconstruído.

3.2 Pavimento asfáltico rígido

Os pavimentos rígidos, em geral associados aos pavimentos de concreto de cimento Portland, são compostos por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas, armadas ou não), apoiada geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada em geral de sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário (Bernucci et al., 2007).

3.3 Avaliação funcional de pavimentos asfálticos

O objetivo principal da pavimentação é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e condições climáticas, e proporcionar aos usuários conforto ao rolamento e segurança (Croney, 1977).

A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado influencia no conforto do rolamento. O primeiro método estabelecido de forma sistêmica para a avaliação funcional foi o de serventia de um dado trecho de pavimento, concebida por Carey e Irick (1962) para as pistas experimentais da AASHO (American Association of State Highway) (Bernucci et al., 2007).

O valor de serventia atual é uma atribuição numérica compreendida em escala de 0 a 5, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em determinado trecho, em dado momento da vida do pavimento. Esta escala compreende cinco níveis de serventia, conforme expresso na Tabela 1.0.

Tabela 1.0 - Níveis de serventia

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2

Péssimo	0 a 1
---------	-------

Fonte: DNIT, 2005.

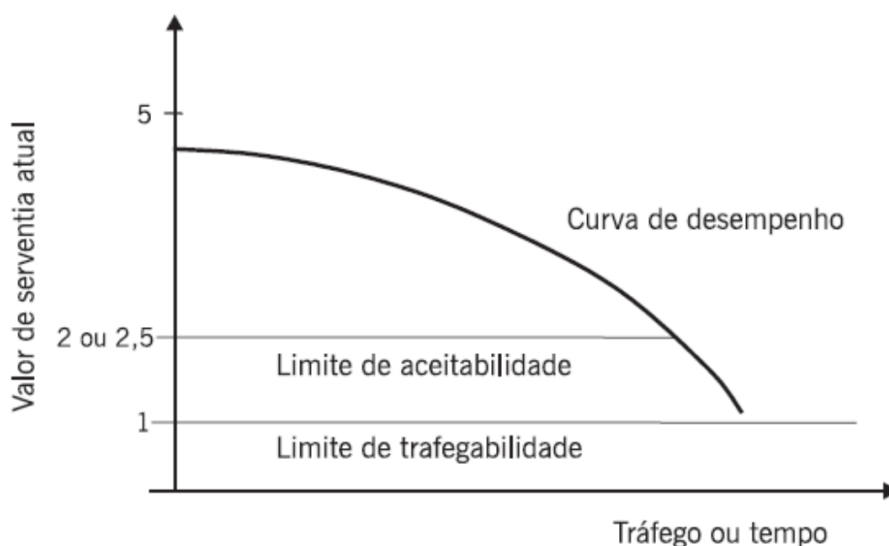
Nos Estados Unidos a avaliação subjetiva de conforto ao rolamento de pavimento é denominada present serviceability ratio (PSR), correspondente no Brasil ao valor de serventia atual (VSA) (DNIT, 2005).

A diminuição do Valor de Serventia Atual (VSA) do pavimento pode ser atribuída a uma série de fatores que afetam a sua condição estrutural e funcional. Uma das principais causas é o desgaste natural do pavimento ao longo do tempo devido ao tráfego veicular constante. O impacto repetido dos pneus dos veículos sobre a superfície do pavimento pode resultar em fissuras, deformações e desgaste da camada de revestimento asfáltico, comprometendo a sua capacidade de proporcionar superfície de rolamento suave e segura. Além disso, as variações climáticas, podem acelerar o processo de deterioração do pavimento, levando à formação de buracos, trincas e desagregação dos materiais constituintes.

Além disso, a diminuição do VSA do pavimento pode ocorrer devido a falhas de projeto, construção e manutenção, resultando uma estrutura menos resistente ao tráfego e mais suscetível a deformações prematuras. Assim, é crucial adotar práticas adequadas nessas áreas para garantir a durabilidade e o bom desempenho do pavimento ao longo do tempo.

Ao longo do tempo, o VSA do pavimento diminui devido a dois fatores principais: o impacto do tráfego e as influências das condições climáticas. A representação esquemática da curva de serventia em relação ao tempo de utilização da via pode ser observada na Figura 2.0.

Figura 2.0 - Variação da serventia com o tráfego ou tempo utilização da via



Fonte: Bernucci et al, 2007.

3.4 Conservação dos pavimento

3.4.1 Definição

A conservação dos pavimentos pode ser definida como sendo um conjunto de serviços destinados à preservação do pavimento nas condições em que ele foi originalmente construído ou no estado em que foi posteriormente restaurado (DNIT, 2005).

Além disso, quanto à conservação, o DNIT (2005) também ressalta que a conservação não deve ser considerada como um recurso temporário, mas um investimento aplicado na infra-estrutura rodoviária e na garantia contra restauração dispendiosa.

Apesar da observância rigorosa das normas de qualidade na construção e nos materiais empregados, as rodovias inevitavelmente sofrem deterioração ao longo do tempo. Assim, a conservação rodoviária se destina a minimizar os impactos desse processo, resultantes da intensidade do tráfego e das condições ambientais, enquanto restaura a utilidade da via por um período adicional. Nesse contexto, a conservação abrange uma diversidade de atividades e operações de engenharia, muitas vezes de escala reduzida, realizadas periodicamente em intervalos que variam de acordo com o clima, o tipo de terreno, o volume de tráfego, a qualidade inicial da construção e o tipo de revestimento utilizado.

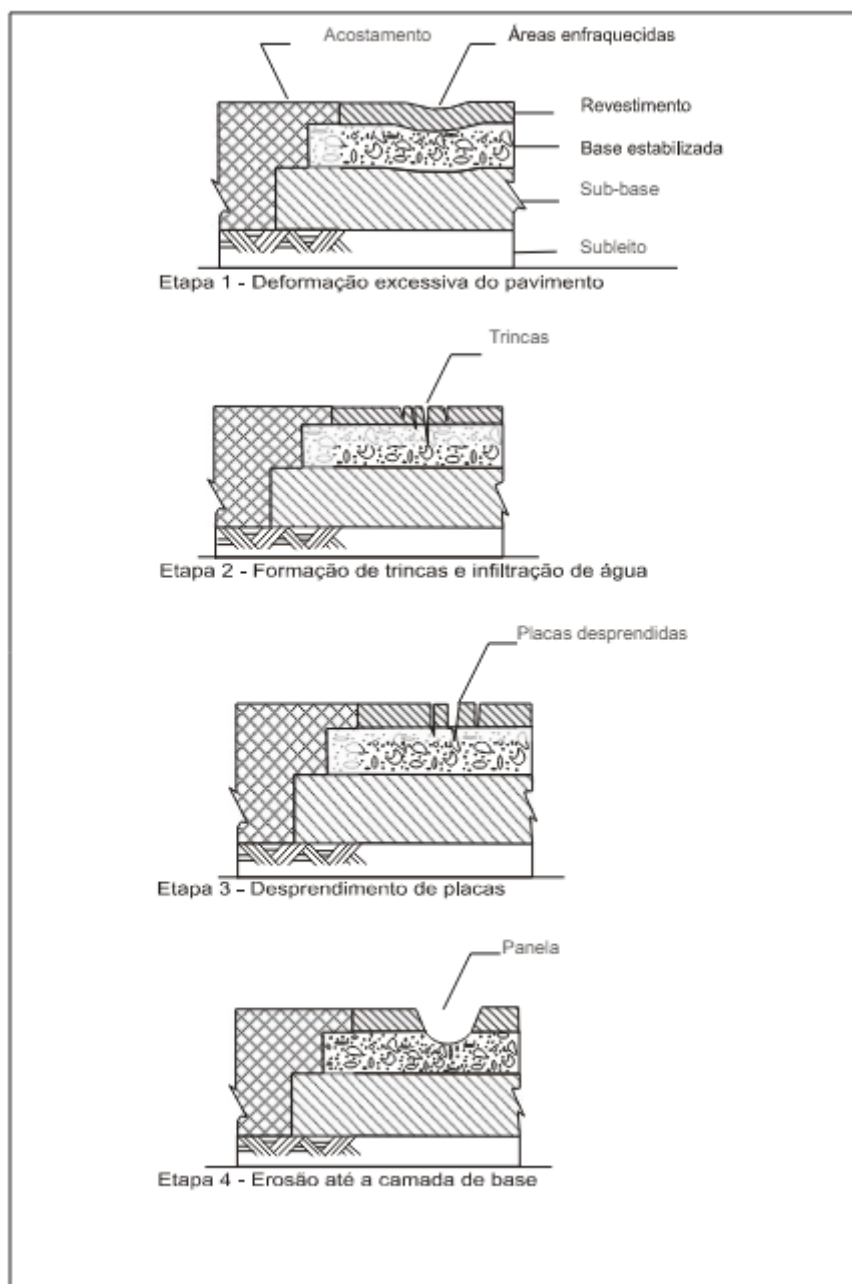
Essas operações, embora em escala menor, desempenham papel crucial na manutenção da integridade e funcionalidade das rodovias. Por meio delas, busca-se não apenas preservar as condições da via, mas também prolongar sua vida útil, garantindo capacidade de atender às demandas de mobilidade da população e da economia. Dessa forma, a conservação rodoviária emerge como uma estratégia essencial para garantir a segurança e eficiência do sistema viário, adaptando-se às exigências variáveis impostas pelo tráfego e pelo ambiente ao longo do tempo.

3.4.2 Conservação rotineira

A conservação rotineira compreende um conjunto de operações realizadas com o objetivo de reparar ou sanar um defeito. Os principais serviços rotineiros para os pavimentos asfálticos são: remendos e selagem de trincas (DNIT, 2005).

Os remendos e reparos são realizados de acordo com a natureza e a gravidade dos defeitos, visando não apenas a segurança do tráfego, mas também a durabilidade e funcionalidade contínua das rodovias. Os buracos, resultantes de diversos fatores como sobrecarga veicular e deficiências construtivas, são reparados para evitar danos mais extensos à estrutura do pavimento, a Figura 3.0 destaca o processo de surgimento de buracos e panelas. Da mesma forma, o trincamento por fadiga é corrigido para garantir que futuros recapeamentos sejam eficazes e duradouros. A seleção criteriosa das áreas a serem reparadas leva em consideração fatores econômicos, buscando o equilíbrio entre a extensão dos reparos e a necessidade de reforço estrutural, visando otimizar os custos de conservação a longo prazo.

Figura 3.0 - Formação de panelas



Fonte: DNIT, 2005.

Além dos remendos e reparos, a reperfilagem e a selagem de trincas são práticas essenciais na conservação rodoviária. A reperfilagem consiste no ajuste da superfície do pavimento para corrigir irregularidades, tornando a via mais segura e confortável para os usuários. A selagem de trincas visa prevenir a infiltração de água e impedir o desenvolvimento de defeitos maiores, prolongando a vida útil do pavimento e garantindo sua integridade estrutural. Essas medidas, quando combinadas, contribuem para a manutenção eficaz das rodovias, promovendo a segurança e a qualidade da infraestrutura viária.

3.4.3 Conservação periódica

A conservação periódica compreende um conjunto de operações realizadas com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos. As atividades de conservação periódica geralmente envolvem a aplicação de uma camada delgada de mistura asfáltica ou um tratamento superficial simples, que têm como finalidade melhorar ou proteger a superfície do pavimento e não acrescer sua capacidade estrutural (DNIT, 2005).

Os principais serviços periódicos relacionados à manutenção da pista de rolamento incluem a aplicação de capa selante, lama asfáltica, camadas porosas de atrito e recapeamentos esbeltos com misturas densas. Tradicionalmente empregados na restauração de rodovias com baixo volume de tráfego, esses métodos estão sendo cada vez mais adotados em vias de alto fluxo, impulsionados pelo aprimoramento das técnicas e dos materiais. Essa ampliação de aplicação visa estender a vida útil do pavimento e garantir a qualidade da infraestrutura, mesmo diante das exigências de tráfego mais intensas.

O DNIT (2005) informa que, técnicas de conservação periódica preventiva não podem ser consideradas propriamente como melhoramentos estruturais, mesmo quando aplicados em camadas que podem atingir até 5,0 cm de espessura. Entretanto, elas podem reduzir a taxa de deterioração do pavimento devido a selagem das trincas e a prevenção contra a infiltração de água na estrutura do pavimento, o que pode ser considerado como contribuição indireta à integridade estrutural do pavimento

3.5 Avaliação estrutural de pavimentos asfálticos

Os pavimentos são estruturas que em geral não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir da abertura ao tráfego (Bernucci et al., 2007).

Apesar da classificação visual denunciar a qualidade de rolamento da via, é a avaliação estrutural que determina a capacidade de carga das camadas no interior do pavimento, e está diretamente vinculada ao seu projeto e dimensionamento. Este tipo de avaliação permite realizar a detecção das causas atribuíveis da degradação no pavimento, o que levaria à definição das operações e procedimentos que devem ser empregados no processo de restauração da via.

O levantamento da condição estrutural do pavimento fornece informações valiosas ao projetista quanto a sua adequação estrutural, o grau de restauração e permite a seleção e dimensionamento da mais adequada alternativa de restauração (DNIT, 2005). Na determinação da capacidade de carga, o princípio básico dos ensaios é a medida da deflexão. A deflexão é a deformação vertical lida no pavimento, quando este é submetido à ação de uma carga.

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser realizada por três métodos: destrutivo, semi-destrutivo e não-destrutivo.

Um Método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga *in situ*. Pela própria natureza destrutiva só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado (Bernucci et al., 2007). A Figura 4.0 apresenta exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimento.

Figura 4.0 - Exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem de pavimentos em uso.



Fonte: Bernucci et al., 2007.

Apesar de vários procedimentos laboratoriais para ensaios de pavimento configurem prática padrão por muitos anos na engenharia, os testes não destrutivos (Non Destructive Testing, NDT) constituem técnicas cada vez mais populares, pois oferecem a alternativa de avaliação rápida, econômica, confiável e de menor interferência ao tráfego (NAZARIAN et al., 1989).

Método semi-destrutivo é aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar instrumentos portátil de pequenas dimensões

para avaliar a capacidade de carga do pavimento. Um exemplo deste tipo de equipamento são os cones dinâmicos de penetração – DCP (Trichês e Cardoso, 2001). A Figura 5.0 mostra a aplicação dessa técnica expedita de avaliação da capacidade de carga de subleitos e camadas de solo fino do pavimento.

Figura 5.0 - Exemplo de equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo.



Fonte: Bernucci et al., 2007.

Os métodos não destrutivos de avaliação estrutural de pavimentos são técnicas eficazes para determinar a condição das vias sem danificar sua superfície. Esses métodos incluem o uso de equipamentos como o Falling Weight Deflectometer (FWD) e o Ground Penetrating Radar (GPR), que permitem medir a capacidade de suporte de carga e identificar defeitos estruturais no pavimento de forma não invasiva. Essas abordagens fornecem informações valiosas para o planejamento de manutenção e reabilitação de pavimentos, contribuindo para a segurança e durabilidade das vias rodoviárias.

Além disso, a avaliação estrutural também desempenha papel fundamental no planejamento de novos pavimentos, pois permite dimensionar adequadamente as camadas do pavimento de acordo com as demandas de tráfego previstas. Ao entender como as diferentes camadas do pavimento interagem sob o impacto das cargas do tráfego, é possível projetar vias mais resistentes e duráveis, contribuindo para a eficiência e a sustentabilidade da infraestrutura rodoviária. Em resumo, a avaliação estrutural de pavimentos é uma ferramenta fundamental para garantir vias seguras, duráveis e eficientes, tanto em pavimentos existentes quanto em novos projetos de construção.

3.6 Técnicas de restauração asfáltica

3.6.1 Definição

A definição de alternativas de restauração requer o estudo das condições do pavimento existente. Esse estudo é precedido por uma avaliação funcional e estrutural do pavimento. As avaliações fornecem dados para a análise da superfície do pavimento e de sua estrutura, bem como para a definição das alternativas adequadas de restauração.

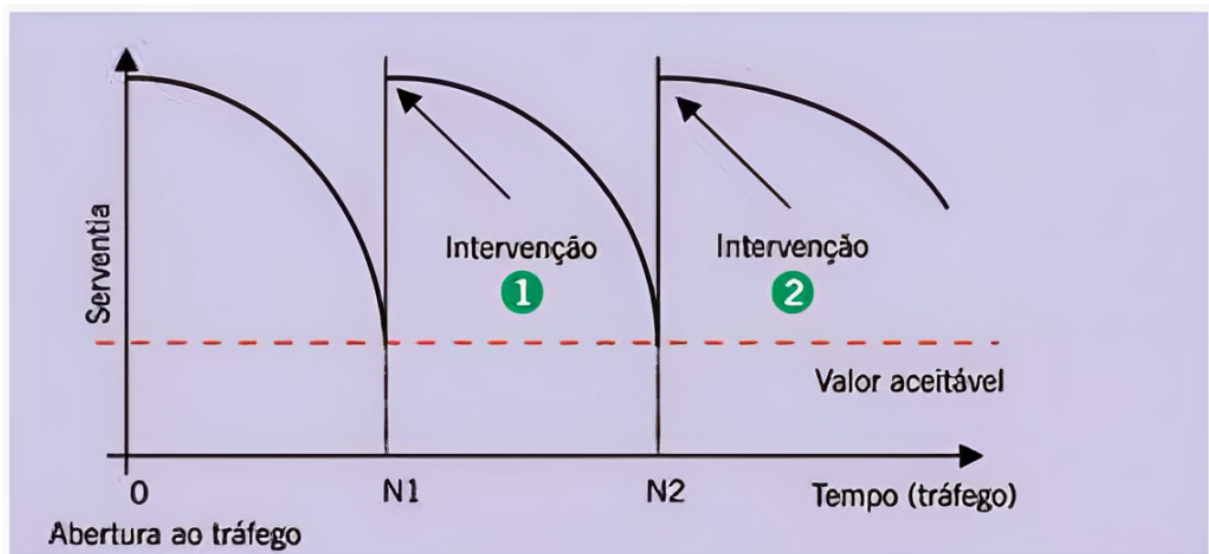
Quanto à manutenção do pavimento, as intervenções planejadas ao longo da vida útil são fundamentais para assegurar conforto e segurança dos usuários, além de evitar intervenções mais invasivas e estendidas que podem surgir devido à deterioração.

A implementação de práticas de manutenção preventiva e corretiva, em intervalos regulares, reduz a probabilidade de que pequenos defeitos se transformem em falhas estruturais mais significativas, como rachaduras extensas ou depressões profundas, que podem vir a exigir reparos mais extensos e onerosos. Essa abordagem também contribui para aumentar a longevidade do pavimento, abordando os sinais de desgaste antes que eles comprometam a integridade estrutural.

Dessa forma, a manutenção proativa proporciona maior durabilidade do pavimento, reduzindo custos de reparos a longo prazo e garantindo níveis consistentes de segurança para os usuários do sistema viário.

Segundo Bernucci et al. (2007), uma forma de se representar uma curva de desempenho de um pavimento ao longo de vários ciclos de restauração (intervenções) pode ser a indicada na Figura 6.0. O critério de avaliação pode ser funcional ou estrutural, e o nível mínimo aceitável para este parâmetro define o momento de realizar a intervenção corretiva de restauração ou reforço.

Figura 6.0 - Representações esquemáticas de curvas de desempenho de um pavimento e etapas de intervenções



Fonte: Bernucci et al, 2007.

A análise de dados das avaliações, por meio de procedimentos específicos, permite desenvolver soluções apropriadas para restauração em cada caso. Essas soluções podem ter natureza funcional ou estrutural. No contexto da correção de imperfeições, as soluções funcionais devem levar em conta a condição da superfície, além da profundidade de rebaixamentos e outras irregularidades. A Figura 7.0 destaca um deslizamento que exemplifica um tipo de falha de natureza funcional.

Figura 7.0 - Exemplo de deslizamento de massa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Caso a restauração deva ser de cunho estrutural, faz-se necessário utilizar um método de projeto que considere as características de deformabilidade das camadas e do novo revestimento, levando em conta os parâmetros de rigidez medidos ou obtidos por retroanálise para calcular as espessuras necessárias de reforço. Procedimentos de projeto que resultem em espessura de camada asfáltica usinada complementar de reforço estrutural não devem ser empregados sem que haja necessariamente a verificação do estado do pavimento existente. Camadas superficiais deterioradas ou a presença de trincas severas no pavimento antigo podem se refletir na nova camada em curto intervalo de tempo após a execução da restauração asfáltica (Bernucci, 2007). A Figura 8.0 destaca a presença de trincas severas identificadas na camada superficial do pavimento.

Figura 8.0 - Exemplo de trincas severas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

3.6.2 Técnicas de restauração de pavimentos com problemas funcionais

Segundo Bernucci et al. (2007), quando não há problemas estruturais e a restauração é necessária para corrigir defeitos funcionais na superfície, normalmente são usados os seguintes tipos de revestimento:

- lama asfáltica (selagem de trincas e rejuvenescimento);
- tratamento superficial simples ou duplo;
- microrrevestimento asfáltico;
- Concreto Betuminoso Usinado a Quente;

- mistura do tipo camada porosa de atrito, SMA ou misturas descontínuas

Esses revestimentos podem ser aplicados individualmente ou em conjunto, e, dependendo do caso, podem ou não ser precedidos pela remoção de parte do revestimento antigo por meio de fresagem.

3.6.3 Técnicas de restauração de pavimentos com problemas estruturais

Problemas estruturais em pavimentos representam desafios significativos, exigindo intervenções específicas para garantir a integridade e a segurança da via. Estes problemas incluem falta de capacidade de suporte devido a diversos fatores como tráfego intenso e má compactação do solo, fragilidade do material devido ao envelhecimento e exposição às intempéries, inadequação da espessura do pavimento em relação à carga suportada e problemas de drenagem resultando em acúmulo de água sob o pavimento. Além disso, questões relacionadas ao subleito, como instabilidade do solo devido a expansão, presença de lençóis freáticos elevados ou má drenagem, também podem afetar a estrutura do pavimento.

A resolução destes problemas demanda técnicas como reforço do subleito, reconstrução do pavimento com espessura adequada, estabilização do solo e aplicação de camadas de base reforçadas. A identificação precoce e análise detalhada dos problemas estruturais são cruciais para a implementação eficaz das soluções e para garantir a longevidade e funcionalidade dos pavimentos (Bernucci, 2007).

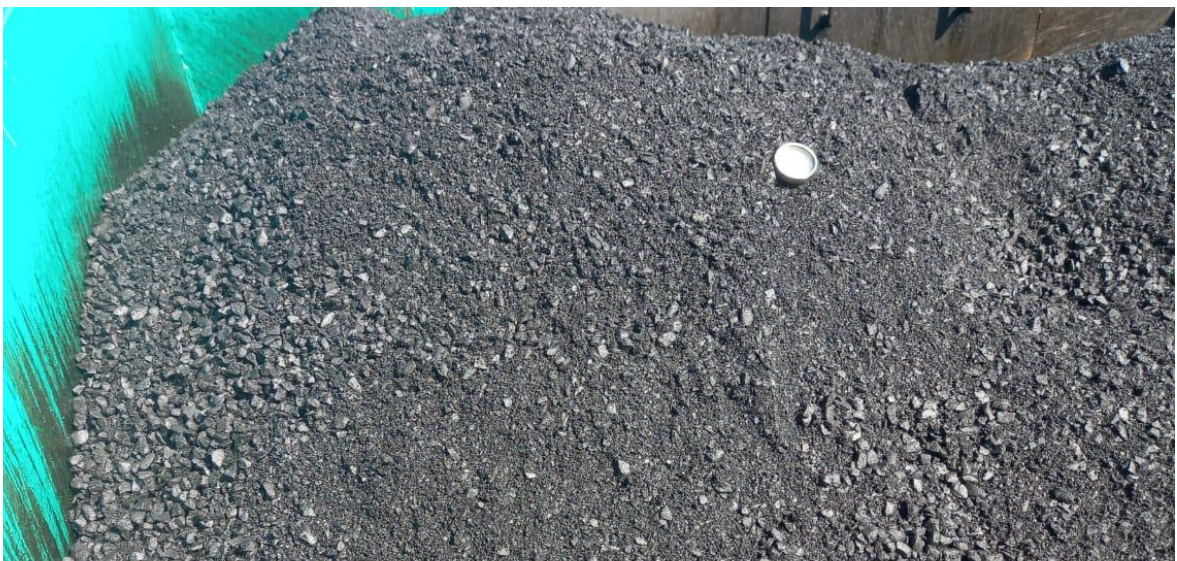
4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

4.1 Materiais

Para a seleção dos trechos amostrais analisados neste estudo, foram definidos dez segmentos amostrais, contidos na área de intervenção definida pelo projeto de manutenção da rodovia e intervenções emergenciais. Cada segmento possui dez quilômetros de extensão, e a escolha foi baseada na maior disponibilidade de dados, bem como nos critérios estabelecidos pelo plano de manutenção e necessidades emergenciais. Assim, buscou-se garantir que as amostras contivessem informações robustas e relevantes para a análise, embora sem a intenção de representar integralmente a condição geral da rodovia.

No desenvolvimento das intervenções no pavimento foram empregados os Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) e o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) nas graduações 30/45 e 80/65 (conforme Figura 9.0).

Figura 9.0 - Concreto betuminoso usinado a quente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para os procedimentos de reciclagem da base, utilizou-se o cimento ECOFLEX (Cimentos Asfálticos de Petróleo modificados por Borracha Moída de Pneus - Asfaltos Borracha), conforme Figura 10.

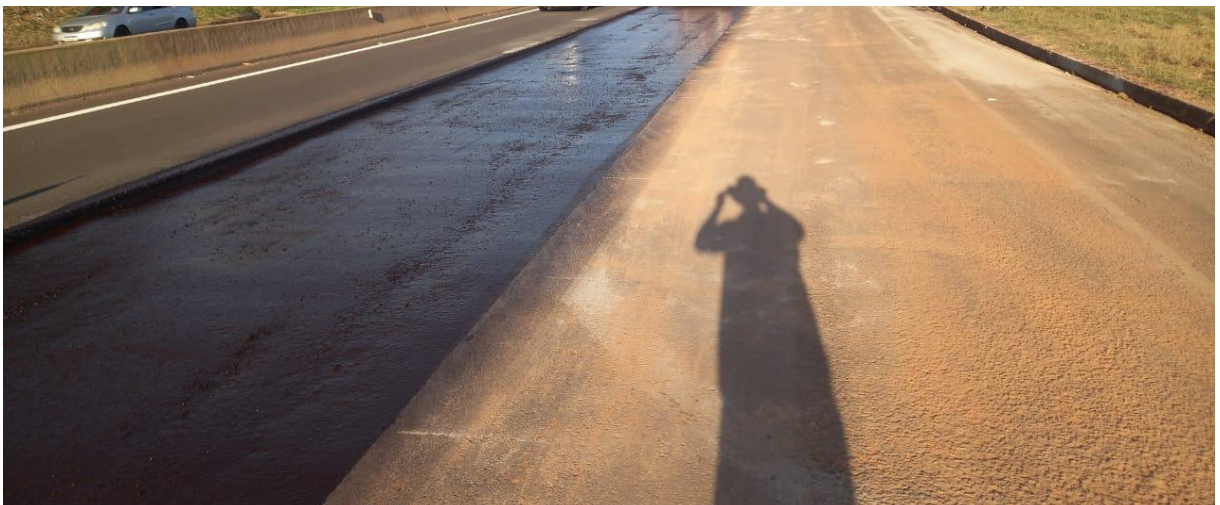
Figura 10 - Aplicação do cimento de reciclagem de base.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A imprimação foi realizada com a emulsão asfáltica RR2C ECOFLEX-B (conforme Figura 11).

Figura 11 - Aplicação da emulsão asfáltica RR2C ECOFLEX-B.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Como agente antiaderente de pneus, empregou-se o Remocil "270" (conforme Figura 12).

Figura 12 - Aplicação do antiaderente de pneu remocil 270.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Todos os materiais foram fornecidos pela empresa parceira CART ou pelas empreiteiras contratadas.

4.2 Equipamentos

Durante a execução dos trabalhos, uma variedade de equipamentos especializados foi utilizada para garantir a precisão e eficiência das atividades. Destacam-se a Roda Trena Medição Bosch GWM 32 (conforme Figura 13), fundamental para medições precisas ao longo da obra.

Figura 13 - Roda Trena Medição.



Fonte: Bosch, 2024.

A Fresadora 1000 (conforme Figura 14) desempenhou papel crucial na fresagem do pavimento, preparando a superfície para os próximos passos da obra.

Figura 14 - Fresadora 1000.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A vibroacabadora foi utilizada para misturar a massa asfáltica e lançamento da mistura na área de intervenção (Figura 15).

Figura 15 - Vibroacabadora.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Fresadora de pequeno porte (conforme Figura 16) garantiu a remoção precisa de pavimento danificado.

Figura 16 - Fresadora de pequeno porte.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O Caminhão Prancha (conforme Figura 17) foi essencial para o transporte seguro de equipamentos e materiais.

Figura 17 - Caminhão-prancha.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os Equipamentos de Sinalização (conforme Figura 18) asseguraram a segurança dos trabalhadores e usuários da via.

Figura 18 - Equipamentos de sinalização.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Régua Niveladora de Pedreiro (conforme Figura 19) foi utilizada para garantir a uniformidade das superfícies.

Figura 19 - Utilização da régua niveladora de pedreiro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O caminhão espargidor é essencial para a imprimação da caixa (conforme Figura 20).

Figura 20 - Caminhão espargidor.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Fita Métrica (conforme Figura 21) foi indispensável para medições precisas.

Figura 21 - Utilização da fita métrica para conferência de espessura localizada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O Tablet Samsung, (conforme Figura 22), foi utilizado para o registro de dados e acesso às informações técnicas.

Figura 22 - Tablet Samsung S9.



Fonte: Samsung, 2023.

Os rolos pneu e de chapa para compactação das camadas (Conforme Figura 23).

Figura 23 - O rolo compactador pneu e o rolo chapa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Por fim, a Forma para Coleta de Amostras (conforme Figura 24) permitiu a coleta de materiais para análises laboratoriais, garantindo a qualidade dos materiais utilizados.

Figura 24 - Forma para coleta de amostras.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Além disso, vale destacar que para a compactação das camadas quando utilizada a mini carregadeira foi utilizado o rolo misto para compactação (Figura 25). Todos os equipamentos foram selecionados com base em sua confiabilidade e capacidade de contribuir para o sucesso das intervenções no pavimento.

Figura 25 - Rolo compactador misto (Pneu e chapa).

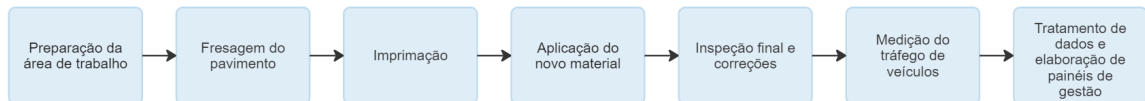


Fonte: directindustry, 2024.

4.3 Métodos

De acordo com as atividades realizadas foi elaborado o fluxograma apresentado pela Figura 26.

Figura 26 - Fluxograma de atividades.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As atividades apresentadas no fluxograma (Figura 26) podem ser descritas pelos seguintes processos:

Preparação da área de trabalho

- Implementação de medidas de segurança viária.
- Sinalização e isolamento da região a ser fresada.
- Inspeção preliminar para identificar anomalias estruturais ou de drenagem.

Fresagem do pavimento

- Uso de fresadora de pequeno porte ou Fresa 1000 para remoção da camada superficial deteriorada.
- Reciclagem da base com adição de cimento (se necessário).

Imprimação

- Aplicação de uma fina camada de emulsão asfáltica com caminhão espargidor sobre a superfície fresada.

Aplicação do novo material

- Lançamento da mistura de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) na caixa de pavimentação.
- Compactação com rolos compactadores Pneu e Chapa, ou rolo misto.

Inspeção Final e Correções

- Inspeção detalhada para garantir conformidade com as especificações técnicas.
- Correção de quaisquer imperfeições.

Medição do tráfego

- Calibração e configuração dos sensores do Sistema de Aquisição de Dados de Tráfego (SAT).
- Coleta contínua de dados por vários dias ou semanas.
- Processamento e análise dos dados para calcular o VMD.
- Compilação dos resultados em relatórios detalhados.

Tratamento de dados e elaboração de painéis de gestão

- Registro e armazenamento dos dados em sistema online.
- Exportação e carregamento dos dados em planilhas.
- Limpeza, transformação e padronização dos dados.
- Utilização dos dados para análises detalhadas e elaboração de painéis de gestão.
- Monitoramento do progresso das obras e avaliação do impacto das intervenções.

Inicialmente, uma meticulosa preparação da área de trabalho é realizada, envolvendo não apenas a implementação de medidas de segurança viária, como a devida sinalização e o isolamento da região a ser fresada, mas também a inspeção preliminar para identificação de eventuais anomalias estruturais ou de drenagem que demandem intervenção. O procedimento de fresagem e recomposição, de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo DNIT (2005), desempenha um papel crucial na preservação e reabilitação de pavimentos rodoviários

O uso de equipamentos especializados, como a fresadora de pequeno porte ou a Fresa 1000, permite a remoção precisa e eficiente da camada superficial deteriorada do pavimento, proporcionando uma superfície sadia para a aplicação do novo material. Em casos de necessidade, a reciclagem da base com a adição de cimento é uma prática adotada, conferindo maior durabilidade e resistência ao pavimento reconstruído. Essa técnica, além de promover a sustentabilidade da obra ao minimizar o descarte de materiais, contribui para a redução dos custos de produção a longo prazo.

Antes do lançamento do novo material, é realizada a imprimação. Durante esse processo, um caminhão espargidor é empregado para aplicar uma fina camada de emulsão asfáltica sobre a superfície fresada. Essa camada tem como objetivo

promover a aderência entre o pavimento existente e o novo material a ser aplicado, assegurando integração homogênea e eficaz entre as diferentes camadas do pavimento.

A mistura de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) com Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) é então lançada na caixa de pavimentação, utilizando-se a fresadora para garantir precisão e eficiência ao processo. A aplicação do novo material é seguida de uma etapa de compactação minuciosa, na qual são empregados rolos compactadores Pneu e Chapa, ou o rolo misto quando a fresagem é realizada com a fresadora de pequeno porte. Esses equipamentos garantem a densidade necessária do pavimento, eliminando vazios e assegurando a estabilidade e resistência da superfície reconstruída.

Por fim, uma inspeção detalhada é conduzida para garantir que o trabalho realizado atenda às especificações técnicas estabelecidas pelo DNIT (2005). Quaisquer imperfeições identificadas são corrigidas prontamente, assegurando não apenas a qualidade do pavimento, mas também a segurança e a funcionalidade adequada da via.

Para complementar o processo de manutenção e garantir a eficácia da reconstrução, é essencial realizar o controle de tráfego durante todo o período de vida do pavimento. Essa medição é fundamental para o controle do tráfego e traz inúmeros benefícios, como a melhoria na gestão de fluxo de veículos, a identificação de pontos críticos para intervenções futuras e a otimização dos recursos aplicados na manutenção da rodovia.

As três rodovias envolvidas no estudo contam com diversos pontos de medição, estrategicamente localizados em praças de pedágios, entradas e saídas de vicinais, além de outros pontos-chave. Para este estudo específico, foram utilizados 10 pontos de medição, selecionados entre todos os pontos disponíveis nas rodovias.

Além disso, a medição do Volume Diário Médio (VMD) de uma rodovia utilizando um Sistema de Aquisição de Dados de Tráfego (SAT) envolveu uma série de etapas.

Os sensores foram calibrados e configurados para registrar automaticamente o número de veículos que passaram por eles em intervalos regulares de tempo, geralmente a cada 15 minutos.

Para o ano de 2023, a medição dos dados foi coletada continuamente pelos sensores do SAT diariamente, garantindo uma amostragem representativa do volume de tráfego ao longo do tempo. Durante esse período, a equipe responsável monitorou o funcionamento dos sensores e realizou verificações regulares para garantir a precisão e confiabilidade dos dados cadastrados.

Após o período de coleta de dados, as informações foram processadas e analisadas para calcular o VMD da rodovia em cada ponto de medição. Esse cálculo foi feito pela média do número de veículos que passaram pelos sensores em um determinado período de tempo, expresso neste estudo a quantidade de veículos por mês, conforme a Equação 1.

$$VMD = \frac{Q}{t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo;

Q = Quantidade de veículos no período

t = Quantidade de dias para o período

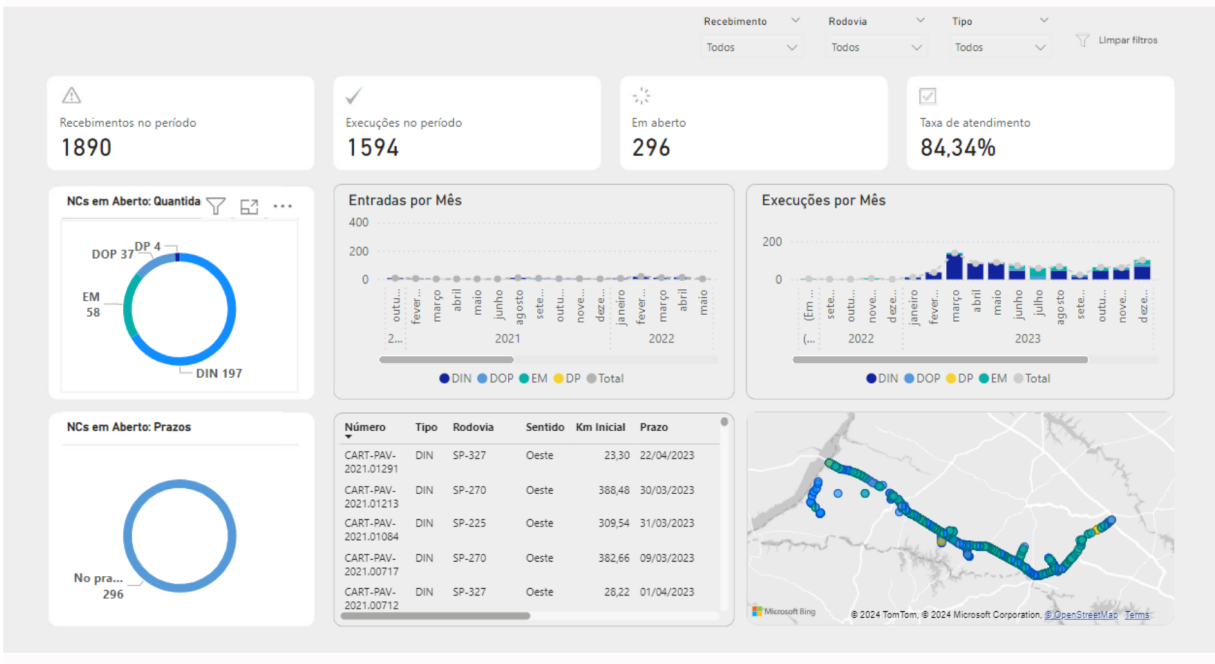
Os resultados das medições para determinar o VMD foram compilados em relatórios detalhados e utilizados pelos órgãos responsáveis pela gestão e manutenção da rodovia para tomar decisões informadas sobre planejamento, projeto e operação da via.

Após as intervenções realizadas, todos os dados obtidos são registrados e armazenados em um sistema online dedicado. Esses dados são posteriormente exportados e carregados em planilhas para serem tratados. Durante o processo de tratamento, são realizadas diversas etapas para garantir a qualidade e a integridade dos dados, incluindo a limpeza, transformação e padronização. Uma vez tratados, os dados são utilizados para análises detalhadas e a elaboração de painéis de gestão.

Os painéis de gestão (conforme Figura 27) fornecem uma visão abrangente do desempenho das intervenções realizadas, permitindo que gestores e tomadores

de decisão tenham acesso às informações relevantes de forma rápida e intuitiva. Esses painéis permitem monitorar o progresso das obras, identificar tendências, avaliar o impacto das intervenções e tomar decisões estratégicas embasadas em dados concretos.

Figura 27 - Painel de gestão de intervenções modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Essa abordagem de gestão baseada em dados proporciona maior eficiência na tomada de decisões, permitindo o acompanhamento detalhado do desempenho das intervenções e a identificação de oportunidades de melhoria contínua.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Trechos amostrais

As informações sobre os segmentos de estudo estão presentes na Tabela 02.

Tabela 2.0 - Trechos amostrais

Segmento	Rodovia	Estaca inicial (Km+m)	Estaca final (Km+m)
A	SP-225	241+950	251.950
B	SP-225	284+250	294+250
C	SP-225	307+000	317+000
D	SP-327	005+000	015+000
E	SP-327	020+870	030+870
F	SP-270	377+200	387+200
G	SP-270	436+100	446+100
H	SP-270	513+600	523+600
I	SP-270	579+850	589+850
J	SP-270	619+000	629+000

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5.2 Volume médio diário de veículos

A Tabela 03 fornece os valores de Volume Médio Diário (VMD) para cada trecho selecionado. A inclusão desses dados visa oferecer compreensão abrangente das condições de tráfego em cada trecho, contribuindo para a precisão e relevância dos resultados do estudo. Vale destacar que para este estudo não está sendo avaliado proporção do tipo de veículo e a carga para o volume médio de cada segmento.

Tabela 3.0 - Volume médio diário mensal (VDM)

Mês	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Jan.	7.109	6.894	16.852	14.870	12.365	8.866	13.428	5.555	11.752	7.266
Fev.	7.085	6.716	11.945	12.907	10.438	16.473	12.199	4.840	13.357	6.680
Mar.	7.405	6.995	12.428	12.386	9.896	16.499	12.502	4.599	13.716	6.564
Abril	6.996	6.911	13.265	13.268	10.843	17.153	12.601	4.492	13.906	6.617
Maio	6.982	7.088	12.535	12.373	9.928	16.549	12.419	4.268	13.964	6.607
Jun.	6.994	7.035	12.790	12.746	10.347	16.690	12.491	4.384	14.079	6.635
Jul.	7.729	7.662	14.564	14.405	11.835	18.513	13.679	5.245	14.982	7.404
Agosto	7.484	7.334	12.948	12.771	10.445	16.568	13.097	4.587	14.364	6.913
Set.	7.264	7.408	13.851	13.698	10.934	17.752	13.813	5.103	14.787	7.221
Out.	7.303	7.368	13.362	13.466	10.857	17.308	13.330	4.966	14.843	7.289
Nov.	7.622	7.412	13.637	13.242	9.913	17.358	13.537	4.865	14.831	7.184
Dez.	8.109	8.330	16.232	16.004	16.381	19.570	14.781	5.764	14.609	8.527

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Tabela 04 destaca as estacas onde foram realizadas as medições, juntamente com o Volume Médio Diário Anual (VMDA) para cada segmento. Esta tabela oferece uma visão detalhada dos pontos exatos de coleta de dados, permitindo análise abrangente do tráfego anual. Assim, complementando as informações obtidas na Tabela 03, enriquecendo a compreensão das condições de tráfego em cada trecho estudado.

Tabela 4.0 - Volume médio diário anual (VMDA)

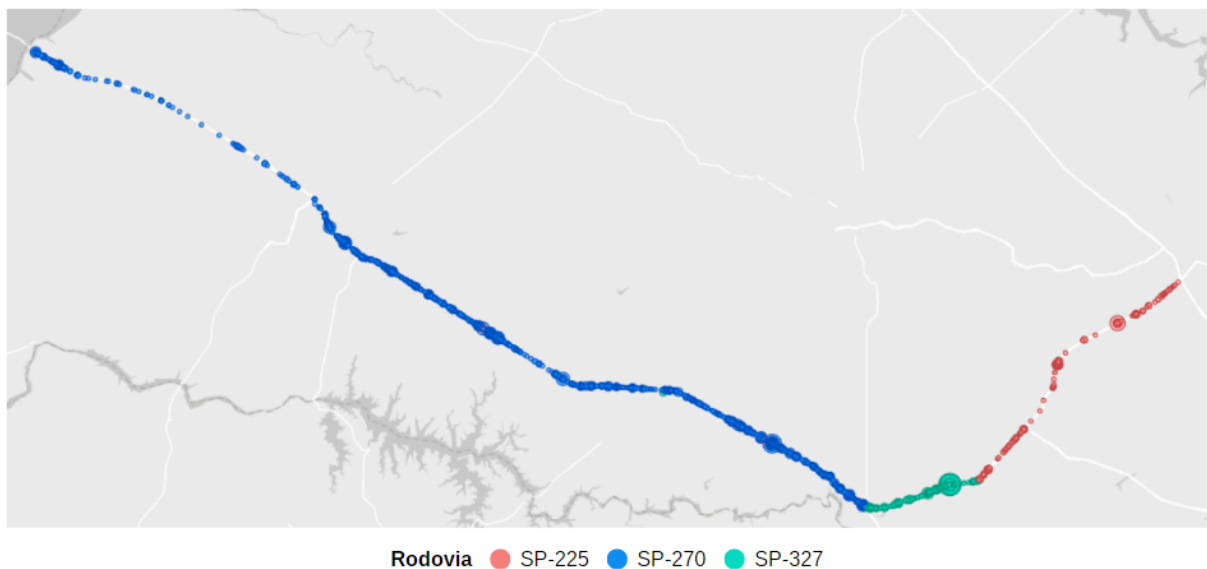
Segmento	Estaca de medição (Km+m)	VDMA
A	246+950	7.344
B	289+250	7.268
C	312+000	13.719
D	010+000	13.519
E	025+870	11.195
F	382+200	16.602
G	441+100	13.165
H	518+600	4.891
I	584+850	14.102
J	624+000	7.081

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5.3 Intervenções de manutenção do pavimento

Com base no banco de dados contendo informações desde o ano de 2021 até 2023, a Figura 28 é um mapa de bolhas que ilustra os locais das intervenções realizadas nas três rodovias em estudo: SP-225, SP-270 e SP-327, sendo a reincidência representada proporcional ao tamanho das bolhas. O banco de dados é composto exclusivamente por atividades de fresagem, recomposição, alto módulo e quando necessário realizada a reciclagem de base. O estudo considera apenas atendimentos onde os serviços de manutenção foram aprovados de acordo com os parâmetros de controle tecnológico da empresa CART. Neste mapa, o tamanho das bolhas está proporcionalmente ligado ao número de intervenções ocorridas em cada estaca de 100 metros. Esse formato visual permite identificar rapidamente as áreas com maior concentração de intervenções, facilitando a análise dos pontos críticos e a distribuição dos trabalhos ao longo das rodovias.

Figura 28 - Mapa de intervenções.

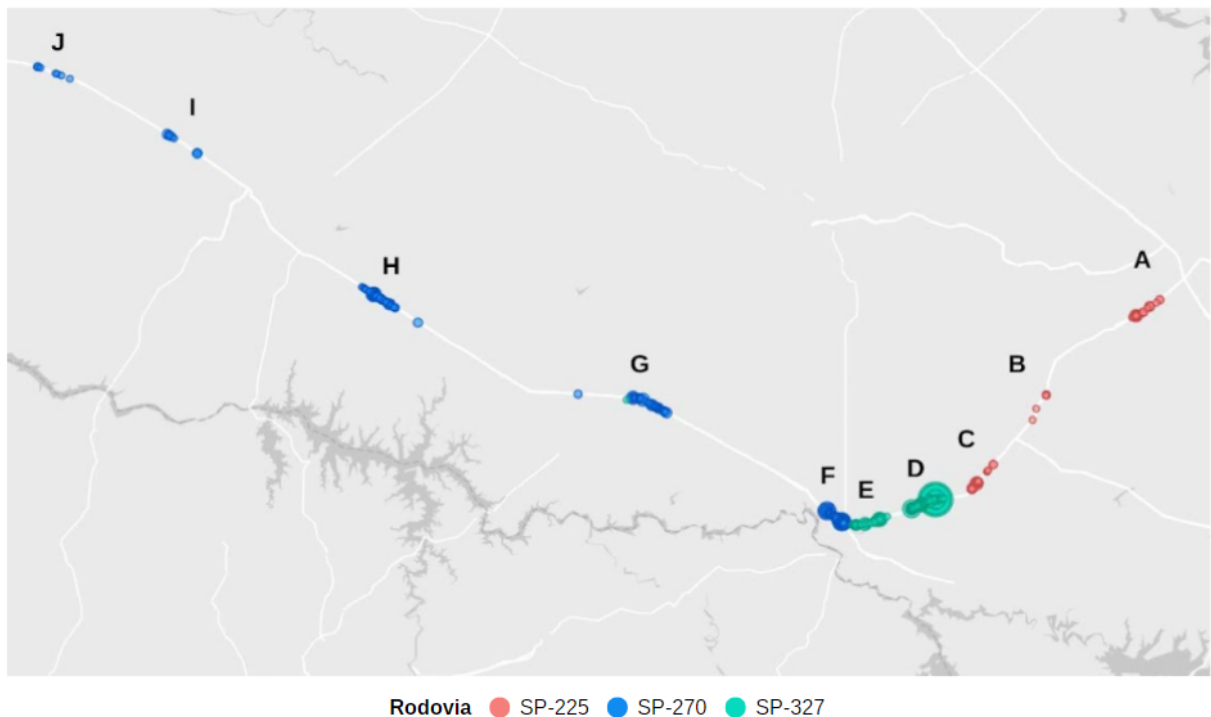


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Figura 29 mostra um mapa de bolhas semelhante ao da Figura 28, mas com foco específico nas intervenções localizadas nos segmentos amostrais definidos na Tabela 02. Este mapa destaca exclusivamente as intervenções ocorridas nos trechos selecionados para o estudo, proporcionando uma visão

detalhada das áreas de maior atividade dentro dos segmentos analisados. Assim, facilitando a correlação entre os dados de Volume Médio Diário (VMD) e as intervenções realizadas, contribuindo para uma análise mais precisa e direcionada das condições das rodovias SP-225, SP-270 e SP-327.

Figura 29 - Mapa dos segmentos amostrais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A Tabela 5.0 fornece dados das intervenções realizadas por lote. Esta tabela inclui a quantidade total de intervenções em cada lote, a média de reincidência das intervenções e identifica o ponto com maior reincidência. Para essa análise, os segmentos foram subdivididos em trechos homogêneos de 100 metros, sem distinção de faixa. Essa abordagem facilita a identificação dos segmentos mais críticos e permite a avaliação de possíveis correlações.

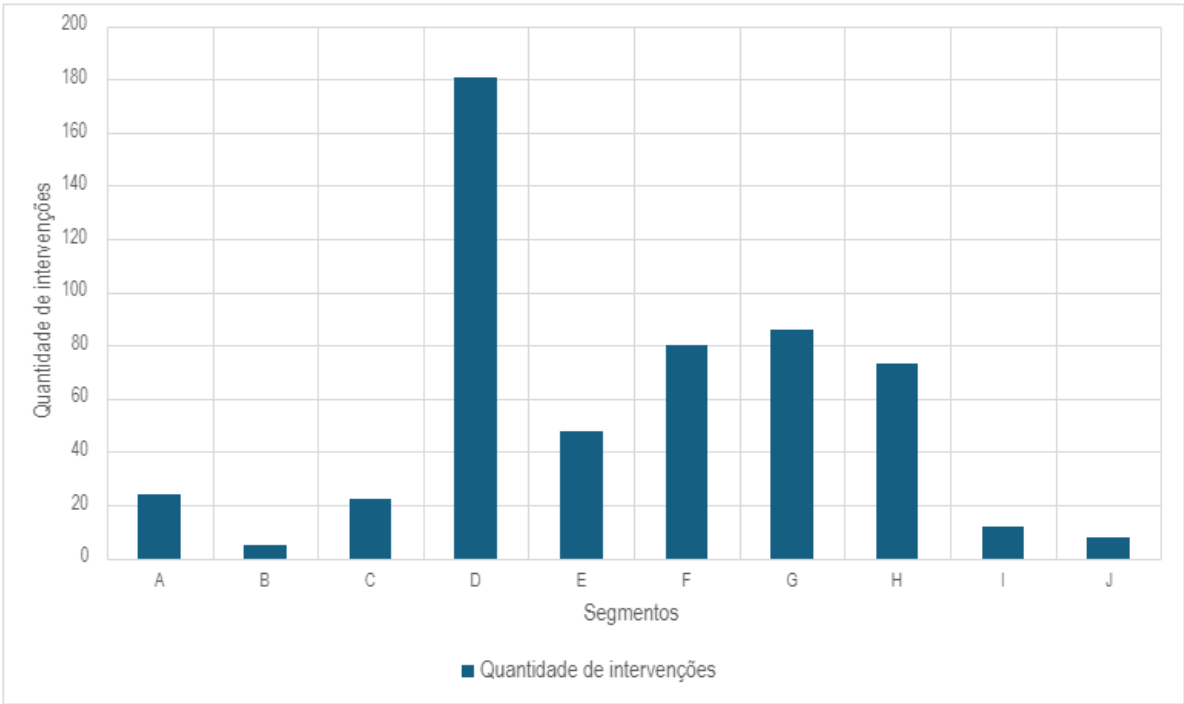
Tabela 5.0 - Reincidências de intervenções

Segmento	Média de reincidência	Quantidade de intervenções	Maior reincidência
A	1.7	24	4
B	1.3	5	2
C	1.6	22	4
D	1.6	181	25
E	1.8	48	5
F	2.2	80	10
G	1.5	86	3
H	1.7	73	6
I	2.0	12	3
J	1.1	8	2

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme destacado na Tabela 5.0 e na Figura 29, observa-se que a distribuição de atendimentos não é linear entre os segmentos. Isso indica que alguns segmentos apresentaram maior necessidade de manutenção nos últimos três anos. A Figura 30 ilustra comparativamente a quantidade de atendimentos por segmento.

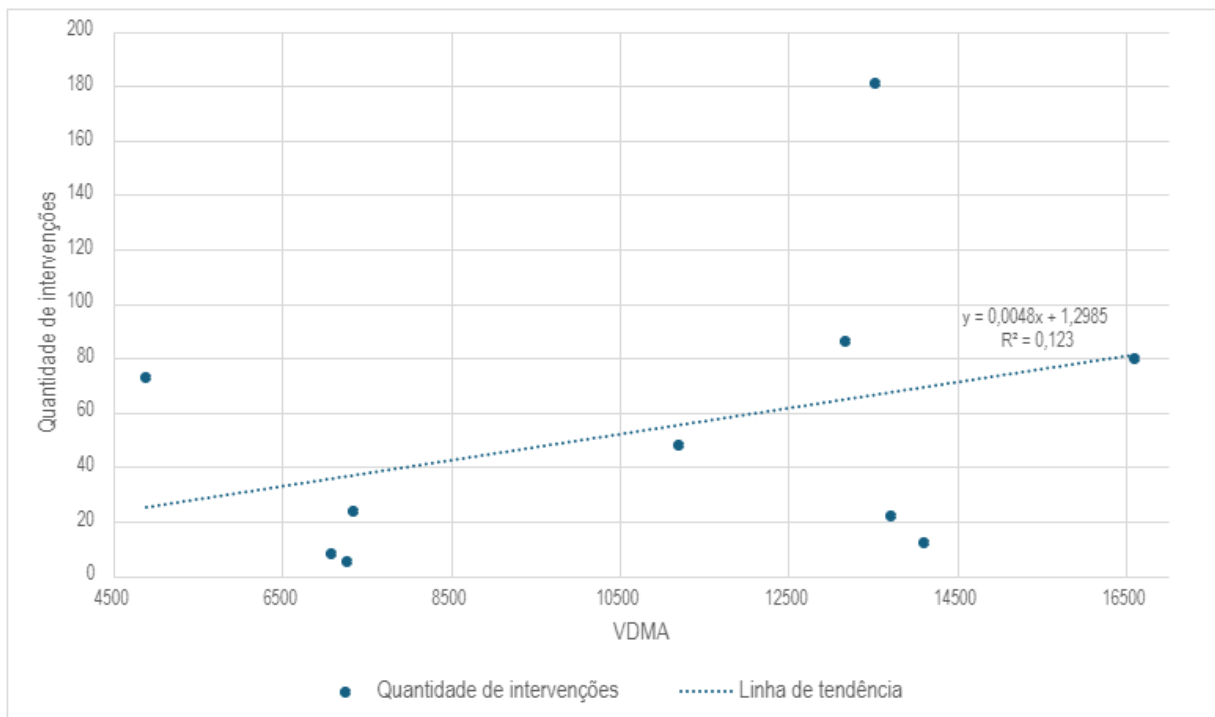
Figura 30 - Gráfico de colunas de atendimento por segmento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

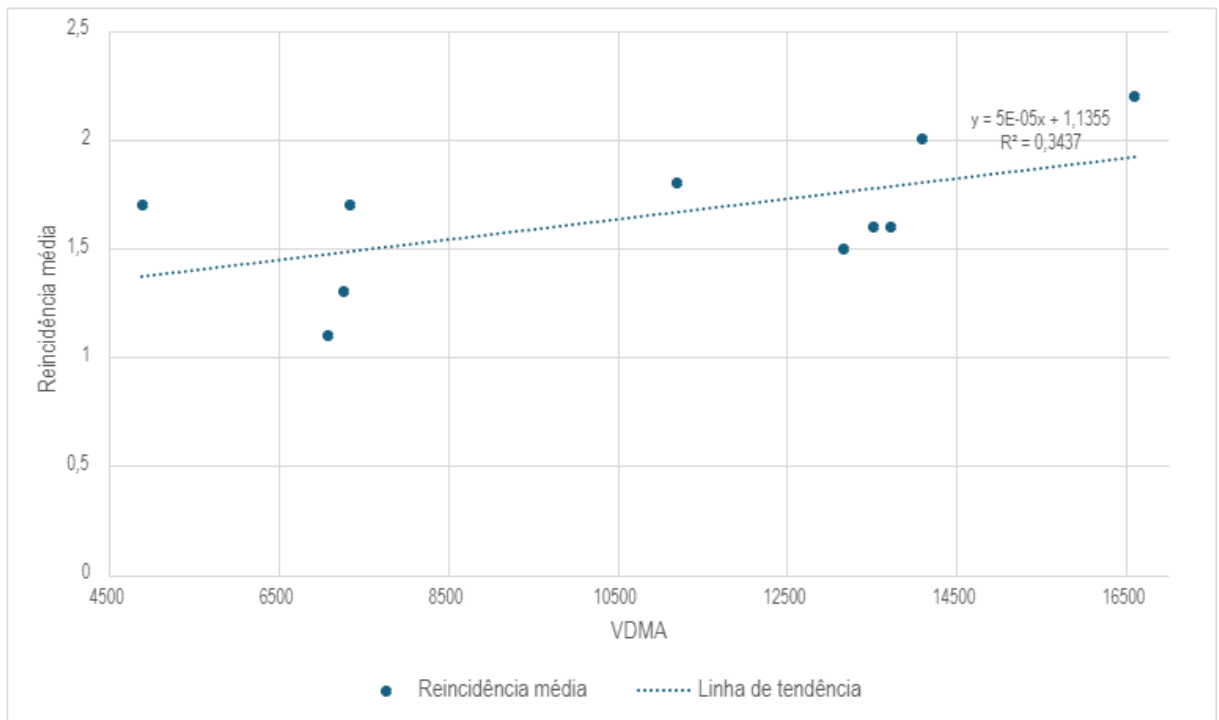
Desta forma, após análise dos dados obtidos pela Tabela 5.0, foi necessária uma análise mais aprofundada visando destacar possíveis correlações. As Figuras 31, 32, 33 e 34 apresentam os resultados dos gráficos comparativos de dispersão para essas variáveis, buscando identificar possíveis correlações entre elas. Esta análise ajuda a compreender se a alta frequência de atendimentos e reincidências está associada a determinados lotes e se o VDMA pode ser um indicador confiável para prever a necessidade de manutenção. A identificação de padrões ou correlações pode fornecer insights valiosos para a otimização dos recursos de manutenção e a melhoria da eficiência operacional, ajudando a priorizar intervenções preventivas em áreas mais críticas.

Figura 31 - VDMA X Quantidade de intervenções.



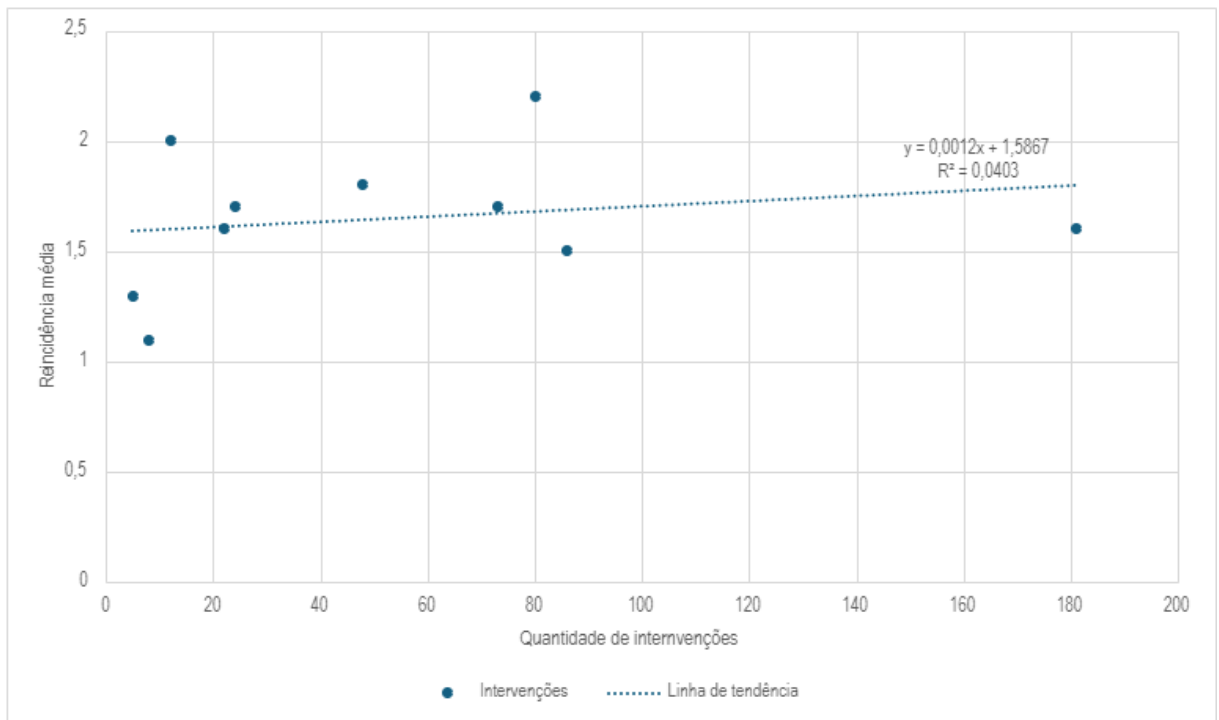
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A relação entre VDMA e a quantidade de intervenções é fraca, como indicado pelo baixo valor de R^2 (0,123), o que significa que apenas 12,3% da variância na quantidade de intervenções é explicada pelo VDMA. O coeficiente angular de 0,0048 sugere uma leve tendência positiva, mas o baixo R^2 indica que a variável VDMA não é um bom preditor da quantidade de intervenções, e a maioria da variação é explicada por outros fatores não incluídos no modelo.

Figura 32 - VDMA X Reincidência média.

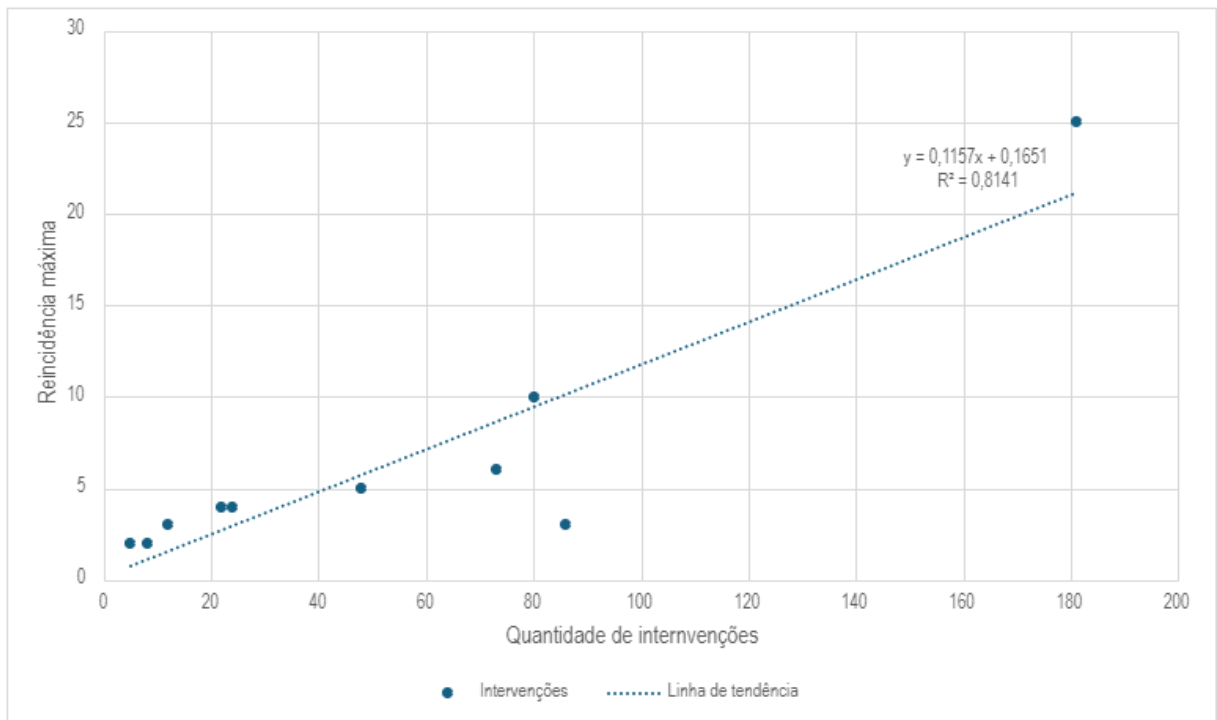
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A relação entre VDMA e reincidência média é moderada, com um R^2 de 0,3437, indicando que cerca de 34,37% da variação na reincidência média é explicada pelo VDMA. O coeficiente angular é pequeno, sugerindo uma tendência muito fraca. Apesar disso, o valor de R^2 relativamente maior comparado ao da Figura 31, indicando que o VDMA tem algum grau de influência sobre a reincidência média.

Figura 33 - Quantidade de Intervenções x Reincidência média.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A relação entre a quantidade de intervenções e a reincidência média é muito fraca, com um R^2 de 0,0403, significando que apenas 4,03% da variância na reincidência média é explicada pela quantidade de intervenções. O coeficiente angular de 0,0012 indica uma tendência positiva, mas essa correlação é muito fraca e a maioria da variação na reincidência média é devida a outros fatores não captados pelo modelo.

Figura 34 - Quantidade de Intervenções x Reincidência máxima.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com base na análise das correlações apresentadas nas Figuras 30, 31 e 32, observa-se uma relação interessante entre as variáveis estudadas. A relação entre a quantidade de intervenções e a reincidência máxima é forte, com um R^2 de 0,8141, indicando que 81,41% da variação na reincidência máxima é explicada pela quantidade de intervenções. O coeficiente angular de 0,1157 sugere uma tendência positiva significativa. Este alto valor de R^2 implica que a quantidade de intervenções é um bom preditor da reincidência máxima, com uma correlação linear forte entre as duas variáveis.

Essas análises mostram que, enquanto algumas variáveis têm pouca influência sobre outras, a quantidade de intervenções é um bom preditor da reincidência máxima, revelando uma correlação significativa e forte entre essas duas variáveis.

6. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar a eficiência dos projetos de manutenção em pavimentos rodoviários em trechos amostrais das Rodovias SP 327, SP 225 e SP 270, focando na avaliação de intervenções específicas, como fresagem e recomposição, bem como na comparação de dados de fluxo de veículos (VDM), quantidade de intervenções realizadas, soluções aplicadas e reincidência. Os resultados obtidos destacam a importância de se adotar uma abordagem mais sistemática e baseada em dados para a gestão da manutenção rodoviária.

Os dados sugerem que a criação de painéis de gestão e controle de indicadores, como reincidência, quantidade de atendimentos e zonas de maior criticidade, é essencial para melhorar a eficiência dos projetos de manutenção. Esses painéis permitiriam análise mais detalhada das zonas de maior reincidência, possibilitando a implementação de nova abordagem para a manutenção desses pontos. Com gestão de recursos mais eficiente e manutenção preventiva mais assertiva, é possível otimizar a alocação de recursos e melhorar as condições das rodovias.

Além disso, fatores como a estrutura atual do pavimento, o tempo de vida útil, a carga média dos veículos e o controle de qualidade dos serviços de manutenção devem ser considerados em análises futuras. Esses fatores podem influenciar significativamente a eficiência das intervenções de manutenção e devem ser monitorados para desenvolver estratégias de manutenção mais eficazes. A inclusão dessas variáveis pode fornecer uma visão mais abrangente das necessidades de manutenção e contribuir para a formulação de políticas que assegurem a durabilidade e a segurança das rodovias.

Em resumo, a adoção de ferramentas de gestão e controle de indicadores, aliada à análise abrangente de fatores influentes, pode transformar a abordagem da manutenção rodoviária, promovendo intervenções mais eficazes e melhor gestão de recursos. A pesquisa realizada contribui para o desenvolvimento de estratégias aprimoradas de manutenção, proporcionando discernimentos específicos para melhorias nas condições das rodovias estudadas e, potencialmente, em outras rodovias que enfrentam desafios semelhantes.

7. REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L.; MOTTA, L.; CERATTI, J.; SOARES, J. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio De Janeiro: Petrobrás Abeda, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. Brasília-DF: Repositório digital de transporte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/322>. Acesso em: 03/06/2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES (CNT). **Dados estatísticos do transporte rodoviário no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2022/File/PrincipaisDados.pdf>. Acesso em: 01/06/2024.

CRONEY, D. **the design and performance of road pavements**. London: Her majesty's Stationery office, 1977. v. 1. p. 9-13.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Conservação Rodoviária**. Rio de Janeiro: IPR, 2005.

GONTIJO, P. R. A.; GUIMARÃES, F. H. R.; NOGUEIRA, C. de L. **Metodologias brasileiras para avaliações das características funcionais e estruturais de pavimentos rodoviários – o estado da arte**. In: 28 Reunião Anual de Pavimentação, Belo Horizonte-MG, 1994. Vol. 1. Associação Brasileira de Pavimentação, ABPv.

NAZARIAN, S.; STOKOE, K. H. Nondestructive evaluation of pavements by surface wave method. In: **Nondestructive testing of pavements and backcalculation of moduli**. ASTM International, 1989. v. 1. p. 41-59.

TRICHÊS, G.; CARDOSO, A.B. **Avaliação da capacidade de aterros e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico de cone e a viga Benkelman**. In: Transporte em transformação. São Paulo: Makron Books, 2001. v. 1. p. 35-49.