



CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM
ENGENHARIA CIVIL

ALEX DANIEL SILVA DE SENA
LUIZ GOMES DE SOUZA NETO
LUIZ CARLOS LIMA DE VASCONCELOS

ANÁLISE E APLICAÇÃO DE
MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO
ESTUDO DE CASO: RODOVIA BR-232/PE
TRECHO: KM 13,54 A 27,56

RECIFE-PE/2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

S474a Sena, Alex Daniel Silva de.
Análise e aplicação de microrrevestimento asfáltico a frio estudo de caso: rodovia BR-232/PE trecho: Km 13,54 a 27,56 / Alex Daniel Silva de Sena; Luiz Gomes de Souza Neto; Luiz Carlos Lima de Vasconcelos. - Recife: O Autor, 2023.
58 p.
Orientador(a): Janilson Alves Ferreira.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.
Inclui Referências.
1. Painelas. 2. Agregados. 3. Direitos humanos. I. Souza Neto, Luiz Gomes de. II. Vasconcelos, Luiz Carlos Lima de. III. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. IV. Título.

CDU: 624



AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho marcou uma jornada significativa, repleta de desafios e aprendizados inestimáveis.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Agradeço imensamente ao meu orientador, pela orientação perspicaz e apoio incansável ao longo deste percurso acadêmico.

Agradeço também à minha família e amigos, cujo apoio inabalável e encorajamento constante foram fundamentais para minha jornada.

Não posso deixar de mencionar a generosa colaboração dos participantes da pesquisa, cujas experiências e opiniões enriqueceram este estudo.

Por fim, expresso minha profunda gratidão à instituição de ensino e a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

Sem o auxílio de cada um de vocês, este trabalho não seria possível.

A todos, meu mais sincero obrigado.



“Não é a morte que um homem deve temer, mas ele deve temer nunca começar a viver.”

(Marco Aurélio)



LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Trincas Interligadas.....	23
Figura 2 – Trincas Isoladas.....	24
Figura 3 – Desgaste do Pavimento.....	24
Figura 4 – Trincas do Tipo Couro de Jacaré.....	25
Figura 5 – Remendo Superficial, Trincas Isoladas, Desgaste do Pavimento.....	25
Figura 6 – Afundamento.....	26
Figura 7 – Painéis.....	26
Figura 8 – Fresagem Descontínua.....	27
Figura 9 – Recomposição.....	28
Figura 10 – Remendo Profundo.....	28
Figura 11 – Remendo superficial.....	29
Figura 12 – Aprimoramento da Drenagem.....	29
Figura 13 – Microrrevestimento a Frio 1	30
Figura 14 – Microrrevestimento a Frio 2	31
Figura 15 – Microrrevestimento a Frio 3	31
Figura 16 – Microrrevestimento a Frio 4	32
Figura 17 – Microrrevestimento a Frio 5	32
Figura 18 – Mapa de Localização.....	35
Figura 19 – Mapa de Situação.....	36
Figura 20 – Característica Geométrica.....	37
Figura 21 – Listagem dos Defeitos (Totais).....	42



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização e levantamento dos defeitos encontrados.....	39
---	----



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Defeitos de Todo o Segmento.....	43
Gráfico 2 – Defeitos Separados Por km.....	44
Gráfico 3 – Ocorrência entre o km 13,54 e km 14,00.....	45
Gráfico 4 – Ocorrência entre o km 14,00 e km 15,00.....	45
Gráfico 5 – Ocorrência entre o km 15,00 e km 16,00.....	46
Gráfico 6 – Ocorrência entre o km 16,00 e km 17,00.....	46
Gráfico 7 – Ocorrência entre o km 17,00e km 18,00.....	47
Gráfico 8 – Ocorrência entre o km 18,00 e km 19,00.....	47
Gráfico 9 – Ocorrência entre o km 19,00 e km 20,00.....	48
Gráfico 10 – Ocorrência entre o km 20,00 e km 21,00.....	48
Gráfico 11 – Ocorrência entre o km 21,00 e km 22,00.....	49
Gráfico 12 – Ocorrência entre o km 22,00 e km 23,00.....	49
Gráfico 13 – Ocorrência entre o km 23,00 e km 24,00.....	50
Gráfico 14 – Ocorrência entre o km 24,00 e km 25,00.....	50
Gráfico 15 – Ocorrência entre o km 25,00 e km 26,00.....	51
Gráfico 16 – Ocorrência entre o km 26,00 e km 27,00.....	51
Gráfico 17 – Ocorrência entre o km 27,00 e km 27,56.....	52



LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AVS – Avaliação Visual de Soluções
CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
cm – Centímetro
DER – Departamento de Estradas de Rodagens
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EM – Especificação de Material
ES – Especificação de Serviço
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGG – Índice de Gravidade Global
IS – Instrução de Serviço
KM – Quilometro
LVC – Levantamento Visual Contínuo
mm – Milímetro
MRAF – Microrrevestimento a Frio
MRAQ – Microrrevestimento a Quente
NBR – Normas Brasileiras
PATO – Plano Anual de Trabalho e Orçamento
PE – Pernambuco
PMF – Pré-Misturado a Frio
PRF – Polícia Rodoviária Federal
SBR – Estireno - Butadieno – Borracha
SBS – Estireno - Butadieno – Estireno
SMA – Stone Matrix Asphalt (Matriz Pétrea Asfáltica)
SP – São Paulo



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo geral.....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	12
2.2 REFORÇO DO PAVIMENTO.....	14
2.3 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ).....	15
2.4 FRESAGEM.....	16
2.5 MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A QUANTE (MRAQ).....	18
2.6 MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO (MRAF).....	19
3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....	22
3.1 ESTUDO DE CASO.....	35
3.2 LOCALIZAÇÃO DA RODOVIA.....	37
3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS.....	37
3.4 AVALIAÇÃO DOS DANOS PREEXISTENTES ANTES DO PROCESSO DE REVITALIZAÇÃO.....	38
3.5 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS.....	53
3.5.1 Fresagem Contínua e Recomposição.....	53
3.5.2 Reforço do Pavimento.....	53
4. CONCLUSÃO.....	55
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56



ANÁLISE E APLICAÇÃO DE MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO ESTUDO DE CASO: RODOVIA BR-232/PE TRECHO: KM 13,54 A 27,56

Alex Daniel Silva de Sena

Luiz Gomes de Souza Neto

Luiz Carlos Lima de Vasconcelos

Resumo: A conservação rodoviária tem como finalidade direta a melhoria do pavimento, visando restabelecer a capacidade de escoamento e aprimorar o tráfego, proporcionando aos usuários condições seguras de mobilidade. Na análise da reabilitação rodoviária aplicada na rodovia BR-232/PE, localizada entre as cidades de Jaboatão dos Guararapes/PE e Moreno/PE. Todas as patologias identificadas no pavimento foram constatadas após um rigoroso levantamento registrado pelo Departamento de Estradas de Rodagens (DER/PE). Baseando-se nessas informações, o órgão definiu a reabilitação do pavimento, realizando os serviços no ano de 2023. O enfoque técnico utilizado pelo DER/PE incluiu procedimentos como fresagem descontínua em segmentos com escorregamento e pontos com deformação plástica, recomposição dos segmentos fresados, pequenos reparos e aplicação do microrrevestimento asfáltico. O microrrevestimento asfáltico é um tratamento que envolve a aplicação de uma mistura asfáltica, agregados, polímeros e aditivos diretamente sobre a superfície do pavimento existente. Seus benefícios incluem selagem e prevenção de fissuras, melhoria da aderência e rejuvenescimento do pavimento. O presente estudo teve como objetivo efetuar uma avaliação criteriosa da solução adotada em relação aos defeitos previamente identificados, realizando um comparativo detalhado entre esta abordagem e possíveis alternativas destinadas a mitigar os problemas detectados. A avaliação da compatibilidade entre a abordagem técnica implementada e os tipos de defeitos pré-existentes foi conduzida por meio de um levantamento das condições atuais, buscando identificar recorrências dos problemas. Os resultados obtidos revelaram que a abordagem adotada se demonstra adequada e apresenta um aspecto economicamente mais favorável em comparação com outras soluções previamente constatadas.

Palavras-chave: Painelas. Agregados. Reabilitação.



Abstract: Road conservation has the direct purpose of improving the pavement, aiming to reestablish drainage capacity and improve traffic, providing users with safe mobility conditions. In the analysis of the road rehabilitation applied to the BR-232/PE highway, located between the cities of Jaboatão dos Guararapes/PE and Moreno/PE. All pathologies identified on the pavement were found after a rigorous survey registered by the Department of Highways (DER/PE). Based on this information, the agency defined the rehabilitation of the pavement, carrying out the services in 2023. The technical approach used by DER/PE included procedures such as discontinuous milling in segments with slippage and points with plastic deformation, recomposition of milled segments, small repairs and application of asphalt micro-coating. Asphalt microsurfacing is a treatment that involves applying an asphalt mixture, aggregates, polymers and additives directly to the surface of the existing pavement. Its benefits include sealing and preventing cracks, improving grip and rejuvenating the pavement. The present study aimed to carry out a careful evaluation of the solution adopted in relation to previously identified defects, carrying out a detailed comparison between this approach and possible alternatives aimed at mitigating the problems detected. The assessment of compatibility between the implemented technical approach and the types of pre-existing defects was conducted through a survey of current conditions, seeking to identify recurrences of problems. The results obtained revealed that the adopted approach appears to be adequate and presents a more economically favorable aspect compared to other solutions previously found..

Keywords: Hole. Aggregates. Rehabilitation.



1. INTRODUÇÃO

A Rodovia BR-232, situada no estado de Pernambuco (PE), desempenha um papel fundamental na conectividade e no transporte regional. Compreendendo diferentes trechos que atravessam variados contextos geográficos e socioeconômicos. Essa rodovia desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e na mobilidade da região (MOREIRA, 2021).

No contexto o desenvolvimento da infraestrutura viária, a manutenção e reabilitação efetivas das rodovias assumem um papel de primordial importância, a fim de garantir a segurança dos usuários e o funcionamento adequado das vias. (SILVA, 2008).

Nesse contexto, surgem técnicas voltadas para a conservação e recuperação de pavimentos, visando a extensão da vida útil das estradas e a minimização de impactos ambientais.

Uma abordagem que tem se destacado é o microrrevestimento asfáltico a frio, que se caracteriza por sua aplicação em temperaturas inferiores, eliminando a necessidade de aquecimento do material e, conseqüentemente, reduzindo os custos energéticos associados (CERATTI E REIS, 2011).

Essa técnica consiste na aplicação de uma fina camada de mistura asfáltica sobre a superfície existente, resultando em melhorias nas propriedades mecânicas, na resistência à tração e na aderência do pavimento.. O microrrevestimento asfáltico a frio é um procedimento muito aplicado, a fim de prover ao pavimento uma camada de selagem inibidora de trincas, impermeabilização, rejuvenescimento, e aumentar a adesão dos veículos em contato com a pista, garantindo assim, o desempenho funcional da rodovia (DNIT ES-035/2005).

Essa técnica usada para a pavimentação asfáltica foi desenvolvida em países da Europa e nos Estados Unidos, a partir dos anos 90. No Brasil, com o advento das concessões de rodovias, inicialmente no sul e sudeste do país, a partir, de meados de 1995, novas tecnologias têm sido adotadas com sucesso para a conservação ou melhoramentos dos pavimentos asfálticos, através de superposição com novas camadas (JUNIOR et al, 2021).

No âmbito específico da Rodovia BR-232/PE, mais precisamente no segmento compreendido entre o km 13,54 e o km 27,56, a adoção do microrrevestimento asfáltico a frio apresenta-se como uma alternativa viável para a renovação do



pavimento, a considerar a degradação natural e os danos acumulados ao longo do tempo.

Desta forma, o presente estudo de caso tem como propósito analisar a efetividade e as implicações da aplicação dessa técnica, abordando aspectos de ordem técnica, econômica e ambiental. Através da exploração detalhada da implementação do microrrevestimento asfáltico a frio nesse segmento da Rodovia BR-232/PE, almeja-se não somente compreender os benefícios imediatos da abordagem, mas também fornecer perspectivas valiosas para embasar futuras decisões no que concerne à pavimentação.



1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Diante da presença de patologias preexistentes na rodovia, incluindo fenômenos como a formação de panelas, trincas isoladas, trincas conectadas do tipo couro de jacaré e em bloco, escorregamento da camada asfáltica, deformação plástica na trilha de roda, entre outros, surgiu-se a necessidade de proceder com a reabilitação funcional do pavimento. O pavimento é uma estrutura caracterizada por diferentes camadas que tem por função proporcionar o tráfego adequado a todos que utilizam. Este é submetido à ação do tráfego e do clima, causando uma deterioração, necessitando assim do estabelecimento de um sistema de gerência de pavimentos que implemente a realização de manutenções preventivas periódicas nas vias, a fim que essas alterações não se intensifiquem no decorrer do tempo, a ponto de comprometer efetivamente o funcionamento do pavimento, ou que as manutenções necessárias se tornem economicamente custosas (MORAIS, 2020).

Junior (2014) Aponta que os pavimentos apresentam períodos de vida útil, se desgastando gradativamente. Essa deterioração é resultado de causas naturais associadas ao tráfego intensamente superior ao projetado e as intempéries, causando fadigas prematuras do pavimento.

Videira (2014) elenca fatores que contribuem para degradação de pavimentos, como: o tráfego, condições climáticas e ambientais, ausência ou ineficiência dos sistemas de drenagem, mau dimensionamento da estrutura ou sua execução de forma inadequada, além da deficiência de materiais usados em sua construção.

O elevado tráfego de veículos automotores associado a deficiência de manutenções nas vias com pavimento flexível resulta no surgimento de diversas patologias funcionais e estruturais. Ao mesmo tempo, a prioridade de construir vias é postergada diante da necessidade da recuperação estrutural e restauração superficial das mesmas, a fim de, sanar problemas técnicos com as soluções utilizadas (CUNHA e MACEDO, 2022).

De acordo com DNIT (2006), a manutenção do pavimento é um processo sistemático, com objetivo de conservar as principais características que devem ser ofertadas pela estrutura ao usuário (tráfego econômico, confortável e seguro). Tais operações visam preservar a característica físicas e operacionais do pavimento e as atividades de conservação são classificadas em preventivas e corretivas.



As preventivas evitam o surgimento ou agravamento de defeitos e são exemplos dessas medidas, a selagem de trincas com uso de material asfáltico.

As corretivas, por sua vez, têm o objetivo de reparar ou sanar degradações já existentes, restabelecendo o funcionamento estrutural da rodovia.

A manutenção corretiva serve para corrigir defeitos funcionais e estruturais. No caso dos defeitos funcionais são utilizados revestimentos como o microrrevestimento asfáltico, para restauração da aderência superficial de revestimento com desgaste pela ação abrasiva do tráfego (BERNUCCI et al, 2007)

O microrrevestimento asfáltico é um procedimento amplamente utilizado, a fim de fornecer ao pavimento uma camada de selagem inibidora de trincas, impermeabilização, rejuvenescimento e aumentar a adesão dos veículos em contato com a pista, garantindo assim, o desempenho funcional da rodovia (DNIT ES-035/2005).

Desta forma, o presente estudo tem a finalidade de corroborar as informações encontradas no referencial teórico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Examinar a abordagem implementada pelo Departamento de Estradas de Rodagens (DER) no âmbito dos serviços voltados à restauração funcional na malha viária BR 232/PE, entre o segmento do km 13,54 ao km 27,56.

1.2.2 Objetivos específicos

- Fazer uma análise das patologias do revestimento asfáltico identificadas previamente à realização das intervenções de reabilitação;
- Examinar a estratégia implementada e sua condição atual;
- Informar duas abordagens alternativas visando à implementação da reabilitação funcional da superfície do pavimento no segmento sob análise;



2. REFERENCIAL TEÓRICO

As origens dos defeitos nos pavimentos são multifacetadas e podem ser atribuídas a diversos fatores. Essas falhas podem surgir tanto de falhas no dimensionamento durante a fase de projeto quanto de problemas durante a execução da obra. Como destacado por Bernucci et al. (2008).

De acordo com Bernucci et al (2008), o dimensionamento inadequado do pavimento pode ser resultado da dificuldade em prever com precisão o tráfego real que será submetido ao pavimento ao longo de sua vida útil. Além disso, defeitos podem ocorrer devido a erros no dimensionamento da superfície de terraplenagem, incompatibilidade estrutural entre as camadas do pavimento e problemas relacionados à drenagem do sistema.

Os defeitos de superfície podem se manifestar em estágios iniciais, muitas vezes devido a erros ou inadequações no projeto, ou em prazos mais longos, como resultado da exposição ao tráfego e das condições climáticas adversas. Dentre os fatores que contribuem para a redução da vida útil do pavimento, destacam-se os seguintes elementos, que podem atuar isoladamente ou em conjunto: erros de projeto, problemas construtivos e deficiências na escolha das estratégias de conservação e manutenção.

Conforme destacado por Preussler e Pinto (2002), considerando a diversidade das estruturas de pavimentos e das condições ambientais, é possível encontrar vários manuais e catálogos que abordam a identificação e as causas de defeitos em pavimentos, tanto nacionais quanto internacionais. No entanto, é importante ressaltar que existe um grau significativo de padronização e semelhança entre os manuais mais amplamente reconhecidos na área.

Preussler e Pinto (2002) elaboraram as diretrizes, conforme podemos ver evidenciado a seguir:

Trinca de Bordo

DESCRIÇÃO: São fendas que se forma normalmente em uma região afastada de no máximo 60cm da borda do pavimento ou na região divisória em que o pavimento sofreu alagamento. Caracteriza-se por uma trinca longitudinal ou por uma área trincada ocorrente na região da junção entre a pista e o acostamento ou entre a pista



e o alargamento o trincamento de borda pode ser por desintegração ou erosão ao longo da borda.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Construção deficiente da junta de ligação entre a pista e o acostamento, ou alagamento; b) Diferença de rigidez entre os materiais constituintes do acostamento ou alargamento e do pavimento existente; c) Compactação insuficiente; d) Drenagem insuficiente ou inexistente.

CORREÇÃO: Selagem com ligante betuminoso ou reconstrução.

Afundamento Localizado ou Depressão

DESCRIÇÃO: É um afundamento localizado cujo nível (ou altura) é mais baixo do que a superfície ao redor. Na fase inicial esta falha é percebida após a ocorrência de chuva devido ao acúmulo de água em seu interior.

CAUSAS POSSÍVEIS: As depressões podem ser causadas por deficiências geradas por recalque do terreno de fundação ou material de aterro.

CORREÇÃO: Restabelecer seção transversal com massa betuminosa ou estudos específicos.

Afundamento da Trilha de Roda

DESCRIÇÃO: É uma depressão do terreno que se forma na região onde se dá a passagem das cargas, ou seja, nas trilhas de roda. Em sua fase inicial esta falha só é perceptível após a ocorrência de chuva pois os sulcos ficam preenchidos com água. Até certos limites estes afundamentos são toleráveis, porém quando os acúmulos das deformações permanentes formam flechas expressivas nas trilhas de roda a estrutura estará em estado terminal e colocando em risco a segurança dos usuários.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Compactação insuficiente de uma ou mais camadas durante a construção; b) Mistura asfáltica inadequada (com baixa estabilidade); c) Enfraquecimento de uma ou mais camadas devida à infiltração de água.

CORREÇÃO: Restabelecer seção transversal ou estudos específicos.

Afundamento Plástico

DESCRIÇÃO: É caracterizado por um afundamento na região solicitada e um sollevamento lateral.

CAUSAS POSSÍVEIS: É causado pela ruptura de uma ou mais camadas do pavimento ou fluência da massa asfáltica.



CORREÇÃO: Estudos especiais para definir grau do problema.

Corrugação

DESCRIÇÃO: (Ondulação, Costela). É uma falha caracterizada por ondulações transversais de caráter plástico e permanente, no revestimento asfáltico.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Instabilidade da mistura betuminosa da camada de revestimento e/ou base; b) Excesso de umidade das camadas subjacentes; c) Contaminação da mistura asfáltica por materiais estranhos; d) Retenção de água na mistura asfáltica.

CORREÇÃO: Remoção do revestimento e reconstrução.

Escorregamento

DESCRIÇÃO: É um movimento horizontal da mistura asfáltica ocasionado pelos esforços tangenciais transmitidos pelas cargas dos veículos (frenagem ou aceleração) e que produzem uma ondulação curta e abrupta na superfície do pavimento.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Ligação betuminosa inadequada entre revestimento e a camada sobre a qual esta se apoia (deficiência na imprimação ou pintura de ligação); b) Limitada inércia do revestimento asfáltico devido à pequena espessura; c) Compactação deficiente da mistura asfáltica ou da porção superior da camada da base; d) Fluência plástica do revestimento na ocorrência de altas temperaturas.

CORREÇÃO: Remoção e reconstrução.

Tricamento Tipo Couro de Jacaré

DESCRIÇÃO: É causada por uma série de trincas interligadas causadas pela fadiga do revestimento asfáltico (ou da base estabilizada), decorrentes de ação repetida das cargas de tráfego. Seu formato assemelha-se ao couro de jacaré.

CAUSAS POSSÍVEIS: Defeito gerado pela ação das cargas de tráfego. As condições ambientais (temperatura e umidade) podem acelerar o início e a propagação das trincas e ainda a compactação deficiente, reflexão de trincas subjacentes ao revestimento.

CORREÇÃO: Selagem, remendos, fresagem de parcela do revestimento.



Tricamento em Bloco

DESCRIÇÃO: Possuem formato aproximadamente retangular, formando blocos de vários tamanhos. Estes blocos sofrem uma redução nas suas dimensões à medida em que aumenta o grau de deterioração. É causado, principalmente, pela contração do material de revestimento, em função da alternância diária entre altas e baixas temperaturas.

CAUSAS POSSÍVEIS: A sua constatação, geralmente indica que o ligante asfáltico perdeu significativamente sua característica elástica. Tal defeito também poderá ocorrer quando houver a união de trincas transversais, em revestimentos executados sobre bases cimentadas, e poderá ocorrer sobre toda a região do revestimento, podendo manifestar-se no acostamento.

CORREÇÃO: O processo de selagem com ligantes especial é fundamental para minimizar a degradação do pavimento.

Tricamento Longitudinal e Transversal

DESCRIÇÃO: As trincas longitudinais são paralelas ao eixo da pista de rolamento. As trincas transversais são perpendiculares ao eixo da pista. Ambos os trincamentos são considerados tipos de defeitos estruturais e funcionais.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Juntas de construção mal executada; b) Contração/dilatação de revestimento devido ao gradiente técnico ou envelhecimento do asfalto; c) Propagação das trincas existentes nas camadas subjacentes, como por exemplo das bases tratadas com cimento ou juntas de revestimentos rígidos (trincas de propagação).

CORREÇÃO: Selagem com ligante betuminoso

Desgaste

DESCRIÇÃO: É a perda de agregados e/ou argamassa fina do revestimento asfáltico. Caracteriza-se pela aspereza superficial anormal, com perda do envolvimento betuminoso e arrancamento progressivo dos agregados.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Perda de coesão entre o agregado e o ligante devido a presença de material estranho no momento da construção; b) Presença de água no interior do revestimento que originam sobrepressões hidrostáticas capazes de provocar o deslocamento da película betuminosa; c) Deficiência localizada de ligante



asfáltico nos serviços por penetração decorrente de entupimento dos bicos ou má regulagem da barra espargidora.

CORREÇÃO: Construção de uma nova capa Selante.

Exudação

DESCRIÇÃO: É o fenômeno em que a película ou filme de material betuminoso forma-se na superfície do pavimento e se caracteriza por manchas de variadas dimensões. Estas manchas resultantes comprometem seriamente a aderência do revestimento aos pneumáticos, principalmente sob tempo chuvoso, caracterizando um sério problema funcional.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Dosagem inadequada das misturas asfálticas, acarretando teor excessivo de ligante e/ou índices de vazios muito baixos; b) Temperatura do ligante acima da especificada no momento da mistura, acarretando a dilatação do asfalto e ocupação irreversível dos vazios entre as partículas ou falta de agregado no caso de tratamento superficiais.

CORREÇÃO: Capa selante ou fresagem no local.

Panelas

DESCRIÇÃO: São cavidades formadas inicialmente no revestimento do pavimento e que possuem dimensões e profundidades variadas. O defeito é muito grave pois afeta estruturalmente o pavimento, permitindo o acesso das águas superficiais ao interior da estrutura. Também é grave do ponto de vista funcional, já que afeta irregularidade longitudinal e, como consequência a segurança do tráfego, e o custo do transporte.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Trincamento (estágio terminal); b) Desintegração localizada na superfície do pavimento (desgaste de severidade alta); c) Evolução de defeitos.

CORREÇÃO: Reparar a área afetada pela execução de um remendo superficial ou profundo.

Desnível Entre Pista e Acostamento

DESCRIÇÃO: Este defeito caracteriza-se pela diferença em elevação entre pista e o acostamento. Em condições normais poderá haver um pequeno desnível entre pista e acostamento.



CAUSAS POSSÍVEIS: a) Recalque do acostamento; b) Bombeamento, ou seja, perda de finos do acostamento; c) Perda de material em acostamento; d) Perda de material em acostamento não pavimentados devido ao deslocamento do ar provocado pela passagem dos veículos e ação da água da chuva; e) Problemas construtivos, principalmente nos Recapeamentos.

CORREÇÃO: Recuperação da seção transversal.

Bombeamento

DESCRIÇÃO: É o fenômeno caracterizado pela ascensão da água e finos nas trincas sob ação das cargas de tráfego. Ele é percebido pela existência de manchas na superfície ou pela acumulação de material fino junto às trincas.

CAUSAS POSSÍVEIS: O bombeamento é causado pela existência de vazios sob revestimento e a sobrepressão hidrostática provocada pela passagem dos veículos.

CORREÇÃO: Reparo da área afetada pela execução de remendo superficial ou profundo.

Envelhecimento

DESCRIÇÃO: Possuem formato aproximadamente retangular, formando blocos de vários tamanhos. Estes blocos sofrem uma redução nas suas dimensões à medida em que aumenta o grau de deterioração.

CAUSAS POSSÍVEIS: a) Deficiência de ligante ou oxidação; b) Excesso de aquecimento do ligante ou do agregado.

CORREÇÃO: Capa selante - massa fina, lama asfáltica, tratamento superficial, microrrevestimento asfáltico a fria com emulsão polimerizada.



A inspeção e análise de irregularidades na superfície dos pavimentos asfálticos são procedimentos fundamentais na avaliação do seu estado de conservação. Estas ações são conduzidas com o objetivo de diagnosticar a condição funcional do pavimento. A partir deste diagnóstico, torna-se possível a identificação de soluções que atendam aos critérios técnicos estabelecidos, visando à seleção das opções mais adequadas para a manutenção ou restauração do pavimento, conforme previsto na literatura especializada (ROCHA, 2010).

Bernucci et al. (2008) ressaltam diversos exemplos de problemas construtivos que podem induzir a ocorrência de defeitos em pavimentos asfálticos. Estes problemas compreendem:

Espessura não conforme ao projeto: Inadequação das camadas asfálticas em relação às dimensões previamente estabelecidas no projeto.

Compactação insuficiente: Falha na aplicação de força adequada durante o processo de compactação das camadas asfálticas, resultando em deformações, afundamentos excessivos ou rupturas localizadas.

Técnica de compactação inadequada: Utilização de equipamentos de baixa eficiência ou técnicas de compactação que não atendem aos padrões estabelecidos.

Temperaturas inadequadas durante a compactação: Compactação de misturas asfálticas em temperaturas que não correspondem aos requisitos especificados ou variações significativas de temperatura na massa asfáltica durante o processo de compactação.

Erros na aplicação de imprimação ou pintura de ligação: Aplicação incorreta das taxas de imprimação ou pintura de ligação entre as camadas do pavimento.

Esses problemas construtivos podem impactar negativamente a durabilidade e desempenho do pavimento asfáltico, sendo essencial abordá-los de maneira adequada durante a construção e manutenção das vias asfaltadas (Bernucci et al, 2008).



2.1 MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

A conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários constituem atividades cruciais para garantir a funcionalidade, segurança e durabilidade das estradas. Esses processos envolvem intervenções planejadas e executadas com precisão ao longo da vida útil de uma rodovia, visando preservar seu desempenho e minimizar o impacto do tráfego e das condições ambientais (ALONSO E PEREIRA, 2015).

Abaixo, uma descrição técnica das principais estratégias e ações empregadas nesse contexto:

Avaliação Estrutural e Funcional: Inicialmente, é fundamental realizar uma avaliação completa da condição estrutural e funcional do pavimento. Isso envolve a coleta de dados, como espessura das camadas, defeitos superficiais, rugosidade, e avaliação da capacidade de suporte estrutural. Métodos como ensaios não destrutivos, deflectometria e análise visual são aplicados para obter informações precisas.

Reforço Estrutural: Quando se identificam deficiências na capacidade de suporte estrutural do pavimento, podem ser necessárias intervenções de reforço. Isso pode envolver a adição de camadas de reforço, como geossintéticos ou cimento, para melhorar a resistência e durabilidade.

Recapeamento: Em muitos casos, a aplicação de uma nova camada asfáltica, conhecida como recapeamento, é uma medida eficaz para restaurar a superfície e melhorar a qualidade de rolamento. O asfalto fresado é removido, e uma nova camada é aplicada, restaurando a capacidade de drenagem e a rugosidade;

Tratamento de Superfície: Para pavimentos em boas condições estruturais, mas com defeitos superficiais, os tratamentos de superfície, como microrrevestimento ou selagem de trincas, podem ser utilizados para prolongar a vida útil e prevenir a penetração de umidade.

Manutenção Preventiva: A manutenção regular é fundamental para prevenir o agravamento de defeitos menores. Isso inclui ações como tapa-buracos, remoção de detritos, limpeza de drenagem, entre outras.

Gerenciamento de Tráfego: Durante as obras de conservação e reabilitação, é importante planejar e implementar estratégias de gerenciamento de tráfego para minimizar os impactos nas operações rodoviárias e garantir a segurança dos usuários.



Monitoramento Contínuo: A implementação de sistemas de monitoramento contínuo, como sensores de tráfego e sensores de pavimento, permite acompanhar o desempenho em tempo real e tomar ações preventivas ou corretivas de forma mais eficaz.

De acordo com o manual de reabilitação de pavimentos asfálticos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) de 2006, a condição de um pavimento é uma medida que reflete o grau de degradação causado pelos efeitos ambientais e pela utilização contínua do pavimento pelo tráfego rodoviário. A avaliação precisa dessa condição requer a consideração e análise de vários parâmetros de referência, previamente padronizados, que possibilitam a determinação dos seguintes aspectos: Condições de superfície, condições estruturais, condições de rugosidade longitudinais, avaliação das solicitações do tráfego, condições de aderência pneu/pavimento.

Quando o pavimento se aproxima do fim de sua vida útil, há a necessidade de manutenção e reparos com maior frequência. É, sobretudo, preciso fazer o diagnóstico das patologias dos pavimentos asfálticos, determinando os defeitos e suas prováveis causas, buscando a partir deste levantamento determinar as possíveis soluções e qual dessas medidas é a mais viável (ROCHA, 2010).

Conforme é destacado, as operações relacionadas à manutenção de pavimentos asfálticos comumente abrangem atividades como reparos localizados, selagem de fissuras e aplicação de revestimentos selantes. A identificação e o tratamento de patologias em estágios iniciais desempenham um papel crucial na otimização das intervenções de manutenção. Esse enfoque permite evitar a progressão de defeitos e, conseqüentemente, reduzir os custos associados à manutenção ou reabilitação do pavimento. (Mallick e El-Korchí, 2018)

Segundo Haas e Hudson (1978), a avaliação da capacidade de um pavimento em atender aos requisitos de conforto e segurança para os usuários de uma via é denominada "Serventia do pavimento." A manutenção desse pavimento abrange todas as intervenções que tenham impacto direto ou indireto na atual capacidade de serventia e no desempenho futuro do pavimento. Essas intervenções podem ser classificadas em dois tipos fundamentais: **Conservação**: Refere-se à aplicação de intervenções no pavimento que têm como objetivo corrigir parcial ou integralmente suas deficiências funcionais. Além disso, medidas corretivas devem ser implementadas de forma complementar para evitar uma degradação mais acelerada



do pavimento, **Restauração**: Envolve um processo no qual as condições funcionais e estruturais do pavimento são restauradas a níveis aceitáveis, visando ao aumento da serventia. Isso é realizado por meio de intervenções que sejam tecnicamente e economicamente adequadas. Isso implica que a solução implementada deve garantir a durabilidade e o desempenho necessários, atendendo aos requisitos mínimos, além de proporcionar um retorno máximo do investimento realizado.

Bernucci et al. (2008) destacam que, nos casos em que não são identificados problemas estruturais e a restauração se faz necessária para corrigir defeitos funcionais superficiais, geralmente são utilizados os seguintes tipos de revestimentos, que podem ser aplicados de forma isolada ou combinada, e podem ou não ser precedidos por uma remoção parcial do revestimento antigo por meio de fresagem: Lama asfáltica, tratamento superficial simples ou duplo, microrrevestimento asfáltico a frio e a quente, concreto asfalto, mistura tipo camada porosa de atrito, SMA ou mistura descontínuas.

2.2 REFORÇO DO PAVIMENTO

O reforço do pavimento é uma técnica de manutenção e reabilitação de estradas e pavimentos rodoviários que visa melhorar a capacidade estrutural e funcional do pavimento existente. Esse processo é empregado quando as condições de um pavimento se deterioram devido ao tráfego constante, sobrecargas, desgaste natural, ou outros fatores que comprometem sua durabilidade e capacidade de suporte (ALONSO E PEREIRA, 2015)

O reforço do pavimento envolve a adição de camadas de materiais ou técnicas específicas para fortalecer a estrutura do pavimento, aumentando sua resistência e vida útil. Algumas técnicas comuns de reforço de pavimentos incluem: Adição de Camadas de Base ou Sub-base: Isso envolve a aplicação de novas camadas de material, como brita ou agregados granulares, diretamente sobre o pavimento existente para melhorar sua capacidade de carga, estabilização do Solo: Quando o solo de base ou sub-base é fraco, ele pode ser estabilizado com aditivos, como cimento ou cal, para aumentar sua resistência, geossintéticos: O uso de geossintéticos, como geotêxteis ou geogrelhas, pode ser empregado para melhorar a distribuição de cargas e reforçar a estrutura do pavimento, reciclagem In Situ: Nesta



técnica, o pavimento existente é processado e reaproveitado, muitas vezes misturado com novos materiais, para formar uma camada reforçada, reforço com Asfalto: Camadas adicionais de asfalto podem ser aplicadas sobre o pavimento existente para fortalecer a superfície e melhorar a qualidade de rolamento, inclusão de Geogrelhas ou Geocélulas: Esses elementos são incorporados nas camadas de base ou sub-base para melhorar a distribuição de cargas e reforçar o pavimento. (Batista 2004).

O tipo de reforço do pavimento a ser utilizado depende das condições específicas do pavimento, das necessidades de carga, do tráfego esperado e dos recursos disponíveis. A escolha adequada da técnica de reforço do pavimento é fundamental para prolongar a vida útil da estrada e manter a segurança e a eficiência da via.

As camadas de reforço são constituídas por misturas betuminosas fabricadas a quente, em central, no entanto nos últimos anos tem-se verificado a adoção de novos materiais (BATISTA, 2004).

Conforme mencionado por Batista (2004), as operações tradicionais de reabilitação de pavimentos flexíveis envolvem a aplicação de camadas de reforço constituídas por misturas betuminosas fabricadas a quente, em usina central. Geralmente, essas operações são acompanhadas pela fresagem das camadas de misturas betuminosas mais deterioradas e pelo transporte desses materiais até um depósito específico para descarte ou reciclagem.

Essa técnica consiste em aplicar uma ou várias camadas de mistura betuminosa diretamente sobre o pavimento existente, a fim de suportar as cargas geradas pelo tráfego. Em certos casos, antes da aplicação da camada de reforço, é realizada a fresagem das camadas de mistura betuminosa que apresentam degradação significativa.

No entanto, quando aplicado em pavimentos com graves problemas estruturais, o reforço pode resultar em espessuras de reforço consideráveis, tornando-o economicamente inviável (Picado-Santos et al. 2006).

2.3 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)

De acordo com DNIT, concreto asfáltico é a mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado,



material de enchimento (filler) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente (DNIT ES-031/2006).

O CBUQ é composto por agregados minerais, como pedra britada e areia, ligados por um ligante asfáltico, que é aquecido na usina a uma temperatura adequada para garantir sua fluidez e aderência aos agregados os quais devem satisfazer às Normas pertinentes, e às Especificações aprovadas pelo DNIT (DNIT ES-031/2006).

Esse material é aplicado sobre a base do pavimento existente e compactado para formar uma superfície sólida e resistente ao tráfego (DNIT, 2016).

O Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é uma mistura complexa composta predominantemente por agregados minerais, que compreendem cerca de 95% da composição, e pelo ligante asfáltico Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) se refere a Cimento Asfáltico de Petróleo, que é um tipo de ligante asfáltico frequentemente usado na produção de asfalto e na construção de estradas.

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é obtido a partir da destilação do petróleo bruto e é essencial para conferir coesão e resistência ao asfalto, garantindo que a mistura asfáltica seja durável e tenha boas propriedades de aderência e impermeabilidade. Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), representando aproximadamente 5% da mistura.

Os agregados utilizados, notadamente britas e pó-de-pedra, desempenham um papel fundamental na resistência mecânica e estabilidade do pavimento. Por outro lado, o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) desempenha funções cruciais, tais como a promoção de aglutinação, flexibilidade, impermeabilidade e durabilidade da mistura asfáltica.

O CBUQ pode ser classificado de acordo com a curva granulométrica dos agregados presentes, permitindo categorizações como graduação densa, aberta, uniforme ou descontínua.

2.4 FRESAGEM

Dentro do contexto de intervenções para restauração de vias rodoviárias, a prática da fresagem do pavimento asfáltico seguida pela aplicação de uma nova camada de revestimento é uma estratégia rotineira quando a degradação da estrutura atinge um nível específico. (Bonfim, 2007).



A etimologia do termo "fresagem" remonta à técnica de desgaste ou corte de metais ou outras peças, por meio de um dispositivo motorizado composto por uma ferramenta de corte rotativa de ângulo variável ou por várias fresas, em movimento rotativo contínuo (Bonfim, 2007).

Bonfim (2007) conceitua a fresagem de pavimentos como a remoção ou desbaste de uma ou mais camadas do pavimento, com espessura pré-determinada, por meio de um processo mecânico realizado a quente ou a frio, utilizado como intervenção para a restauração de pavimentos.

De acordo com a norma Dnit 159/2011, considerando a extensão da área a ser fresada e os objetivos da fresagem, as seguintes modalidades podem ser adotadas em conformidade com o projeto:

a) Fresagem contínua - realizada na largura total da pista, utilizando predominantemente equipamentos de grande porte, e eventualmente equipamentos de médio ou pequeno porte em áreas restritas.

b) Fresagem descontínua - empregada em áreas descontínuas de comprimentos e larguras variáveis, podendo afetar toda a largura de uma ou mais faixas de tráfego. Equipamentos de médio e pequeno porte são indicados para intervenções em remendos menores.

c) Fresagem em cunha ou de garra - descreve a fresagem executada na borda da pista, próxima ao meio-fio, inclinando-se o cilindro fresador para promover a ancoragem da nova camada de revestimento. É essencial observar a inclinação transversal do pavimento existente para evitar desconforto ou risco para o usuário.

d) Fresagem para correção da inclinação do pavimento - aplicada para corrigir ou alterar as inclinações transversais e longitudinais do pavimento existente, frequentemente realizada em projetos de duplicação de rodovias.

e) Fresagem de arremate - executada nas proximidades de obstáculos (boca de lobo, caixa de visita etc.), geralmente com equipamentos de pequeno porte, como complemento à fresagem feita com equipamentos de grande porte. Sua aplicação é mais comum em trechos urbanos.



2.5 MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO QUENTE (MRAQ)

O microrrevestimento asfáltico a quente consiste em uma mistura composta por agregado mineral graduado, cimento asfáltico modificado por polímero e, se necessário, material de enchimento, filler e aprimorado de adesividade. Esta mistura é aplicada e compactada a altas temperaturas, e pode servir como camada de selagem para inibir trincas, como agente impermeabilizante, para rejuvenescimento ou como camada antiderrapante em pavimentos (DER ET-DE-P00/23).

Os materiais utilizados no microrrevestimento asfáltico a quente incluem agregado graúdo, agregado miúdo e ligante asfáltico modificado por polímero, os quais devem atender às normas e especificações aprovadas pelo DER/SP (DER ET-DE-P00/23).

Conforme as diretrizes do DER-SP, a execução desse processo não é permitida em dias chuvosos e a temperatura ambiente deve ser superior a 10 °C. O preparo da superfície deve seguir as recomendações do DER/SP, garantindo que a superfície esteja limpa e livre de quaisquer substâncias prejudiciais. Defeitos existentes devem ser reparados previamente à aplicação da mistura.

A pintura de ligação deve ser realizada preferencialmente com emulsão modificada por polímero, utilizando-se a barra espargidora, garantindo uma película homogênea que proporcione condições de aderência adequadas para o microrrevestimento asfáltico a quente. A aplicação da mistura deve ocorrer somente após o rompimento e a cura do ligante aplicado, e o tráfego de caminhões é permitido apenas após esse processo. (DER ET-DE-P00/23).

A produção do microrrevestimento asfáltico a quente deve ser realizada em usinas apropriadas e devidamente calibradas para assegurar as características desejadas da mistura. A temperatura do cimento asfáltico modificado por polímero deve ser determinada para cada tipo de ligante, respeitando os limites estabelecidos. Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas específicas e a carga dos caminhões deve ser feita de forma a evitar a segregação da mistura dentro da caçamba. (DER ET-DE-P00/23).

O início da produção na usina deve ocorrer somente quando todo o equipamento de pista estiver em condições de uso para evitar a redução da temperatura da mistura durante a descarga na acabadora. O transporte, distribuição



e compactação da mistura, bem como as juntas, devem seguir as especificações técnicas contidas na norma.

A camada de microrrevestimento asfáltico a quente recém-aplicada deve ser liberada para o tráfego somente quando atingir a temperatura ambiente (DER ET-DE-P00/23).

2.6 MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO (MRAF)

O Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) é uma mistura processada em usina móvel especial, composta por agregados minerais, filler, água, emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo SBS (estireno - butadieno - estireno) ou SBR (estireno - butadieno - borracha) e aditivos, sendo uniformemente aplicada sobre uma superfície previamente preparada. Destina-se a diversas finalidades, incluindo selagem inibidora de trincas, impermeabilização, rejuvenescimento e aumento da aderência, sendo considerada uma evolução das lamas asfálticas, devido ao uso de emulsões modificadas com polímeros, o que prolonga sua vida útil (NBR 14948/2003).

Essa técnica foi introduzida no Brasil na década de 1990 e desde então tem sido amplamente utilizada em projetos de conservação preventiva e corretiva de rodovias e vias públicas com pavimentação asfáltica, apresentando resultados satisfatórios. (BERNUCCI, 2008).

É particularmente eficaz em pavimentos cuja estrutura não esteja comprometida, com ênfase na manutenção preventiva para revitalizar a superfície de rolamento e melhorar as condições de aderência entre os pneus e a superfície. (CERATTI, 2011).

A aplicação do MRAF deve seguir uma metodologia de dosagem adequada, utilizando equipamentos apropriados e submetidos a rigorosos controles para garantir o desempenho desejado. A norma brasileira para esse serviço é a 035/2005, estabelecida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), juntamente com a norma ABNT - NBR 14948/2003.

A espessura do revestimento pode variar de 4 a aproximadamente 40mm, sendo adequado para uso em várias superfícies, incluindo vias urbanas, rodovias de tráfego intenso e aeroportos. Para aplicar o MRAF, é necessário usar usinas móveis acopladas em caminhões, garantindo a continuidade na distribuição do material. Essas usinas devem estar equipadas com silos para agregados, filler, fibras, tanques



separados para emulsão asfáltica, água e aditivos, além de dispositivos de mistura e distribuição uniforme. (DNIT ES-035/2005).

É crucial preparar adequadamente a superfície antes da aplicação do microrrevestimento, o que envolve avaliação das condições estruturais e funcionais do pavimento, limpeza prévia com vassouras mecânicas e/ou sopradores, reparos prévios em buracos e selagem de trincas não estruturais. Além disso, é essencial monitorar a temperatura durante a aplicação, garantindo que não seja inferior a 10°C, e prevenir a exposição ao clima chuvoso, que pode prejudicar o revestimento. Agregados e fíler devem ser armazenados adequadamente para evitar segregação e umidade, e a emulsão asfáltica deve ser mantida em tanques com controle de temperatura e manejo ambiental. (CERATTI, 2011).

A aplicação do Pavimento Modificado a Frio (PMF) pela Brasquímica, empresa especializada em produtos asfálticos, tem múltiplas finalidades, incluindo a impermeabilização de revestimentos antigos desgastados, a proteção de revestimentos recentes de graduação aberta e a selagem de fissuras pequenas, além de proporcionar melhorias estéticas em pavimentos antigos. Seus usos também incluem o aumento do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento, a preservação do greide da pista por meio de uma camada de revestimento delgado e a capacidade auto-aderente ao pavimento subjacente, muitas vezes dispensando a necessidade de pintura de ligação. (JUNIOR, 2021).

Além de sua aplicação como camada de pavimento, o PMF é frequentemente utilizado no Brasil para serviços de manutenção em vias urbanas e até mesmo em rodovias, como por exemplo em reparos de buracos (tapa-buracos) (ZAGONEL, 2013).

No entanto, é importante ressaltar que o PMF não pode substituir o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) em vias com tráfego pesado. O PMF, embora seja mais econômico e mais fácil de produzir, não oferece a mesma qualidade e resistência que o CBUQ, especialmente quando aplicado por motoniveladoras em vez de vibroacabadoras, o que resulta em uma qualidade inferior.

Quanto aos custos, o PMF é aproximadamente 50% mais barato que o CBUQ, embora essa diferença possa variar dependendo da região do Brasil. A escolha entre um e outro tipo de pavimento depende das características específicas da obra e do volume de tráfego.



Embora o CBUQ ofereça uma qualidade e resistência superiores, o PMF pode ser uma opção viável para vias com baixo volume de tráfego, desde que seja projetado com um traço adequado, dosagem correta e submetido a um controle tecnológico rigoroso.

3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO

A condução deste trabalho foi desenvolvida no âmbito do estudo de caso da Intervenção de Reabilitação Funcional executada na Rodovia BR-232/PE, que abrange um trecho de 14,02 km, com início na cidade de Jaboatão dos Guararapes/PE e término em Bonança distrito da cidade de Moreno/PE.

O cerne desta reabilitação residiu-se na proposta de otimização das características do pavimento, contemplando a pista de rolamento e as faixas de acostamento, com o objetivo de promover um ambiente seguro para os usuários da rodovia.

A investigação da avaliação do pavimento prévio à intervenção, com o levantamento de informações e imagens disponibilizadas pelo Departamento Estradas de Rodagens (DER).

Através de levantamentos visuais detalhados, que abrangem a caracterização das patologias superficiais ao longo da extensão do trecho, incluindo tipo, localização, medida de extensão/área de ocorrência, foram identificados defeitos superficiais tais como:



Nas imagens subsequentes, torna-se possível observar algumas das patologias que se manifestavam no segmento antes da atividade de readequação funcional da rodovia BR-232/PE.

Figura 1 – Trincas Interligadas



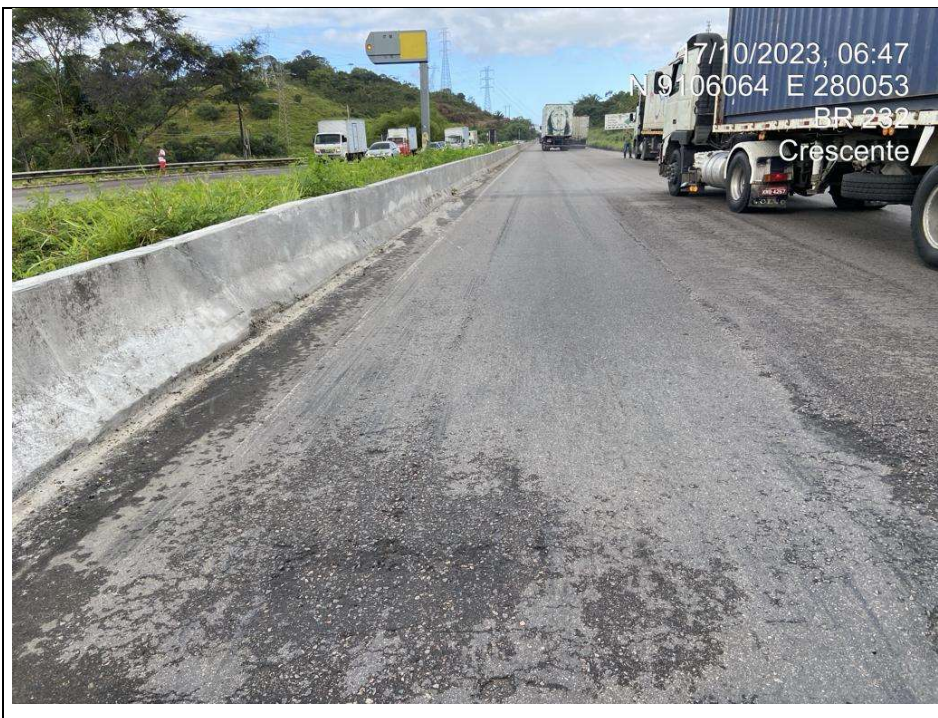
Fonte: Autores (2023)

Figura 2 – Trincas Isoladas



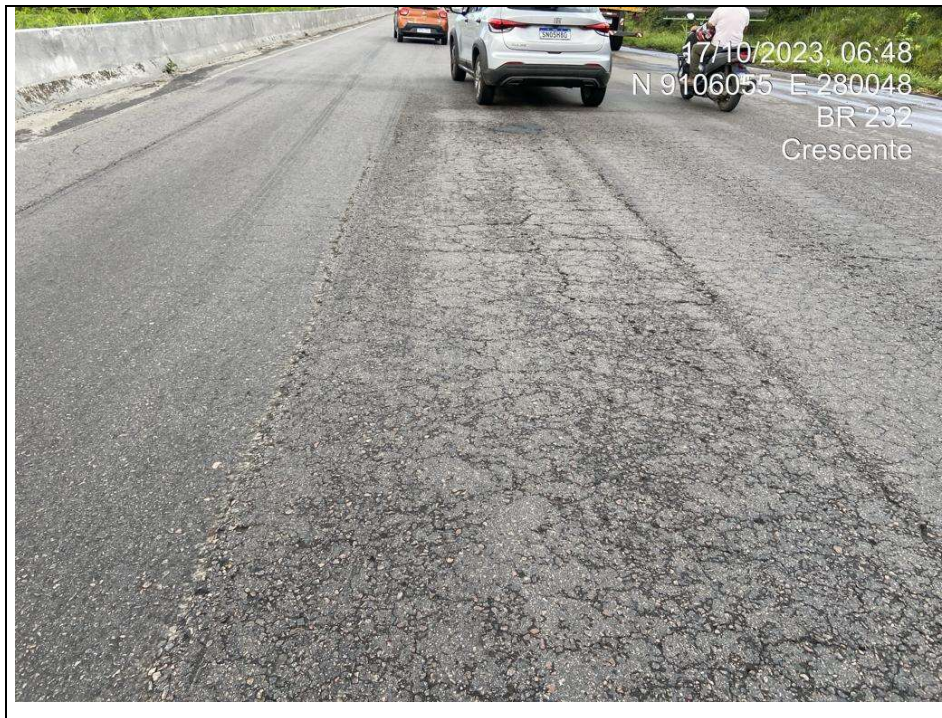
Fonte: Autores (2023)

Figura 3 – Desgaste do Pavimento



Fonte: Autores (2023)

Figura 4 – Trincas do Tipo Couro de Jacaré



Fonte: Autores (2023)

Figura 5 – Remendo Superficial, Trincas Isoladas, Desgaste do Pavimento



Fonte: Autores (2023)

Desgaste do Pavimento

Remendo superficial

Trincas isoladas

Figura 6 – Afundamento



Fonte: Autores (2023)

Figura 7 – Panelas



Fonte: Autores (2023)

As patologias identificadas na pista de rolamento foram previamente tratadas por meio de intervenções como: Fresagem descontínua e recomposição, Remendos profundos, Remendos superficiais, Aprimoramento da drenagem.

Nas imagens subsequentes, torna-se possível observar alguns dos tratamentos das atividades de readequação funcional da rodovia BR-232/PE.

Figura 8 – Fresagem Descontínua.



Fonte: Autores (2023)

Fresagem
Descontínua

Figura 9 – Recomposição.



Fonte: Autores (2023)

Figura 10 – Remendo Profundo.



Fonte: Autores (2023)

Figura 11 – Remendo superficial.



Fonte: Autores (2023)

Figura 12 – Aprimoramento da Drenagem.



Fonte: Autores (2023)

Subsequentemente, foi aplicado um microrrevestimento asfáltico a frio, utilizando emulsão polimerizada, em duas camadas de 8 mm cada.

O processo de microrrevestimento asfáltico a frio emprega emulsão asfáltica modificada por polímero, agregados, material de preenchimento (Filler), água e aditivos, quando necessários.

Figura 13 – Microrrevestimento Asfáltico a Frio 1.



Fonte: Autores (2023)

Figura 14 – Microrrevestimento Asfáltico a Frio 2.



Fonte: Autores (2023)

Figura 15 – Microrrevestimento Asfáltico a Frio 3.



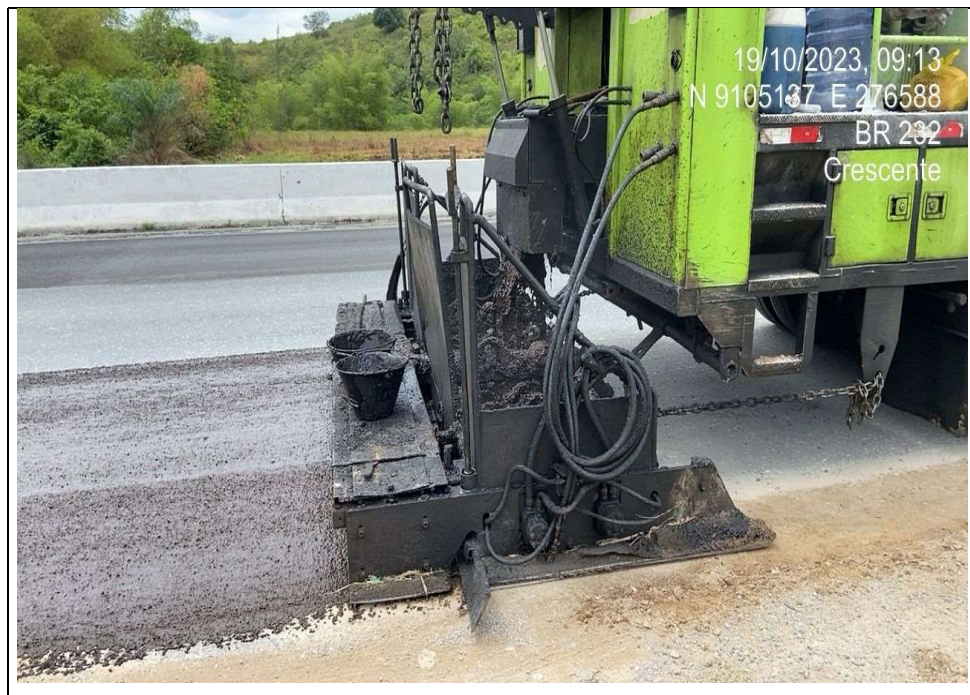
Fonte: Autores (2023)

Figura 16 – Microrrevestimento Asfáltico a Frio 4.



Fonte: Autores (2023)

Figura 17 – Microrrevestimento Asfáltico a Frio 5.



Fonte: Autores (2023)



Esta solução adotada é uma mistura de consistência fluida é uniformemente distribuída sobre uma superfície preparada e adequadamente limpa. O procedimento e os materiais empregados devem atender às especificações DNIT 035/2005-IS e DNIT 128/2010-EM.

A aplicação do microrrevestimento asfáltico com emulsão modificada por polímero elastomérico deve ser realizada com uma velocidade uniforme, minimizada sempre que possível.

Em circunstâncias normais, a operação é relativamente simples, requerendo cuidado especial na manutenção da consistência da mistura, ajustando a alimentação de água para garantir uma uniformidade consistente e o abastecimento constante da caixa distribuidora (DNIT ES-035/2017).

A técnica de mistura a frio apresenta vantagens relacionadas, em grande parte, à utilização de equipamentos mais simples, trabalhabilidade em temperaturas ambiente, boa adesividade com praticamente todos os tipos de agregados britados, capacidade de armazenamento e elevada flexibilidade (ABEDA, 2001).

Evidencia características de aderência excepcional ao pavimento a ser tratado, coesão significativa de seus componentes, resultando da qualidade dos materiais empregados, atendendo às especificações.

Apresenta uma espessura uniforme e regular, bem como alto desempenho ao longo do tempo.

De acordo com Júnior (2021), também é aplicado como revestimento de camada de rolamento, constituindo a camada asfáltica sobre uma base previamente imprimada, tanto em vias urbanas quanto em rodovias de tráfego reduzido. Aplicações do microrrevestimento incluem: Impermeabilização de revestimentos antigos com desgaste superficial, Proteção de revestimentos recentes de graduação aberta, Selagem de fissuras (<3mm) e melhoria estética de pavimentos antigos, Aumento do coeficiente de atrito (pneu/pavimento/rugosidade), Revestimento fino sobre o pavimento/preservação da conformação da pista, Camada auto-aderente ao pavimento subjacente, exceto quando pintura de ligação for recomendada, Preenchimento (nivelamento das trilhas de rodagem / <2cm), Prolongamento do ciclo de vida útil dos pavimentos asfálticos.

Os elementos componentes do microrrevestimento, que serão abordados detalhadamente neste trabalho, incluem Emulsão Asfáltica, agregados, material de



preenchimento, aditivo líquido, água, equipamento/aplicação, procedimentos de cura e liberação do tráfego, bem como as restrições à utilização.

A eficácia de cada um desses elementos contribui para o bom desempenho do microrrevestimento asfáltico a frio.

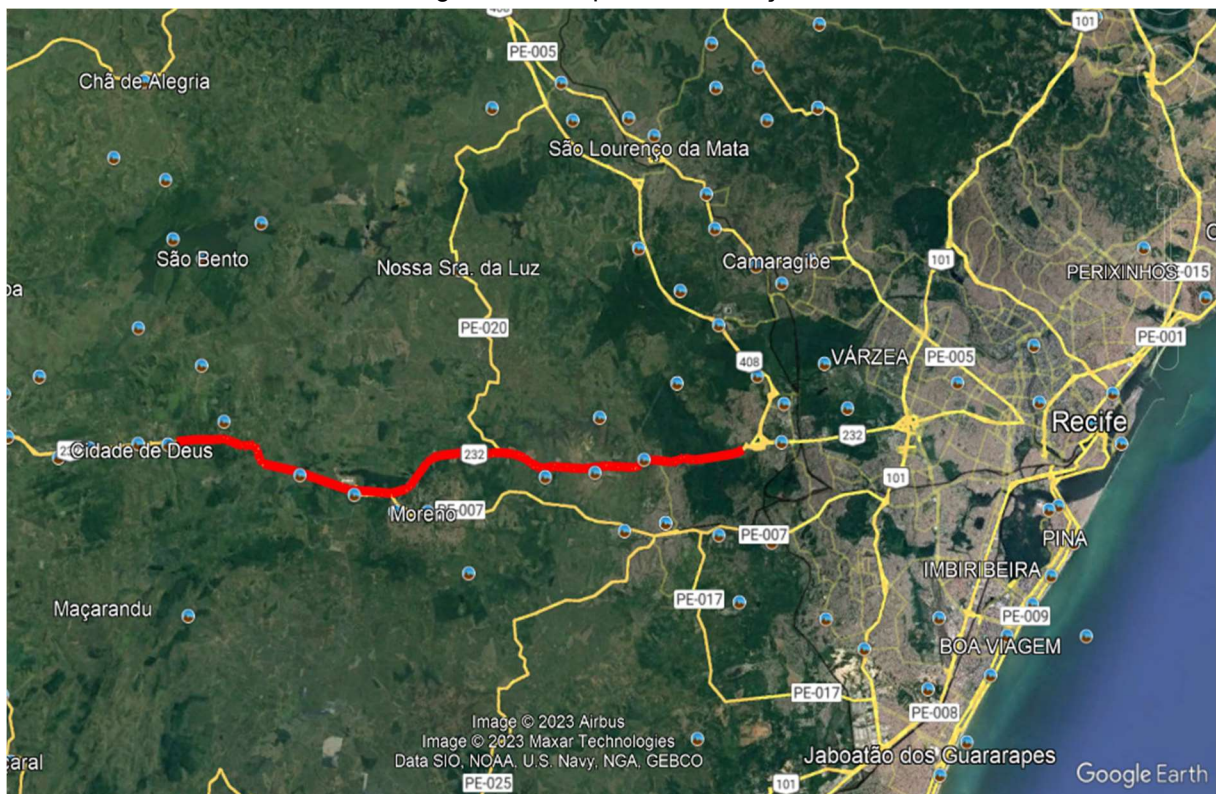
Dentre as deficiências identificadas no levantamento fornecido pelo Departamento de Estradas de Rodagens (DER), alternativas adicionais poderiam ter sido adotadas para sua recuperação.

Algumas dessas soluções serão analisadas e comparadas com a técnica empregada pelo Departamento de Estradas de Rodagens (DER), culminando na conclusão do estudo de caso.

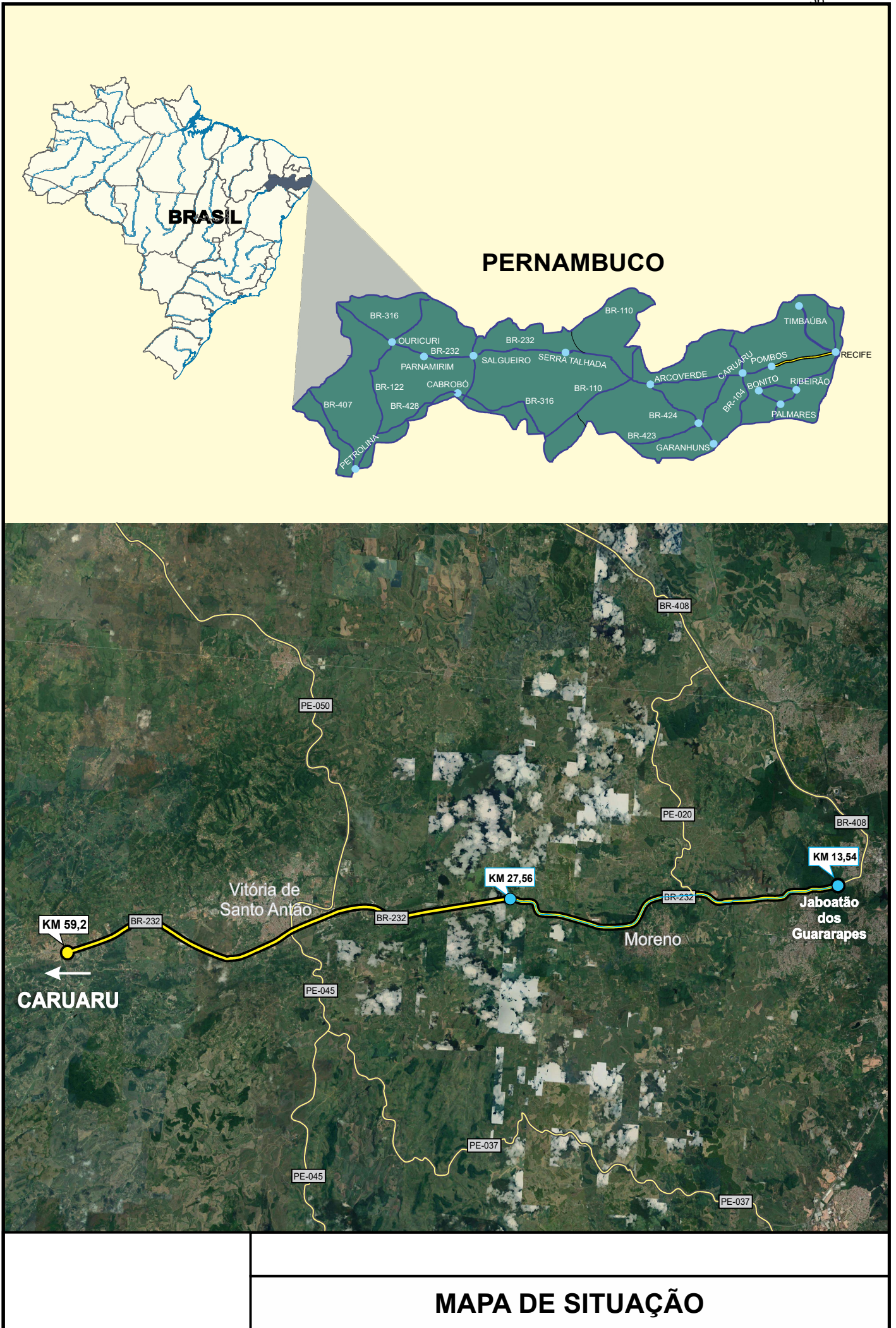
3.1 ESTUDO DE CASO

O objetivo deste estudo é apresentar a solução adotada para aprimorar o pavimento, tanto na pista de rolamento quanto no acostamento, da Rodovia BR-232/PE no segmento entre as cidades de Jaboatão dos Guararapes/PE e a cidade de Moreno/PE, localizado no estado de Pernambuco, dentro da região metropolitana de Recife. Esta iniciativa faz parte do Programa do Plano Anual de Trabalho e Orçamento (P.A.T.O) do DER/PE, conforme ilustrado na figura 18.

Figura 18 – Mapa de Localização



Fonte: Google Earth (2023)



3.2 LOCALIZAÇÃO DA RODOVIA

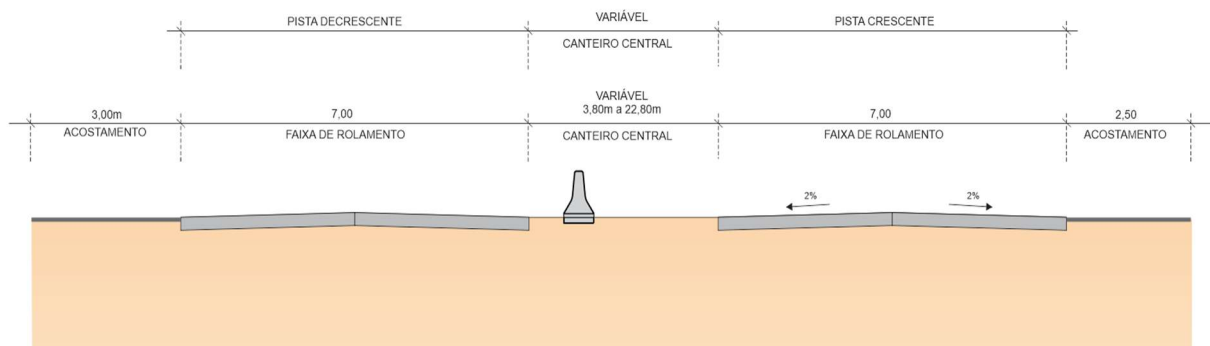
O trecho da rodovia em análise está localizado na Região Metropolitana do Recife, entre as cidades de Jaboatão dos Guararapes e Bonança. Com base nos dados do IBGE de 2023, Jaboatão dos Guararapes abriga uma população de aproximadamente 644.037 habitantes, enquanto Bonança tem uma população de cerca de 55.292 habitantes.

Segundo informações fornecidas pela Polícia Rodoviária Federal de Pernambuco (PRF/PE), o fluxo médio diário de veículos na BR-232/PE, no trecho entre as cidades do Recife e Caruaru, é de aproximadamente 30 mil automóveis. É importante ressaltar que, em feriados, esse número pode aumentar consideravelmente, chegando a registrar um acréscimo de 40% a 50% no fluxo de veículos automotores.

3.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

A pista de rolamento possui uma largura total de 7,00 metros, com duas faixas de 3,50 metros cada, e um acostamento que mede 2,5 metros, conforme ilustrado na figura 20.

Figura 20 – Características Geométricas
SEÇÃO TRANSVERSAL DA PISTA (EXISTENTE)



Fonte: Autores (2023)



3.4 AVALIAÇÃO DOS DANOS PREEXISTENTES ANTES DO PROCESSO DE REVITALIZAÇÃO

A avaliação funcional das rodovias está intimamente ligada à análise da condição superficial dos pavimentos e ao impacto desse estado na suavidade do tráfego, visando a determinação do nível de deterioração do revestimento asfáltico. Essa avaliação utiliza métodos tanto subjetivos, como a observação direta, quanto objetivos, como o Índice de Gravidade Global (IGG) (SILVA, 2008).

O trecho em estudo abrange uma extensão de 14,02 quilômetros, situado entre as cidades de Jaboatão dos Guararapes e Moreno, na Rodovia BR-232/PE, no estado de Pernambuco.

O plano de revitalização da rodovia, elaborado pelo Departamento de Estradas e Rodagem de Pernambuco (DER/PE) tem como propósito corrigir imperfeições em toda a extensão da pista de rolamento e acostamento, com o objetivo de proporcionar aos usuários melhores condições de segurança e conforto.

Por meio de inspeções visuais sistemáticas, conhecida como Levantamento Visual Contínuo (LVC) foi realizado um levantamento detalhado da condição do pavimento, percorrendo todo o trecho a pé, ao longo de todo o segmento.

Com base nesses levantamentos, foram elaboradas planilhas de campo que detalham cada tipo de defeito, sua localização exata.

Os dados obtidos em projeto estão citados abaixo, na tabela 1.

Tabela 1 - Localização e levantamento dos defeitos encontrados

RODOVIA BR 232/PE							D = DIREITO	
SEGMENTO KM 13,54 A 27,56							E = ESQUERDO	
							A = ACOSTAMENTO	
LOCALIZAÇÃO (km)	PISTA	LADO	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ESPESSURA (m)	VOLUME (m³)	DEFEITO	SOLUÇÃO
13,315	Crescente	A	12,00	2,50	0,05	1,50	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
14,947	Crescente	E	8,90	3,60	0,05	1,60	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
14,950	Crescente	D	8,00	2,50	0,05	1,00	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
15,581	Crescente	D	8,70	3,60	0,05	1,57	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
15,597	Crescente	E	3,20	1,10	0,05	0,18	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
16,720	Crescente	D	2,15	1,50	0,05	0,16	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
16,765	Crescente	A	3,27	1,55	0,05	0,25	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
16,781	Crescente	E	2,20	1,53	0,05	0,17	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
17,220	Crescente	D	1,70	1,40	0,05	0,12	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
17,223	Crescente	D	1,10	1,00	0,05	0,06	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
17,300	Crescente	D	1,80	1,30	0,05	0,12	TRINCAS ISOLADAS	SELAGEM DE TRINCAS
17,360	Crescente	D	5,20	2,80	0,05	0,73	TRINCAS ISOLADAS	SELAGEM DE TRINCAS
17,420	Crescente	D	4,00	3,40	0,05	0,68	TRINCAS ISOLADAS	SELAGEM DE TRINCAS
17,424	Crescente	D	3,20	2,00	0,05	0,32	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
17,680	Crescente	D	8,60	2,00	0,05	0,86	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
17,780	Crescente	A	5,70	3,80	0,05	1,08	DESGATE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
18,240	Crescente	A	9,00	1,00	0,05	0,45	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
18,260	Crescente	A	4,40	1,80	0,05	0,40	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
18,280	Crescente	E	4,00	3,00	0,05	0,60	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
18,284	Crescente	E	5,50	1,30	0,05	0,36	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
18,500	Crescente	D	8,00	2,55	0,06	1,22	CORRUGAÇÃO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
18,605	Crescente	D	8,00	2,55	0,06	1,22	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
18,725	Crescente	D	6,85	1,90	0,06	0,78	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
18,726	Crescente	D	6,85	1,90	0,06	0,78	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
18,733	Crescente	D	9,50	1,75	0,06	1,00	ONDULAÇÃO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
18,755	Crescente	A	9,50	1,75	0,06	1,00	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
19,040	Crescente	D	9,90	2,35	0,05	1,16	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
19,100	Crescente	E	9,90	2,35	0,05	1,16	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
19,222	Crescente	A	3,10	5,80	0,06	1,08	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
19,291	Crescente	E	3,10	5,80	0,06	1,08	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
19,620	Crescente	E	5,80	4,80	0,06	1,67	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
19,660	Crescente	E	5,81	4,87	0,06	1,70	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
19,900	Crescente	A	6,20	3,30	0,06	1,23	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO

RODOVIA BR 232/PE							D = DIREITO	
SEGMENTO KM 13,54 A 27,56							E = ESQUERDO	
							A = ACOSTAMENTO	
LOCALIZAÇÃO (km)	PISTA	LADO	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ESPESSURA (m)	VOLUME (m³)	DEFEITO	SOLUÇÃO
20,768	Crescente	E	6,20	3,30	0,06	1,23	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
21,000	Crescente	E	4,60	2,10	0,04	0,39	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
22,160	Crescente	D	5,77	3,90	0,06	1,35	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
22,290	Crescente	D	5,90	3,92	0,06	1,39	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
22,990	Crescente	D	6,30	4,05	0,06	1,53	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,100	Crescente	A	6,32	2,05	0,06	0,78	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,200	Crescente	E	4,85	3,80	0,04	0,74	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,210	Crescente	D	4,85	3,80	0,04	0,74	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,220	Crescente	A	5,00	3,80	0,04	0,76	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,285	Crescente	A	5,00	3,80	0,04	0,76	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
23,343	Crescente	A	14,70	1,60	0,06	1,41	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,380	Crescente	D	14,70	1,60	0,06	1,41	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
23,400	Crescente	E	11,80	2,70	0,05	1,59	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,460	Crescente	E	11,50	1,70	0,05	0,98	REMENDO	REMOÇÃO E RECOMPOSIÇÃO
23,480	Crescente	D	8,30	2,20	0,06	1,10	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
23,500	Crescente	A	8,30	2,20	0,06	1,10	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
23,507	Crescente	D	31,00	3,60	0,05	5,58	TRINCAS ISOLADAS	REMENDO PROFUNDO
23,526	Crescente	E	3,00	1,50	0,05	0,23	TRINCAS ISOLADAS	REMENDO PROFUNDO
23,560	Crescente	A	3,10	1,70	0,05	0,26	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
23,601	Crescente	E	3,20	2,00	0,05	0,32	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
23,668	Crescente	A	32,50	2,80	0,05	4,55	TRINCAS ISOLADAS	REMENDO PROFUNDO
23,722	Crescente	A	40,00	1,00	0,05	2,00	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
23,725	Crescente	A	2,20	1,00	0,05	0,11	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
23,757	Crescente	D	7,00	2,00	0,05	0,70	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
23,886	Crescente	D	6,60	2,00	0,05	0,66	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
23,910	Crescente	A	5,30	2,60	0,05	0,69	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
23,982	Crescente	A	5,50	1,80	0,05	0,50	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
24,044	Crescente	A	6,00	2,00	0,05	0,60	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
24,481	Crescente	A	4,00	1,80	0,05	0,36	PANELA	REMENDO SUPERFICIAL
24,540	Crescente	A	5,00	3,00	0,05	0,75	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
24,599	Crescente	D	8,80	3,60	0,05	1,58	TRINCAS INTERLIGADAS	REMENDO PROFUNDO
26,172	Crescente	D	6,00	4,10	0,03	0,74	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,188	Crescente	A	4,00	2,00	0,03	0,24	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,400	Crescente	A	20,00	3,60	0,03	2,16	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO

RODOVIA BR 232/PE							D = DIREITO	
							E = ESQUERDO	
SEGMENTO KM 13,54 A 27,56							A = ACOSTAMENTO	
LOCALIZAÇÃO (km)	PISTA	LADO	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	ESPESSURA (m)	VOLUME (m³)	DEFEITO	SOLUÇÃO
26,425	Crescente	A	16,00	3,60	0,03	1,73	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,520	Crescente	D	70,00	1,00	0,03	2,10	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,592	Crescente	D	10,00	3,20	0,03	0,96	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,605	Crescente	D	4,80	1,60	0,03	0,23	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,636	Crescente	A	16,50	4,60	0,03	2,28	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,665	Crescente	A	16,10	4,40	0,03	2,13	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,780	Crescente	A	6,50	4,60	0,03	0,90	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,840	Crescente	D	7,70	2,40	0,03	0,55	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,960	Crescente	D	7,60	1,90	0,03	0,43	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
26,968	Crescente	A	6,80	3,60	0,03	0,73	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,060	Crescente	A	140,00	1,00	0,03	4,20	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,080	Crescente	A	4,00	1,70	0,03	0,20	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,110	Crescente	A	10,00	3,60	0,03	1,08	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,142	Crescente	D	30,00	2,00	0,03	1,80	REMENDO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,190	Crescente	D	40,00	2,00	0,03	2,40	REMENDO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,200	Crescente	D	80,00	1,00	0,03	2,40	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,228	Crescente	D	9,40	2,00	0,03	0,56	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,280	Crescente	D	3,00	1,00	0,03	0,09	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,290	Crescente	A	23,80	2,80	0,03	2,00	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,340	Crescente	A	3,40	1,00	0,03	0,10	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,360	Crescente	D	5,50	1,50	0,03	0,25	REMENDO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,380	Crescente	D	27,60	3,60	0,03	2,98	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,382	Crescente	E	15,00	3,60	0,03	1,62	DESGASTE	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,408	Crescente	D	19,20	2,00	0,03	1,15	REMENDO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,495	Crescente	D	4,30	1,00	0,03	0,13	REMENDO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,515	Crescente	A	4,40	2,50	0,03	0,33	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,520	Crescente	A	14,90	2,00	0,03	0,89	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,522	Crescente	D	60,00	1,00	0,03	1,80	TRINCAS INTERLIGADAS	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,565	Crescente	D	11,00	1,00	0,03	0,33	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,593	Crescente	A	15,90	1,00	0,03	0,48	AFUNDAMENTO PLÁSTICO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,620	Crescente	D	28,00	2,70	0,03	2,27	REMENDO	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO
27,660	Crescente	D	23,80	3,60	0,03	2,57	DEFORMAÇÃO NA TRILHA DE RODA	FRESAGEM + RECOMPOSIÇÃO

Fonte: Autores

A relação completa dos defeitos identificados no segmento é apresentada acima.

Estes foram meticulosamente quantificados e, por meio de dados consolidados, um gráfico circular foi empregado para ilustrar a situação abrangente do segmento em questão.

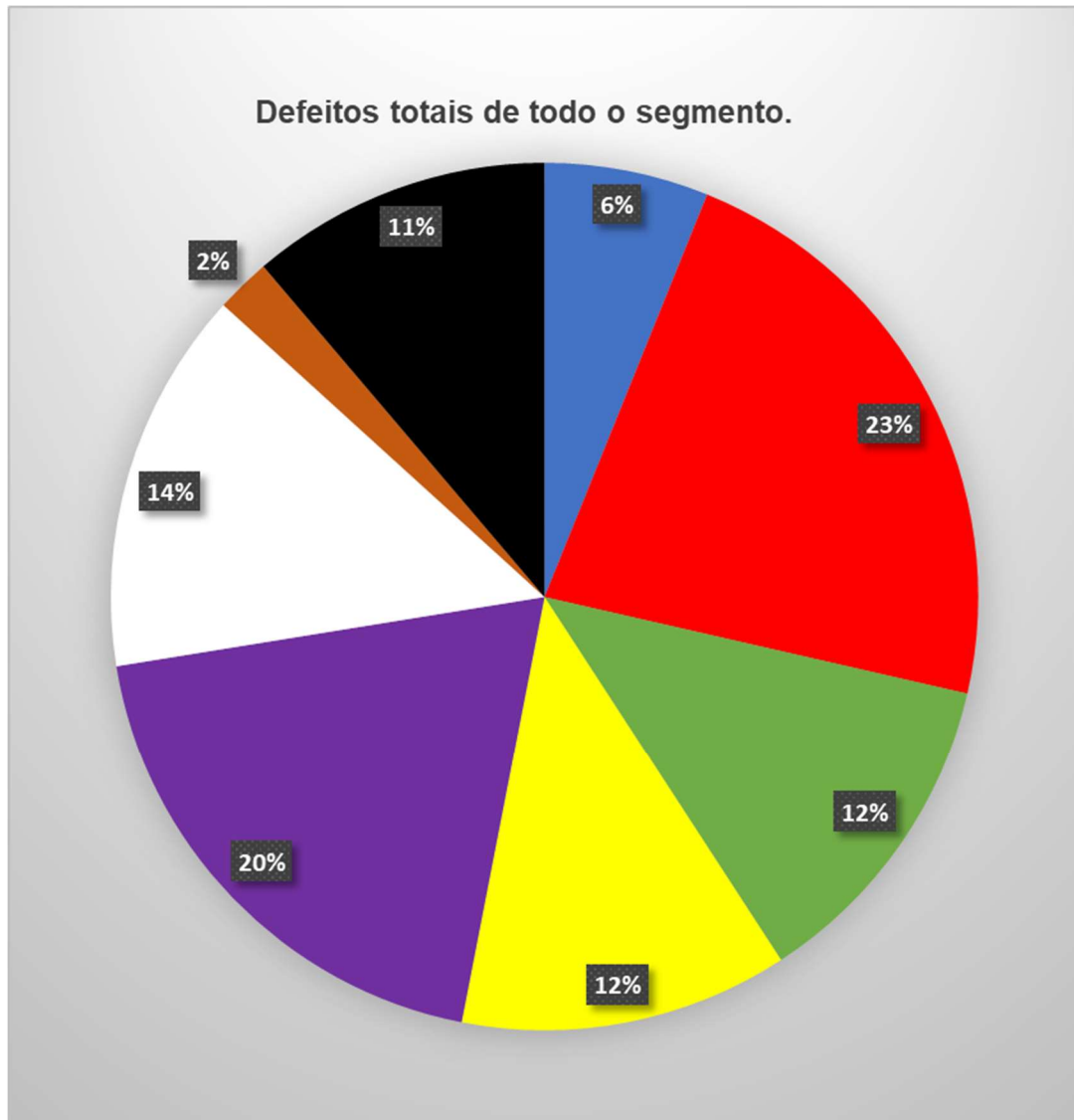
O Gráfico 1, exibido abaixo, representa um resumo detalhado dos defeitos detectados ao longo do percurso, prévios à sua revitalização.

Figura 21 – Listagem dos Defeitos (Totais)

6	Trincas isoladas	
22	Trincas interligadas	
12	Deformação nas trilhas de rodagem	
12	Afundamentos plásticos pontuais	
19	Remendos profundos e superficiais	
14	Paneles	
2	Ondulação/corrugação na camada asfáltica	
11	Desgaste do pavimento	

Fonte: Autores (2023)

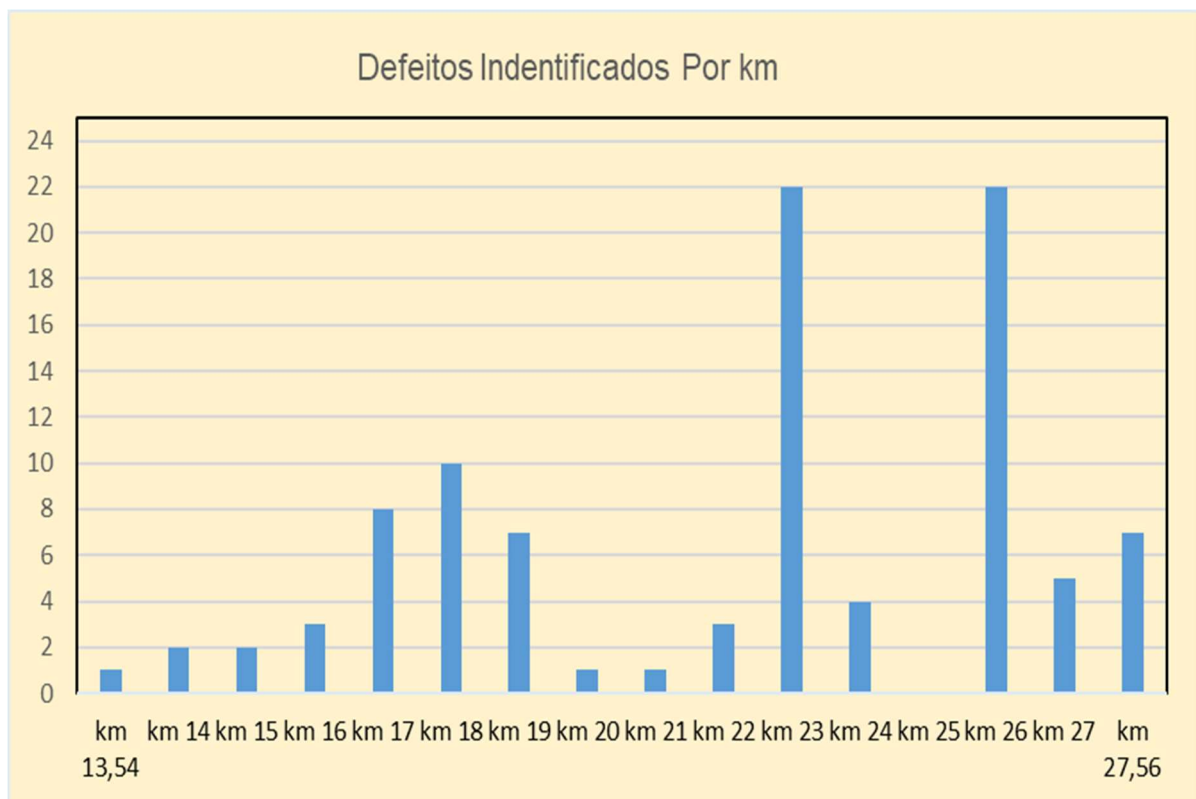
Gráfico 1 – Defeitos de Todo o Segmento



Fonte: Autores (2023)

As relações completas dos defeitos identificados no segmento foram separadas por km, conforme ilustra abaixo o gráfico 2.

Gráfico 2 – Defeitos Separados Por km



Fonte: Autores (2023)

Após o inventário dos defeitos no pavimento da rodovia, procedeu-se à subdivisão dos trechos, seguindo agrupamentos de 1,0 km de extensão. O trecho em análise foi fragmentado em 15 segmentos distintos.

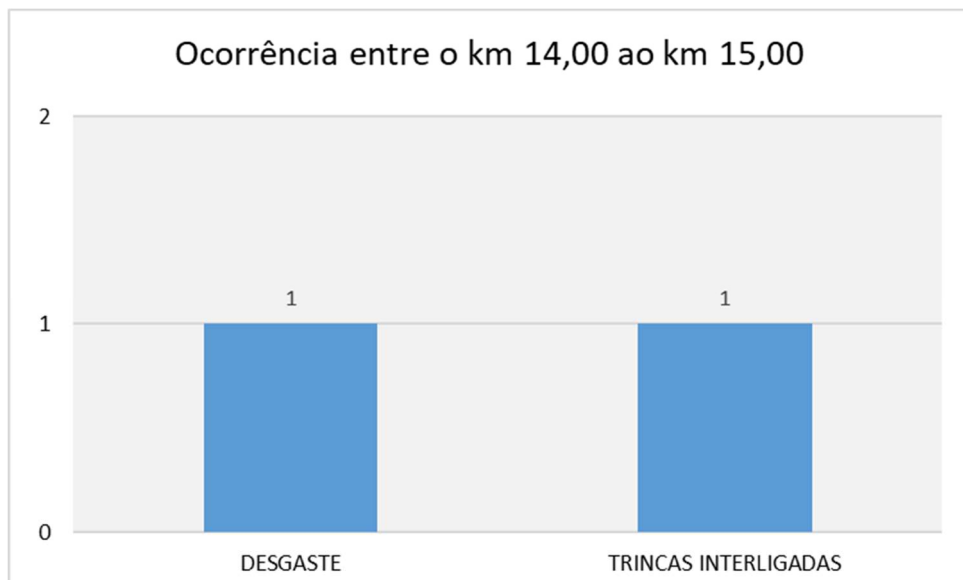
As representações gráficas a seguir delineiam as anomalias identificadas nos respectivos quilômetros do pavimento antes de sua renovação. Nota-se que o segmento no Km 25,0 não apresenta registro gráfico de defeitos, o que sugere a condição favorável do pavimento nesse trecho específico.

Gráfico 3 – Ocorrência entre o km 13,54 e km 14,00



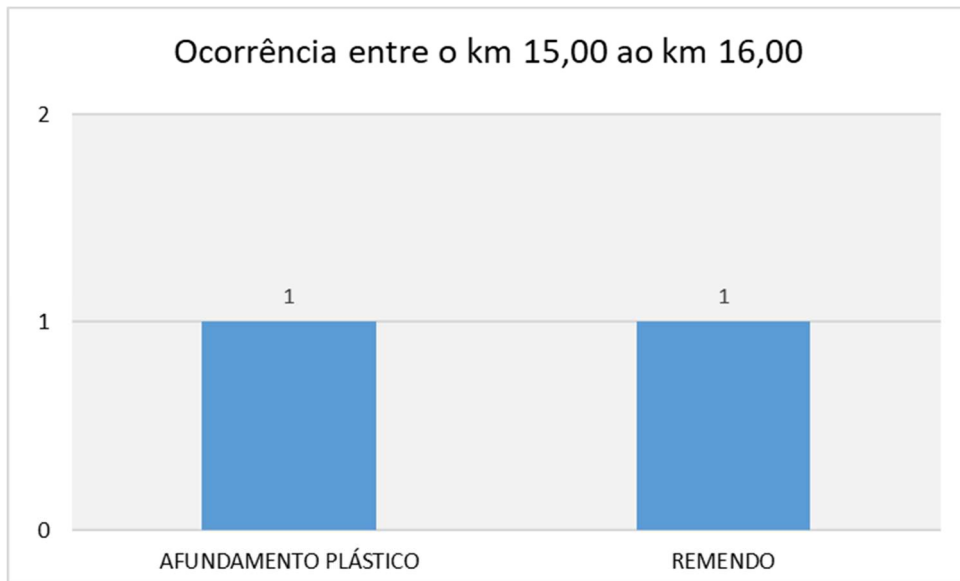
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 4 – Ocorrência entre o km 14,00 e km 15,00



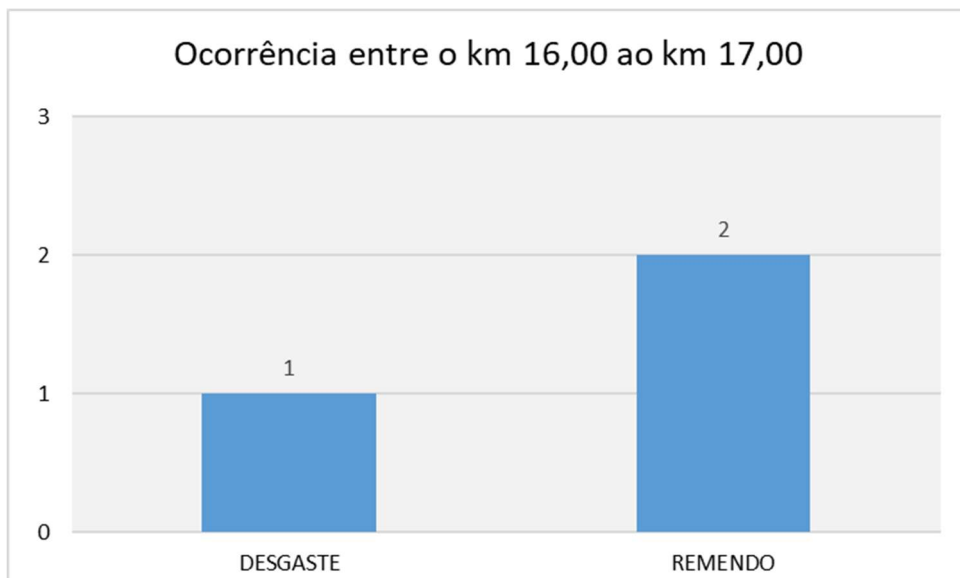
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 5 – Ocorrência entre o km 15,00 e km 16,00



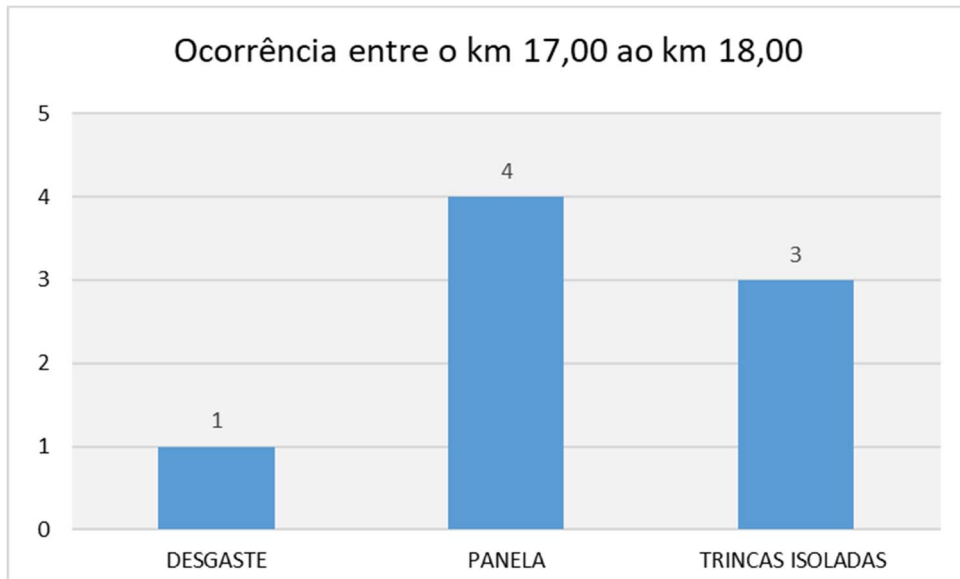
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 6 – Ocorrência entre o km 16,00 e km 17,00



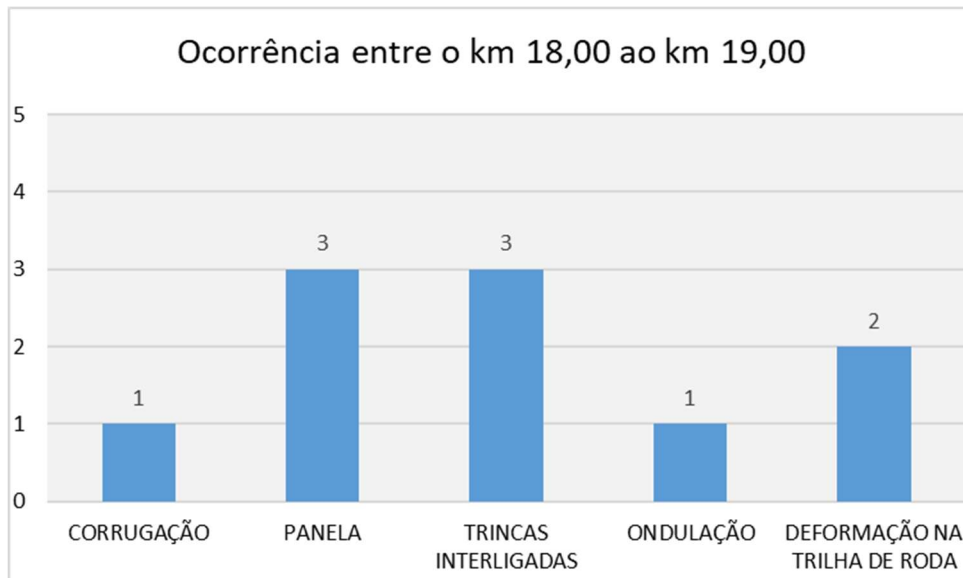
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 7 – Ocorrência entre o km 17,00 e km 18,00



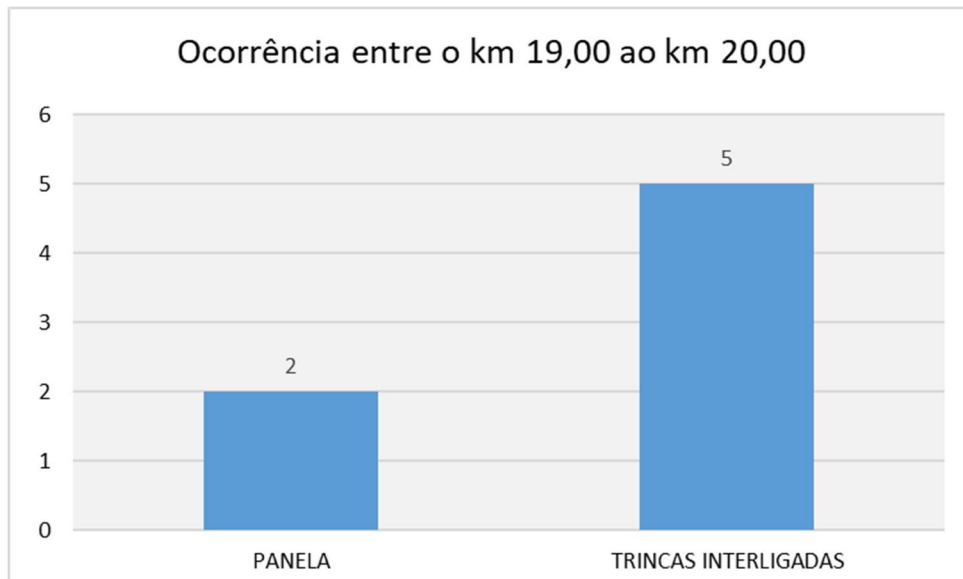
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 8 – Ocorrência entre o km 18,00 e km 19,00



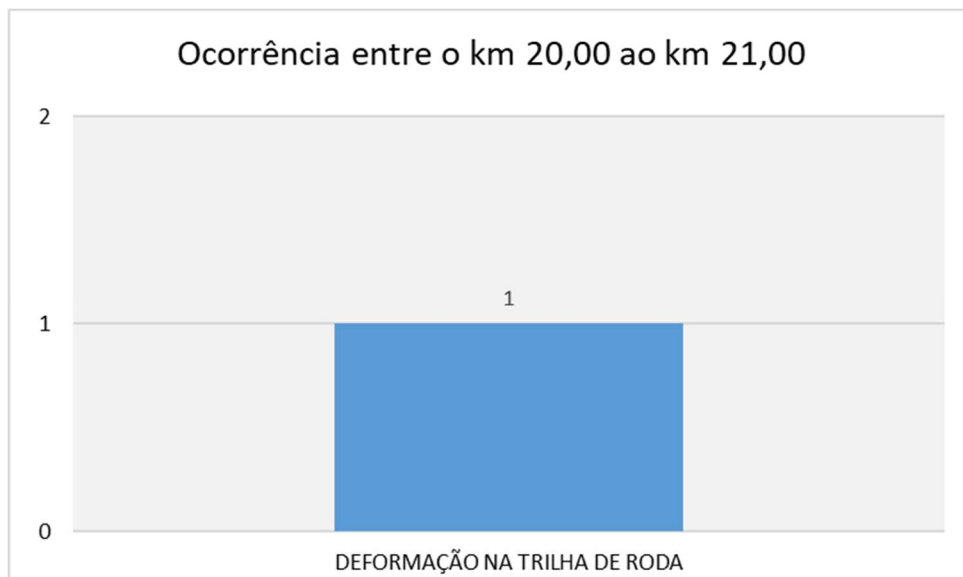
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 9 – Ocorrência entre o km 19,00 e km 20,00



Fonte: Autores (2023)

Gráfico 10 – Ocorrência entre o km 20,00 e km 21,00



Fonte: Autores (2023)

Gráfico 11 – Ocorrência entre o km 21,00 e km 22,00



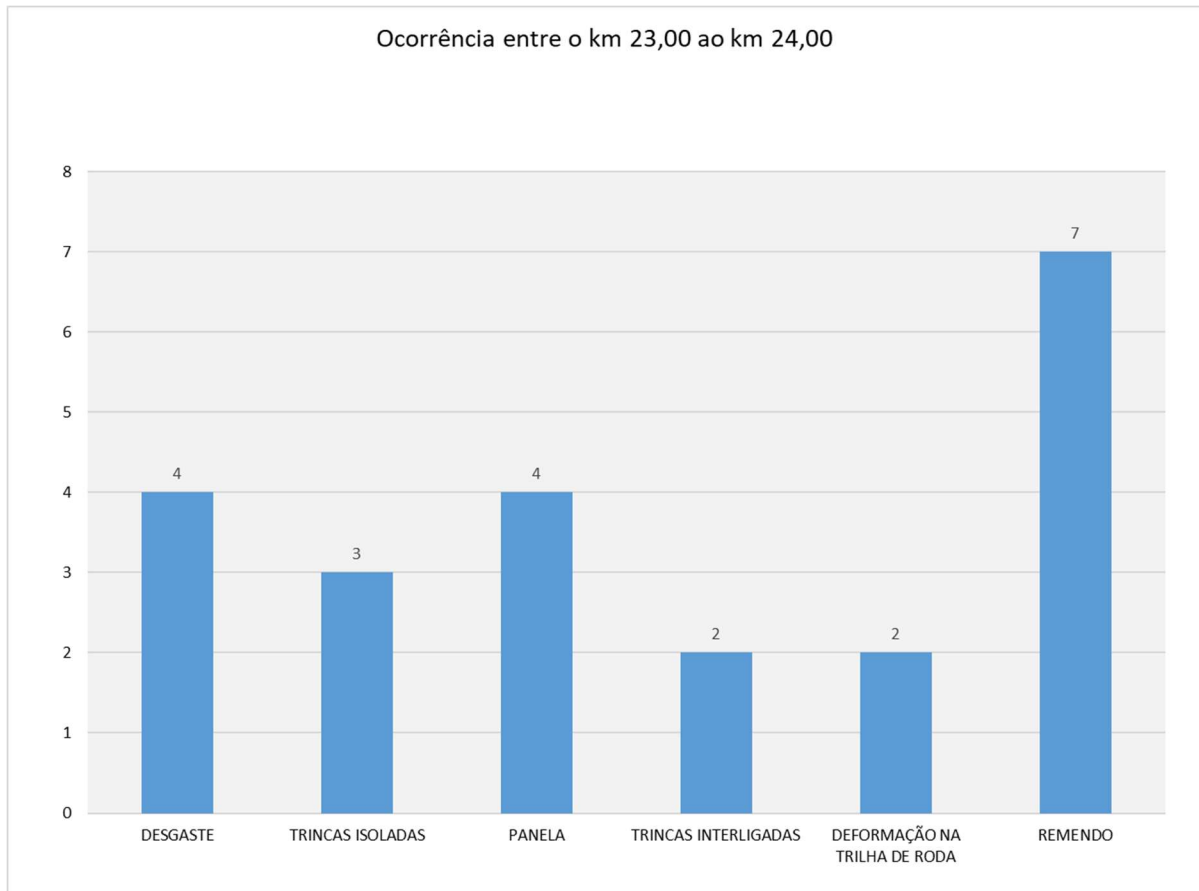
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 12 – Ocorrência entre o km 22,00 e km 23,00



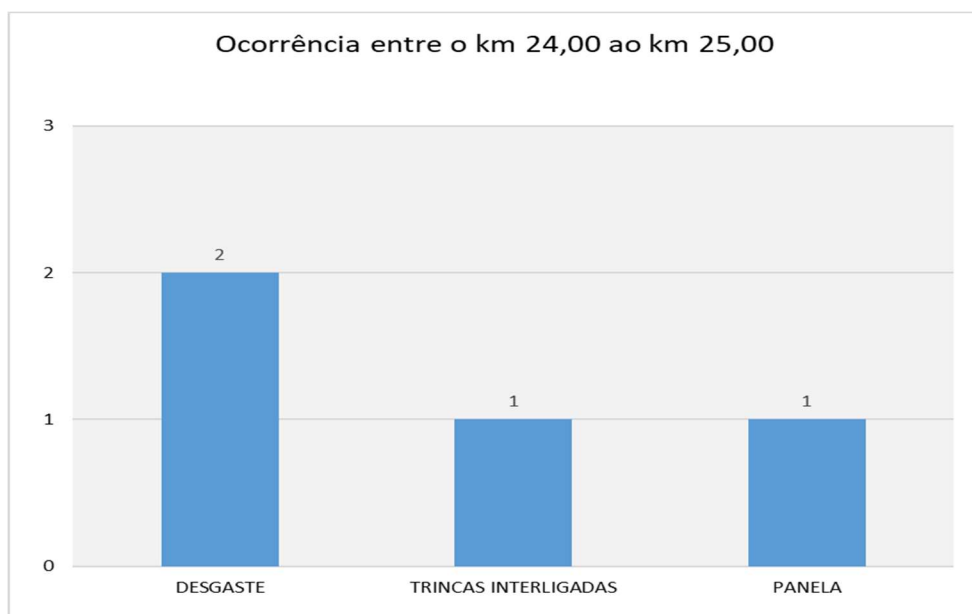
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 13 – Ocorrência entre o km 23,00 e km 24,00



Fonte: Autores (2023)

Gráfico 14 – Ocorrência entre o km 24,00 e km 25,00



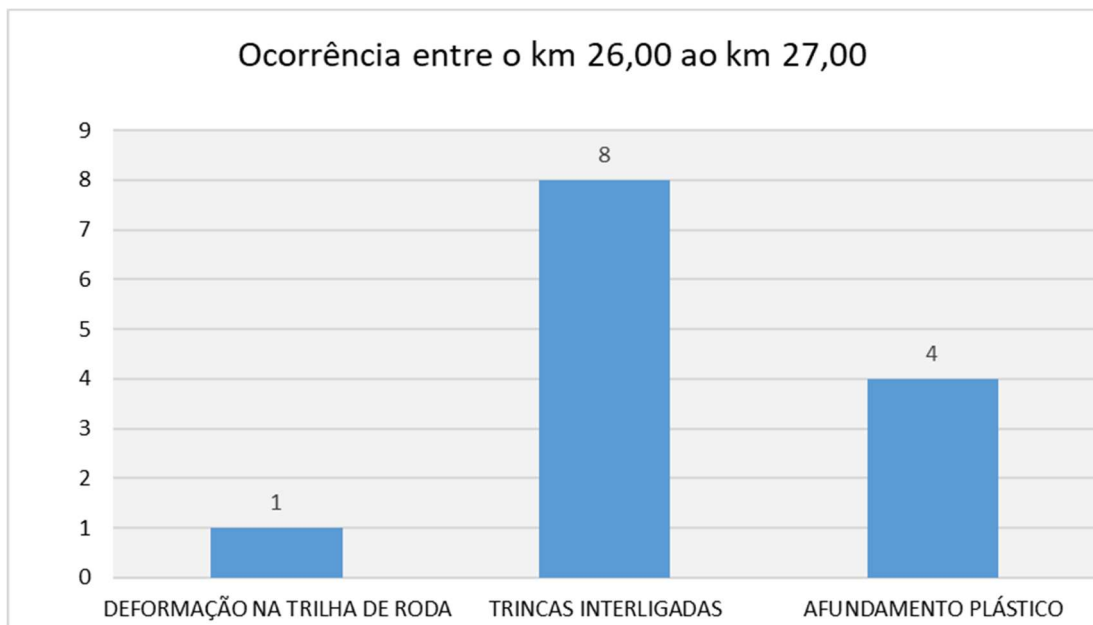
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 15 – Ocorrência entre o km 25,00 e km 26,00



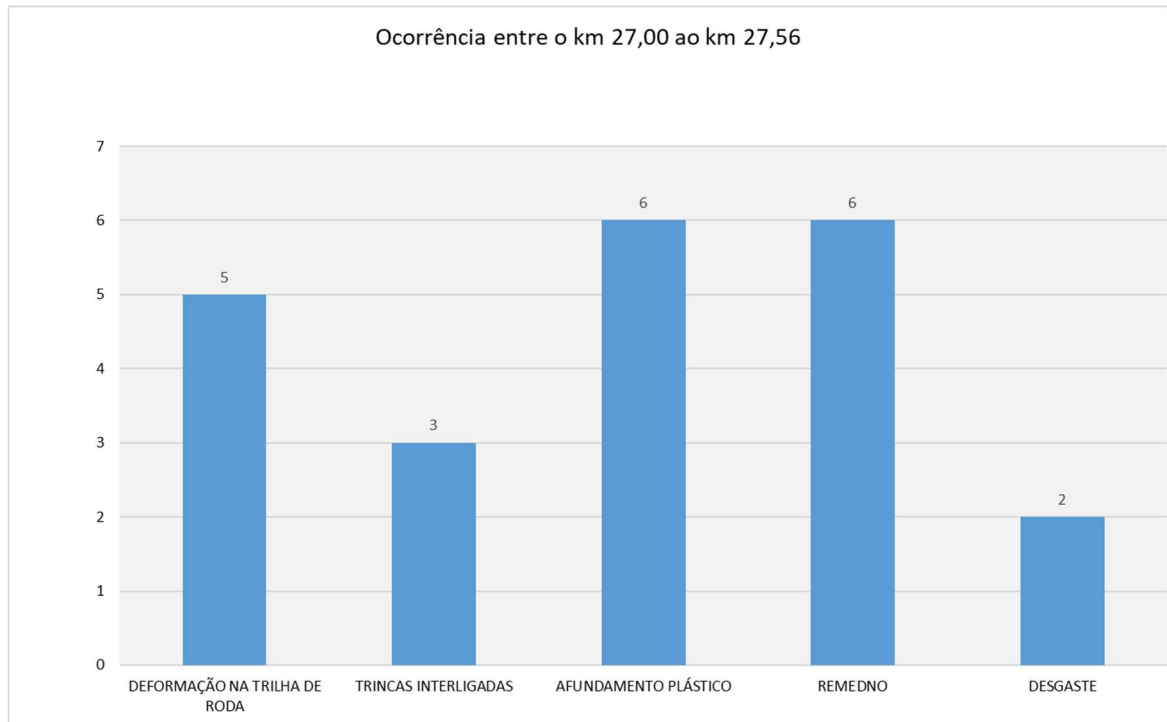
Fonte: Autores (2023)

Gráfico 16 – Ocorrência entre o km 26,00 e km 27,00



Fonte: Autores (2023)

Gráfico 17 – Ocorrência entre o km 27,00 e km 27,56



Fonte: Autores (2023)

O processo de seleção das soluções adotadas no projeto fundamentou-se, inicialmente, na Avaliação Visual de Soluções (AVS), que passou por análises minuciosas conduzidas por engenheiros especializados em pavimentação.

O levantamento foi realizado por uma equipe de engenheiros do Departamento Estradas de Rodagem (DER), com intuito de reabilitar o trecho em questão. Por meio da avaliação dos índices calculados para o pavimento e da inspeção in loco da situação de cada segmento, esses especialistas analisaram todas as informações disponíveis e determinaram as soluções funcionais mais adequadas para cada um dos trechos.

3.5 ANÁLISE DAS SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

A avaliação do pavimento desempenha um papel crucial ao subsidiar a tomada de decisões relacionadas à escolha das opções de construção e conservação mais rentáveis, considerando os custos e benefícios sob determinadas condições técnicas e econômicas. Os custos associados à conservação e restauração referem-se a todas as medidas implementadas ao longo da vida útil do pavimento, visando manter sua qualidade em um nível específico ou preservar a qualidade do pavimento dentro de um determinado limite de degradação.

De forma geral, podem ser considerados dois grupos de ações de conservação: conservação periódica e restauração.

A conservação periódica tem como objetivo corrigir deficiências pontuais que surgem ao longo do tempo, incluindo correções no sistema de drenagem, enquanto a restauração abrange um conjunto de medidas a serem executadas em determinados intervalos durante a vida útil do pavimento, visando recuperar características estruturais e/ou funcionais ou reduzir a taxa de degradação do pavimento.

Neste estudo, serão apresentadas duas opções de restauração para o pavimento do trecho em questão.

3.5.1 Fresagem Contínua e Recomposição

A fresagem de pavimentos asfálticos é uma técnica frequentemente aplicada como parte integrante de um processo de restauração e reabilitação de pavimentos deteriorados. No contexto do orçamento do projeto de restauração, surgem duas opções de serviços de fresagem: contínua e descontínua.

3.5.2 Reforço do Pavimento

O reforço do pavimento envolve a restauração das características estruturais, que requer a aplicação de uma camada adicional de materiais betuminosos sobre a superfície do pavimento existente. Esse procedimento tem como objetivo fortalecer a estrutura global e estender sua vida útil.

Com base nas alternativas consideradas e nos levantamentos realizados, essas opções são comparadas à técnica adotada do Microrrevestimento Asfáltico a



Frio (MRAF). Observa-se diferenças na vida útil do serviço, sendo que em alguns casos, essa vida útil supera a do MRAF. No entanto, para o estudo em questão, a viabilidade imediata não se restringe apenas a esses fatores.

Ao analisar o pavimento em si e considerar uma alternativa que envolveria o aumento da camada do pavimento, torna-se evidente que essa medida teria impactos em outro aspecto não abordado no estudo, a drenagem.

A infraestrutura existente não seria capaz de suportar tal ampliação, o que poderia resultar em desafios futuros que demandariam uma readequação e, em última análise, não seriam viáveis do ponto de vista financeiro.

Devido ao tráfego em questão, a solução adotada revelou-se apropriada.



4. CONCLUSÃO

A recuperação funcional do pavimento tem como principal objetivo assegurar segurança e conforto aos usuários.

No caso específico do trecho em estudo, a técnica do Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF) foi escolhida para sanar os problemas identificados, demonstrando resultados eficazes ao percorrer visualmente os 14,02 km do trecho.

O MRAF foi selecionado devido à sua capacidade de prolongar a vida útil do pavimento existente, melhorando a aderência e a impermeabilização.

Defeitos como trincas, deformações, ondulações e outros foram reparados após a execução cuidadosa da técnica, seguindo as especificações nacionais e internacionais que garantem a qualidade dos materiais e procedimentos utilizados.

Considerando o cenário das rodovias no Brasil, que frequentemente apresentam condições precárias, é crucial realizar a manutenção do pavimento de forma eficiente e oportuna. Além do MRAF, outras soluções também podem ser consideradas, mas, levando em conta os resultados alcançados e a viabilidade econômica, o MRAF se mostrou mais vantajoso, proporcionando um equilíbrio entre custo e benefício, garantindo a segurança e conforto dos usuários.

Este estudo ressalta a importância do trabalho em equipe e da colaboração para resolver problemas e atingir metas.

A dedicação, comunicação e profissionalismo de cada membro da equipe foram fundamentais para o sucesso do projeto.

Através do comprometimento coletivo, este trabalho de conclusão de curso foi concluído, reforçando a importância do engajamento conjunto para alcançar resultados positivos.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASFALTO DE QUALIDADE. Informações sobre Construções, Manutenção e Recuperação de Rodovias. Disponível em: <http://asfaltodequalidade.blogspot.com/2015/09/cbuq-x-pmf.html>>. Acesso em: 12 outubro 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS (ABEDA). Manual básico de emulsões asfálticas: Soluções para pavimentar sua cidade. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14948. Microrrevestimento asfálticos a frio modificados por polímero – Materiais, execução e desempenho. Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, M. Gestão da Conservação de Pavimentos – As Técnicas de Reabilitação Estrutural dos Pavimentos. Centro Rodoviário Português, Portugal, 1999

BATISTA, F. Novas Técnicas de Reabilitação de Pavimentos - Misturas Betuminosas Densas a Frio Dissertação elaborada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 495p, 2004.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás; Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2008.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2007.

BONFIM, V. Fresagem de Pavimentos Asfálticos. São Paulo: Fazendo Arte, 2007.

BRASQUÍMICA. Informações Técnicas. Disponível em: <http://www.brasquimica.com.br/informacoestecnicas/prg_pub_det.cfm/microrrevestimentofaltico-a-frio>. Acesso em: 15 setembro 2023.



CERATTI, Jorge Augusto Pereira; REIS, Rafael Marçal Martins de. Manual de Microrrevestimento Asfáltico a Frio. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CUNHA, T. B. e MACEDO, L. H. Aplicação de microrrevestimento asfáltico (com adição de polímero elastomérico) na revitalização de diversas vias urbanas no município de Aparecida de Goiânia – GO. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Aparecida de Goiânia, 2022.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DER ET-DE-P00/023. Microrrevestimento Asfáltico a Quente – Microrrevestimento asfáltico a quente – Asfalto Polímero – Pavimentação. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT ES-035/2005. Pavimentos flexíveis – Microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero – Especificação e serviço. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT ES-035/2005. Pavimentos flexíveis – Microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero – Especificação e serviço. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT ES-031/2006. Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de Serviço – Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006, 314p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT Manual de conservação rodoviária. Publicação IPR-710. Ministério dos Transportes Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2005.



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT Terminologias Rodoviárias Usualmente Utilizadas. Versão 1.1. Ministério dos Transportes.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2007. DVS. Fresagem de Pavimentos. Disponível em: <<http://fresagem.com.br/servicos/fresagemde-pavimentos/>>. Acesso em: 25 agosto 2023.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; Pavement management system. McGraw- Hill, 1978. JACINTO, M. Caracterização Estrutural de Pavimentos. Dissertação para Obtenção de Mestre em Vias de Comunicação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2003.

IBGE. Censo municipal de Jaboatão dos Guararapes. IBGE(2022) <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama> 06 de novembro de 2023.

IBGE. Censo municipal de Moreno IBGE (2022) <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/moreno/panorama> 06 de novembro de 2023.

DIARIO DE PERNAMBUCO. Estradas federais e estaduais de Pernambuco com trânsito intenso, DIARIO DE PERNAMBUCO (2019) <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2019/06/estradas-federais-e-estaduais-de-pernambuco-com-transito-intenso.html>. 06 de novembro de 2023

JUNIOR, Edmar. **Pavimentação em vias públicas: Análise do estado do Pavimento da Avenida Coronel Escolástico em Cuiabá - MT.** Engineering and Science, 2014.

MALLICK RAJIB, B.; EL-KORCHI, T. Pavement Engineering: Principles and Practice. 2018.



MORAIS, F. G. **Estudo do desempenho funcional de pavimentos urbanos no município de Barra do Garças - MT através do índice de serventia urbano.** TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Barra do Garças, 2020.

PICADO-SANTOS, L., PEREIRA, P., and BRANCO, F. Pavimentos Rodoviários. Edições Almedina, Coimbra, 388p, 2006.

PINTO, S., PREUSSLER, E. S. Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. Rio de Janeiro, 2002.

ROCHA, R.S. Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações: estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar. Salvador, 2010.

SILVA, Paulo Fernando A. Manual de patologia e manutenção de pavimentos. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008. 128 p.

VIDEIRA, F. I. B. **Manual de conservação de pavimentos para pequenas redes rodoviárias municipais: bases para a sua elaboração.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2014.

ZAGONEL, Ana Regina. Inovações em Revestimentos Asfálticos no Brasil. 2013. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2013.