



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**VINICIUS PANDINI MORAIS**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE UM PAVIMENTO  
ASFÁLTICO: ESTUDO DE CASO EM UMA VIA URBANA DE BENTO  
GONÇALVES - RS**

**BENTO GONÇALVES – RS**

**2021**

**VINICIUS PANDINI MORAIS**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE UM PAVIMENTO  
ASFÁLTICO: ESTUDO DE CASO EM UMA VIA URBANA DE BENTO  
GONÇALVES - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Centro Acadêmico da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul.

Orientador: Prof. M. Sc. Matheus Lemos Nogueira

**BENTO GONÇALVES – RS**

**2021**

**VINICIUS PANDINI MORAIS**

**AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DE UM PAVIMENTO  
ASFÁLTICO: ESTUDO DE CASO EM UMA VIA URBANA DE BENTO  
GONÇALVES - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Centro Acadêmico da Região dos Vinhedos, da Universidade de Caxias do Sul.

**Aprovado em: 07/12/2021**

**Banca Examinadora**

---

Orientador Prof. Me. Matheus Lemos Nogueira  
Prof. Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof. Me. Anelise Schmitz  
Prof. Universidade Federal do Paraná – UFPR

---

Prof. Me. Carolina Becker Pôrto Fransozi  
Prof. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e determinação durante todos os esses anos de estudos.

Agradeço aos meus pais, Ailton e Delci, por me proporcionarem a oportunidade de estudar e me incentivarem em todos os momentos difíceis.

À minha noiva Angélica Bucco, por todo o companheirismo nos estudos e na vida, tornando essa caminhada muito mais prazerosa.

Aos meus sogros, Olivio e Marli, pelo incansável suporte e pelos bons conselhos de sempre.

Ao meu orientador, Professor Matheus Lemos Nogueira, por toda a paciência, suporte e conhecimento transmitido nesse último ano.

Aos Engenheiros Civis da Prefeitura Municipal de Bento Gonçalves, por todo o auxílio prestado na realização dos levantamentos.

À minha prima Claudia Simioni, pelo auxílio nos levantamentos em campo.

Ao Engenheiro Kelvin Rafael Duarte, pela ajuda na escolha do tema deste trabalho.

Por fim, agradeço aos meus amigos e familiares próximos, que de certa forma participaram da minha caminhada até aqui.

## RESUMO

Os pavimentos rodoviários são os responsáveis por transportar a maior parcela de cargas e passageiros no país. Em virtude disso, é imprescindível manter a malha viária em condições adequadas de trafegabilidade, proporcionando aos usuários conforto e segurança. Diante deste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a condição superficial de um trecho urbano e propor intervenções cabíveis com as manifestações patológicas detectadas no trecho. Foi avaliado um trecho de 700 m, de pista dupla, localizado na Avenida São Roque, compreendido entre as Ruas Celeste Agostin e Vereador Loreno Menegotto, na cidade de Bento Gonçalves – RS. O trecho foi subdividido em subtrechos 1 e 2, sendo um em cada sentido de tráfego. Para avaliá-los, foram utilizadas avaliações funcionais, sendo elas: Índice de Gravidade Global (IGG), Valor de Serventia Atual (VSA) e Índice do Estado da Superfície (IES). De posse dos índices calculados, realizou-se a comparação entre os métodos adotados, bem como, a sugestão de possíveis alternativas de intervenção. As avaliações classificaram os subtrechos como ruins e péssimos. Em virtude da gravidade dos defeitos, foram sugeridas manutenções de restauração e reconstrução, a fim de recompor a capacidade funcional e estrutural do pavimento.

Palavras-chave: Revestimento asfáltico. Manifestações patológicas. Avaliação funcional.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico .....	21
Quadro 2 - Resumo das causas e tipos de deformações permanentes .....	27
Quadro 3 - Deterioração do pavimento .....	29
Quadro 4 - Resumo das manifestações patológicas – Fendas .....	42
Quadro 5 - Resumo das demais manifestações patológicas .....	43
Quadro 6 - Tipos de técnicas de conservação .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor do fator de ponderação .....	74
Tabela 2 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG .....	76
Tabela 3 - Frequência de defeitos do LVC .....	81
Tabela 4 – Frequência dos defeitos do LVC ajustada .....	81
Tabela 5 - Conceitos do ICPF .....	82
Tabela 6 - Determinação do Índice de Gravidade .....	83
Tabela 7 - Pesos para cálculo do IGGE .....	83
Tabela 8 - IES - Índice do Estado da Superfície do pavimento .....	83
Tabela 9 - Planilha de cálculo do IGG do subtrecho 1 .....	85
Tabela 10 - Planilha de cálculo do IGG do subtrecho 2 .....	86
Tabela 11 - Formulário do LVC .....	90
Tabela 12 - Planilha de cálculo do IGGE .....	93
Tabela 13 - Quadro resumo do LVC .....	95
Tabela 14 - Comparação entre os resultados .....	95

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Deformação pela carga no pavimento rígido .....	17
Figura 2 - Deformação elástica pela carga no pavimento flexível .....	17
Figura 3 - Esquema de seção transversal do pavimento .....	18
Figura 4 - Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas .....	30
Figura 5 - Trincas transversais .....	32
Figura 6 - Trincas longitudinais .....	33
Figura 7 - Trinca de retração .....	33
Figura 8 - Esquema e ocorrência real de trincas tipo bloco .....	34
Figura 9 - Trincas tipo couro de jacaré .....	35
Figura 10 - Esquema e ocorrência real de afundamento de trilha de roda.....	36
Figura 11 - Esquema e ocorrência real de afundamento nas trilhas de roda .....	37
Figura 12 - Ondulação no revestimento .....	37
Figura 13 - Esquema e ocorrência real de escorregamento do revestimento .....	38
Figura 14 - Exsudação .....	39
Figura 15 - Desgaste .....	39
Figura 16 - Formação de painéis em pavimentos asfálticos .....	40
Figura 17 - Esquema e ocorrência real de painéis .....	41
Figura 18 - Esquema e ocorrência real de remendo .....	42
Figura 19 - Variação da serventia com o tráfego ou tempo decorrido.....	46
Figura 20 - Esquema de simulador de tipo resposta .....	47
Figura 21 - Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico.....	48
Figura 22 - Aplicação de compactação de PMF .....	52
Figura 23 - Exemplo de selagem de trincas .....	54

Figura 24 - Aplicação de lama asfáltica.....	55
Figura 25 - Usina móvel para aplicação de MRAF .....	56
Figura 26 - Aplicação do MRAF para o preenchimento de trilhas de roda .....	56
Figura 27 - Microrrevestimento asfáltico em vias urbanas .....	58
Figura 28 - Tratamentos superficiais .....	59
Figura 29 - Etapas construtivas de um tratamento superficial simples.....	59
Figura 30 - Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões .....	60
Figura 31- Posicionamento de camadas de interrupções de trincas.....	61
Figura 32 - Posicionamento de geotêxtil em pavimento recapeado .....	62
Figura 33 - Aplicação de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico .....	62
Figura 34 - Fresagem no pavimento asfáltico .....	64
Figura 35 - Localização do Município de Bento Gonçalves no Estado do Rio Grande do Sul .....	65
Figura 36 - Área urbana de Bento Gonçalves .....	66
Figura 37 - Localização da Avenida de Estudo .....	67
Figura 38 - Trecho de análise.....	68
Figura 39 - Estrutura do pavimento existente.....	69
Figura 40 - Exemplo de demarcação de estações para inventário de defeitos .....	70
Figura 41 - Parte da via com estacionamento paralelo .....	70
Figura 42 - Largura da via analisada .....	71
Figura 43 - Estações de análise do IGG .....	72
Figura 44 - Formulário do inventário do estado de superfície do pavimento .....	73
Figura 45 - Treliza para medição de trilha de roda .....	75
Figura 46 - Planilha de cálculo do IGG.....	77
Figura 47 - Ficha de avaliação do Valor de Serventia Atual.....	78

Figura 48 - Formulário para o Levantamento Visual Contínuo .....	80
Figura 49 - Quadro Resumo do LVC .....	84
Figura 50 - IGG em cada subtrecho .....	86
Figura 51 - Frequência relativa por defeito .....	87
Figura 52 - Principais manifestações patológicas detectadas no trecho .....	88
Figura 53 - Índice de Gravidade Individual (IGI) por defeito .....	88
Figura 54 - Avaliações individuais do VSA .....	89
Figura 55 - VSA de cada subtrecho .....	90
Figura 56 - Notas de ICPF dos avaliadores .....	91
Figura 57 - ICPF dos Subtrechos .....	92
Figura 58 - IGGE de cada grupo de defeito .....	93
Figura 59 - Resultados do IES .....	94
Figura 60 - Trincas interligadas tipo "bloco" .....	97
Figura 61 - Técnica de manutenção 1 .....	98
Figura 62 - Técnica de manutenção 2 .....	99

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1. OBJETIVOS .....	15
<b>1.1.1. Objetivo geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1. PAVIMENTO .....	16
2.2. ESTRUTURA DO PAVIMENTO .....	18
<b>2.2.1. Revestimento .....</b>	<b>20</b>
2.3. DURABILIDADE DO PAVIMENTO.....	22
2.4. DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO .....	24
<b>2.4.1. Desempenho funcional .....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2. Desempenho estrutural.....</b>	<b>25</b>
2.4.2.1. Mecanismos de trincamento .....	25
2.4.2.2. Mecanismos de deformação.....	27
2.4.2.3. Mecanismos de desagregação.....	28
<b>2.4.3. Manifestações patológicas nos pavimentos flexíveis.....</b>	<b>30</b>
2.4.3.1. Fendas .....	31
2.4.3.1.1. <i>Fissura</i> .....	31
2.4.3.1.2. <i>Trinca</i> .....	31
2.4.3.2. Afundamento .....	35
2.4.3.3. Ondulação ou corrugação (O) .....	37
2.4.3.4. Escorregamento (E).....	38
2.4.3.5. Exsudação.....	38
2.4.3.6. Desgaste .....	39
2.4.3.7. Panela ou Buraco .....	40
2.4.3.8. Remendo .....	41

2.5. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTOS .....	43
<b>2.5.1. Avaliação funcional .....</b>	<b>44</b>
2.5.1.1. Valor de serventia atual (VSA).....	45
2.5.1.2. Irregularidade longitudinal .....	46
2.5.1.3. Aderência Pneu-pavimento .....	47
2.5.1.4. Índice de Gravidade Global (IGG) .....	49
2.5.1.5. Levantamento Visual Contínuo (LVC) .....	49
2.6. MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO.....	50
<b>2.6.1. Conservação .....</b>	<b>50</b>
<b>2.6.2. Restauração .....</b>	<b>51</b>
<b>2.6.3. Reconstrução.....</b>	<b>51</b>
<b>2.6.4. Técnicas de manutenção .....</b>	<b>52</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>65</b>
3.1. OBJETO DE ESTUDO .....	65
3.2. ETAPAS DE ANÁLISE .....	69
<b>3.2.1. Determinação do IGG .....</b>	<b>69</b>
<b>3.2.2. Aplicação do VSA .....</b>	<b>77</b>
3.2.2.1. Processo de avaliação.....	78
<b>3.2.3. Levantamento Visual Contínuo - LVC.....</b>	<b>79</b>
3.2.3.1. Cálculo do ICPF – Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis .....	81
3.2.3.2. Cálculo do IGGE - Índice de Gravidade Global Expedito .....	82
3.2.3.3. Cálculo do IES – Índice do Estado da Superfície do pavimento .....	83
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>85</b>
4.1. ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) .....	85
4.2. VALOR DE SERVENTIA ATUAL (VSA) .....	89
4.3. LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO (LVC) .....	90
<b>4.3.1. Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF).....</b>	<b>91</b>

<b>4.3.2. Índice de Gravidade Global (IGGE)</b> .....	<b>92</b>
<b>4.3.3. Índice do Estado da Superfície</b> .....	<b>94</b>
<b>4.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS AVALIAÇÕES OBTIDAS</b> .....	<b>95</b>
<b>4.5. POSSÍVEIS CAUSAS E ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO</b> .....	<b>96</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>101</b>
<b>5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>104</b>
<b>ANEXO A – MEDIDAS DE AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA</b> .....	<b>110</b>
<b>ANEXO B – FORMULÁRIO DE DEFEITOS DO IGG</b> .....	<b>112</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura construída de camadas cuja principal função é fornecer uma superfície regular e segura para o tráfego de pessoas e cargas. Desde a época das construções das pirâmides do Egito até a atualidade vem sendo utilizado em escala crescente pela humanidade. Não é de agora que se entende que os pavimentos sofrem degradação ao longo dos anos e sua manutenção é imprescindível. Balbo (2007) relata que na época áurea de Otávio Augusto (30 a.C. a 14 d.C.), o senhor de Roma era responsável pela manutenção das grandes vias de circulação.

Projetados para uma determinada vida útil, os pavimentos iniciam numa condição ótima e, com o passar do tempo, perdem serventia e alcançam condições ruins. Tal variação de qualidade é ocasionada pelos mecanismos de degradação que agem na estrutura. Estes produzem manifestações patológicas, que aceleram o processo degenerativo e causam desconforto e insegurança aos usuários. Além disso, pavimento deteriorado é sinônimo de maior custo operacional, visto que o consumo de combustível e a depreciação dos veículos são maiores.

As atividades de reabilitação devem fazer parte da rotina do órgão ou concessionária responsável pelo pavimento, como conservação rotineira, preventiva, restauração e reconstrução. Atualmente, cabe à Secretaria de Viação e Obras Públicas (SMVOP) de Bento Gonçalves realizar a manutenção das vias da cidade e, segundo eles, as intervenções realizadas são apenas de caráter corretivo, como operações tapa-buracos e remendos superficiais, que apresentam baixa durabilidade e pouca eficácia.

No Rio Grande do Sul, o modal rodoviário é responsável por cerca de 88% do transporte de cargas e por quase a totalidade do transporte de passageiros (RIO GRANDE DO SUL, 2020). A cidade de Bento Gonçalves, além de ser uma cidade turística, por se tratar da capital da uva e do vinho, é o maior polo moveleiro do estado, o que faz com que suas vias recebam tráfego pesado.

A fim de melhorar a trafegabilidade urbana e proporcionar conforto e segurança aos usuários, é de fundamental importância que os gestores públicos mantenham a malha viária em bom estado. Para isso, é imprescindível a realização de avaliações precisas no pavimento, que forneçam subsídios para tomada de decisão quanto a manutenção mais apropriada.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a condição da superfície do pavimento asfáltico de uma via urbana de Bento Gonçalves - RS.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) avaliar a condição da superfície do pavimento a partir do levantamento dos defeitos e cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG);
- b) avaliar a condição do pavimento por meio do Levantamento Visual Contínuo;
- c) determinar o Valor de Serventia Atual (VSA) do pavimento;
- d) comparar as avaliações obtidas pelos diferentes métodos definidos;
- e) propor intervenções corretivas para a via.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda tópicos importantes para a execução dos procedimentos metodológicos desempenhados neste trabalho. Iniciando pela estrutura do pavimento e sua durabilidade, percorrendo também sobre os mecanismos de deterioração que agem sobre a estrutura e suas manifestações patológicas e, por fim, trata sobre as avaliações funcionais do pavimento e as técnicas de manutenção.

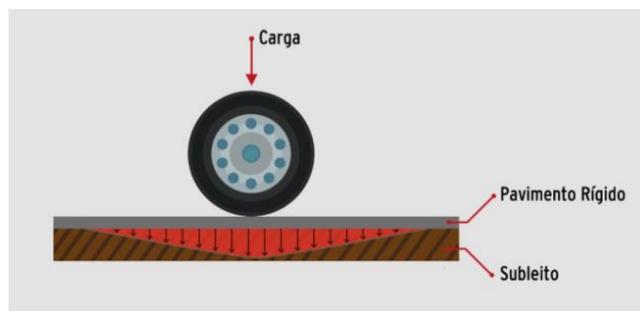
### 2.1. PAVIMENTO

A Confederação Nacional do Transporte - CNT (2017) define pavimento como uma estrutura composta por camadas sobrepostas, de diferentes materiais, que atendam de forma durável e com o menor custo possível, as solicitações estruturais e operacionais do tráfego. O DNIT (2006a) define o pavimento como uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentado sobre o terreno de fundação, designado de subleito.

Entre suas funções, Balbo (2007) descreve que pavimentar uma via enseja, antes de tudo, a melhoria operacional do tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular, mais aderente e menos ruidosa. O mesmo autor ainda cita que a estrutura é concebida para receber e transmitir os esforços de maneira a aliviar as pressões sobre as camadas inferiores, que normalmente são menos resistentes.

Os pavimentos são classificados em rígidos, semirrígidos (semiflexíveis) e flexíveis. Os pavimentos rígidos são assim classificados, por razão da camada de revestimento ter elevada rigidez em relação às camadas interiores. Portanto, absorve praticamente todas as tensões do carregamento aplicado, distribuindo-as em uma grande área e de maneira semelhante em toda a dimensão da placa, conforme ilustrado na Figura 1 (DNIT, 2006a; CNT, 2017).

Figura 1 - Deformação pela carga no pavimento rígido

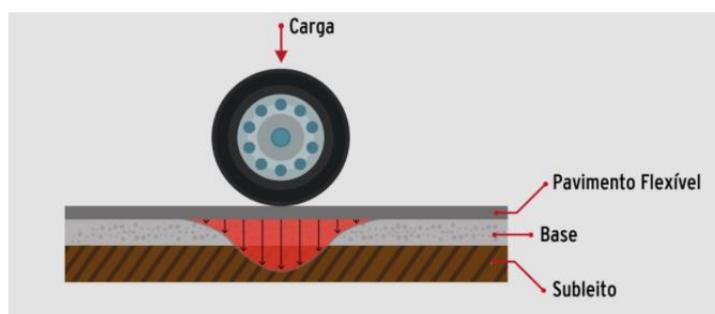


Fonte: CNT (2017)

Bernucci et al. (2008) relatam que há uma tendência de usar-se a nomenclatura de concreto de cimento Portland ou simplesmente de concreto-cimento, para indicar esse tipo de revestimento.

No pavimento flexível, também denominado pavimento asfáltico (BERNUCCI et al., 2008), a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas, ou seja, todas as camadas sofrem deformação elástica significativa (DNIT, 2006a). Isso permite observar um campo de tensões muito concentrado nas proximidades do ponto de aplicação da carga, conforme ilustrado na Figura 2 (CNT, 2017).

Figura 2 - Deformação elástica pela carga no pavimento flexível



Fonte: CNT (2017)

O pavimento semirrígido é o meio termo entre o rígido e o flexível. Caracteriza-se por possuir uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como, por exemplo, uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006a).

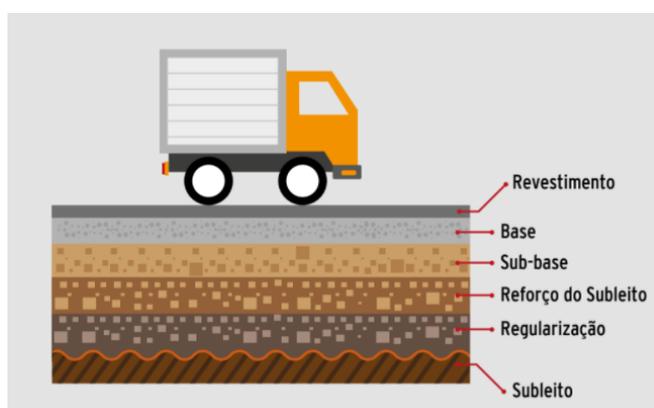
## 2.2. ESTRUTURA DO PAVIMENTO

A função da estrutura do pavimento é receber os esforços resultantes do tráfego e transmiti-los para as camadas inferiores de forma aliviada (CNT, 2017). Cada camada desempenha uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos usuários condição adequada de suporte e rolamento em qualquer condição climática (BALBO, 2007). O autor explica que a escolha das camadas está condicionada com os esforços solicitantes gerados pelo tráfego.

As cargas externas geram esforços verticais e horizontais. Os verticais podem ser resumidos a solicitações de compressão e cisalhamento. Os esforços horizontais podem causar, em certos materiais, solicitações de tração (BALBO, 2007). O mesmo autor descreve que uma camada de material britado compactado sobre o subleito poderia suportar determinadas tensões verticais, todavia, não resistiria às tensões horizontais oriundas de uma carga cinemática. Além de não ser suficiente estruturalmente, não se trata de uma camada impermeável, fator indesejável para um revestimento de pavimento.

A Figura 3, ilustra uma seção transversal típica com todas as camadas do pavimento, composta por: subleito, regularização, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Dependendo do caso, o pavimento poderá não possuir camada de sub-base ou reforço, entretanto, a camada de revestimento e fundação (subleito), são condições mínimas para que a estrutura seja chamada de pavimento (BALBO, 2007).

Figura 3 - Esquema de seção transversal do pavimento



Fonte: CNT (2017)

#### a) Subleito

O subleito é o terreno de fundação em que é apoiado o pavimento. É a camada responsável por absorver definitivamente os esforços verticais causados pelo tráfego (CNT, 2017). É constituído de material natural consolidado e compactado (BALBO, 2007). É necessário o reconhecimento do solo até a profundidade em que as cargas impostas pelo tráfego são significativas, que varia entre 0,60 a 1,50 metro (DNIT, 2006a).

#### b) Regularização do subleito

No subleito, é feita a Regularização, ou seja, um nivelamento destinado a conformá-lo transversal e longitudinalmente (DNIT, 2006a). Embora não constitua uma camada propriamente dita, é de grande importância para a construção do pavimento, pois, se não executada de acordo com todos os requisitos técnicos, pode comprometer todo o trabalho de pavimentação, visto que será para todas as cargas do pavimento (CNT, 2017). A regularização deve ser constituída preferencialmente com o próprio material do subleito (DNIT, 2010a).

#### c) Reforço do subleito

Finalizada a regularização, é construída a camada de reforço do subleito, que possui espessura constante e deve ter características geotécnicas que atendam as condições mínimas impostas pelo Manual de Pavimentação do DNIT (CNT, 2017). De forma geral, esta camada deve ser composta por materiais inferiores ao da camada que lhe for superior, porém, melhores do que o material do subleito (DNIT, 2006a).

Exemplos de materiais utilizados na camada de reforço são solos ou mistura de solos de qualidade superior à do subleito (CNT, 2017). O intuito desta prática é melhorar a capacidade de resistência a esforços verticais do subleito, sendo que, por vezes, possui características medíocres (BALBO, 2007).

O autor ainda cita que não se trata de uma camada obrigatória, visto que, espessuras maiores das camadas superiores poderiam aliviar as tensões descarregadas sobre o subleito. Entretanto, procura-se utilizá-la por circunstâncias econômicas, uma vez que é menos custoso o emprego de solos para aumentar a

resistência do subleito em vez de maiores espessuras de camadas de materiais granulares ou cimentadas (BALBO, 2007).

#### d) Sub-base e base

No dimensionamento estrutural de um pavimento, deve-se ter em mente que as cargas transmitidas ao subleito devem ser compatíveis com sua capacidade de resistir a elas (BALBO, 2007). Essa assertiva é válida para qualquer outra camada superior da estrutura. Desta forma, para aliviar as camadas inferiores, surgem as camadas de base e sub-base (BALBO, 2007). De acordo com o DNIT (2006a), a sub-base é a camada complementar à base, utilizada quando, por circunstâncias técnico-econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização.

Balbo (2007) descreve que quando a camada de base exigida para distribuir os esforços para as camadas inferiores for muito espessa, procura-se dividi-la em duas, criando-se assim, uma sub-base, geralmente de menor custo. Senço (2007) cita que o material da sub-base deve ter características tecnológicas superiores às do material do reforço, porém, inferiores ao material da base.

A base é a última camada antes do revestimento, cuja função é resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego (DNIT, 2006a). Para Senço (2007), pode-se considerar que o pavimento é composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

### **2.2.1. Revestimento**

O revestimento tem o objetivo de melhorar as características de funcionalidade e durabilidade do pavimento. Seu desempenho funcional está atrelado a proporcionar mais conforto e segurança aos usuários (DNIT, 2006). Em relação à durabilidade, é responsável por resistir ao desgaste imposto pelo rolamento de veículos, além de ser, tanto quanto possível, uma camada impermeável (DNIT, 2006).

Senço (2007) explica que a espessura da camada de revestimento pode ser adotada por critérios próprios ou em função do tráfego previsto. O autor descreve que para pistas simples – duas faixas de tráfego e duas mãos de direção – geralmente

é adotado espessuras de 3 a 5 cm. Para autoestradas, chega-se a revestimentos mais espessos, entre 7,5 e 10 cm.

Conforme apontado por Ceratti, Bernutti e Soares (2015), na maioria dos pavimentos brasileiros, usa-se revestimento constituído por misturas de agregados minerais e ligantes asfálticos. Os autores ainda destacam que a mistura é denominada de revestimento asfáltico que, por sua vez, possui diferentes alternativas de composição dos constituintes citados, das quais destaca-se: misturas asfálticas de graduação densa e bem graduada; misturas asfálticas de graduação descontínuas; e misturas asfálticas de graduação aberta.

Bernucci et al. (2008) cita diversas razões para o uso do asfalto em pavimentação. Entre elas, vale destacar que o material proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável, além de ser impermeabilizante e resistente a maioria dos ácidos, álcalis e sais. O asfalto utilizado em pavimentação é obtido através do refino do petróleo e é denominado de cimento asfáltico de petróleo (CAPs), de modo a distingui-los dos asfaltos que não são usados em pavimentação (ABEDA, 2010).

Os revestimentos asfálticos geralmente são subdivididos em duas ou mais camadas por razões técnicas e de custo (BALBO, 2007). Para melhor entendimento, a definição das camadas de revestimento asfáltico e os termos aplicáveis são ilustrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico

<b>Designação do revestimento</b>	<b>Definição</b>	<b>Associações</b>
<b>Camada de rolamento</b>	Camada superficial do pavimento	Camada de desgaste, capa de rolamento, revestimento
<b>Camada de ligação</b>	Camada intermediária, também em mistura asfáltica	Camada de <i>binder</i>

<b>Camada de nivelamento</b>	Primeira camada de material asfáltico, aplicada na execução de recapeamentos, cuja função é corrigir os desníveis da pista	Camada de reperfilagem
<b>Camada de reforço</b>	Nova camada de rolamento, após anos de uso do pavimento existente, executada por razões funcionais, estruturais ou ambas	"Recape", recapeamento ou "pano asfáltico"

Fonte: Adaptado de Balbo (2007)

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006a) descreve diferentes formas de executar os revestimentos asfálticos, das quais, cabe aqui destacar, a de revestimento por mistura. Neste tipo de revestimento, o agregado é pré envolvido com o material asfáltico antes da compressão, sendo que o espalhamento na pista pode ser feito em temperatura ambiente (pré-misturado a frio) ou quando ainda estão quentes (pré-misturados a quente) (DNIT, 2006a). O mesmo autor complementa que a designação do Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ) ou Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ) é reservada a revestimentos pré misturados à quente de graduação densa, em que são feitas rigorosas exigências no que diz respeito a índices tecnológicos, como granulometria, teor de betume e estabilidade.

O CBUQ é considerado, de acordo com a CNT (2017), a mistura mais comum empregada no Brasil para a construção dos revestimentos. O autor aponta que a mistura é obtida a partir da homogeneização de agregados minerais bem graduados, material de enchimento (fíler) e CAP. O DNIT define a sistemática a ser empregada na execução de CBUQ em DNIT 031/2006-ES (2006b).

### 2.3. DURABILIDADE DO PAVIMENTO

Em geral, os pavimentos brasileiros são dimensionados para atender a ciclos de vida de 10 anos (vida útil de projeto). No entanto, diversos fatores influenciam

negativamente na durabilidade destes ciclos, que por vezes não apresenta o desempenho esperado.

A Confederação Nacional do Transporte – CNT (2017) em busca de responder à pergunta “Por que os Pavimentos das Rodovias do Brasil Não Duram?”, consultou especialistas de universidades, do DNIT e das concessionárias. As principais causas apontadas por eles foram: método de dimensionamento; Processos construtivos; e manutenção e gerenciamento.

#### a) Método de dimensionamento

O método de dimensionamento de pavimentos adotado no Brasil está em processo de atualização pelo DNIT, visto que já vinha sendo criticado há tempo. A antiguidade do método – atualizado em 1960 – o tornava inadequado para a realidade atual das rodovias brasileiras. O programa não incorporava os novos tipos de materiais e a nova composição do tráfego, principalmente do transporte de cargas. Também não levava em consideração as especialidades climáticas, sendo que o Brasil possui grande extensão territorial e conseqüente variação climática (CNT, 2017). Outro fator criticado no antigo método, é a vida útil de projeto, a qual era de 10 anos, visto que outros países (Estados Unidos, Japão e Portugal), já projetam pavimentos para durarem 20 anos.

O Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) irá substituir o método empírico vigente no país. A nova sistemática aborda a estrutura do pavimento de forma mecanística-empírica, ou seja, leva em conta as tensões, deformações e deslocamentos de todo o pavimento, avaliando a deformação permanente das camadas e o dano por fadiga do revestimento (CNT, 2017).

O método MeDiNa, disponibilizado pelo DNIT, realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas em computadores. O Departamento, juntamente com o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) determina a correta utilização do software no Manual de Utilização do programa MeDiNa (DNIT;IPR, 2020).

#### b) Processos construtivos

A qualidade de execução das obras impacta diretamente em sua durabilidade. A falta de técnica das empreiteiras e negligências das normas técnicas

durante a execução do pavimento podem levar a um desgaste precoce dos pavimentos (CNT, 2017).

Vale destacar a importância de executar a mistura asfáltica de forma adequada, a fim de evitar que o asfalto se altere demasiadamente durante a operação. Pinto (2019) evidencia que um endurecimento excessivo durante a mistura, pode causar um dano equivalente a mais de 10 anos de vida útil.

### c) Manutenção e gerenciamento

Os especialistas das universidades citam que a falta de manutenção preventiva é uma das principais causas da degradação precoce dos pavimentos. Eles concluem afirmando que a realização adequada da manutenção dos pavimentos é a principal solução para se prolongar a durabilidade (CNT, 2017).

Estes fatores que diminuem a durabilidade dos pavimentos, são os responsáveis por ativar os mecanismos de deterioração da estrutura, os quais serão abordados no item a seguir.

## 2.4. DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO

O decréscimo da condição da qualidade ao longo do tempo, segundo DNIT (2006c) é conhecida como deterioração. O autor ressalta sobre a importância de entender os mecanismos responsáveis por deteriorar o pavimento, visto que é essencial identificar as causas que o levaram a sua condição atual, além de ser importante na escolha da alternativa mais adequada de restauração.

Para entender melhor os mecanismos que deterioram o pavimento, é necessário ter em mente dois aspectos de desempenho: funcional e estrutural.

### 2.4.1. Desempenho funcional

O DNIT (2006c) explica que “o desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer uma

superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento”. Gonçalves (1999) aponta o desempenho como sendo a variação da serventia ao longo do tempo.

Balbo (2007) explica que o decréscimo de serventia está associado a processos de degradação estrutural, que ocorrem de maneira progressiva, gerados por infiltração de água, bombeamento de finos, perda de resistência, desenvolvimento de fissuras e degradação do revestimento asfáltico.

#### **2.4.2. Desempenho estrutural**

DNIT (2006c) define o desempenho estrutural da seguinte forma: “Capacidade de um pavimento em manter sua integridade estrutural, sem apresentar falhas significativas”. Gonçalves (1997) explica que é tempo em que um pavimento resiste ao trincamento e ao acúmulo de deformações plásticas, quando submetido ao tráfego.

Manter o desempenho estrutural do pavimento é sinônimo de aumentar seu ciclo de vida, ou seja, sua durabilidade. Os principais agentes de degradação atuantes na estrutura do pavimento, de acordo com DNIT (2005), podem ser agrupados em três categorias principais: trincamentos, deformações e de desagregações.

##### **2.4.2.1. Mecanismos de trincamento**

O DNIT (2006c) explica que os revestimentos betuminosos tendem a trincar em alguma fase de sua vida, por ações combinadas do tráfego e das condições ambientais. O autor ainda complementa que uma vez iniciado, o trincamento tende a aumentar sua extensão e severidade, permitindo maior entrada de água. A maior permeabilidade de água enfraquece a estrutura, aumentando significativamente a evolução das deformações nas trilhas de roda e da irregularidade longitudinal (DNER, 1998). Os principais tipos de trincamento estão descritos a seguir.

##### **a) Trincas por fadiga**

Resultado dos efeitos cumulativos do carregamento sucessivo, resultando em sua fase final, em trincas “couro de jacaré”, usualmente confinadas nas trilhas de

roda DNIT (2005). Franco (2004) explica que os esforços oriundos do tráfego provocam movimentos contínuos de compressão e alívio em toda a estrutura do pavimento, ocasionando trincamento por fadiga.

Segundo DNIT (2006c) os pavimentos podem desenvolver trincas de fadiga quando são insuficientes estruturalmente, por consequência, requerem melhoria estrutural, usualmente executada por meio de camadas asfálticas adicionais (reforço ou recapeamento espesso). O autor ainda relata nos locais que a manifestação se apresenta em grande escala, a correção prévia que pode ser executada é a “reconstrução localizada”, a fim de evitar a deterioração precoce do recapeamento.

#### b) Trincas por envelhecimento

Segundo DNER (1998) esse tipo de trincamento ocorre quando o ligante betuminoso perde seus elementos mais leves por meio da exposição com o ar, tornando-se ao longo do tempo tão suscetível a rompimentos que não suporta mais as deformações provenientes das mudanças de temperatura que ocorrem durante dia.

Balbo (2007) descreve que a oxidação do CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) age diretamente nas resinas constituintes do material, transformando a fração mais pesada destas em asfaltenos. O autor explica que esse processo de redução da quantidade de resina e aumento da quantidade de asfaltenos torna o asfalto mais viscoso e frágil, resultando em fissuração do material.

Em DNER (1998) é relatado que o processo de endurecimento depende da qualidade do ligante e das condições climáticas. Misturas com teor elevado de asfalto e baixa quantidade de vazios dificultam o processo de oxidação e promovem maior durabilidade. Em relação as condições climáticas, Balbo (2007) cita que quanto mais calor, maior a oxidação sofrida, tornando o material mais quebradiço. Em contrapartida, o autor descreve que quanto mais frio, maior a retração térmica, resultando na fissuração do ligante asfáltico.

As trincas por envelhecimento geralmente são do tipo irregular com espaçamento maior que 0,5 m e, uma vez iniciado o trincamento, tende a propagar-se em toda a área coberta pelo revestimento (DNER, 1998).

### c) Trincas por reflexão

DNER (1998) descreve que trincas por reflexão ocorrem quando o trincamento existente em uma camada inferior propaga-se em direção à superfície, atingindo o revestimento asfáltico. O autor ainda cita que o trincamento é consequência da concentração das tensões no entorno da região ocupada pela trinca existente. A manifestação patológica pode se apresentar sob a forma de qualquer tipo de trinca (longitudinal, irregular ou interligada).

#### 2.4.2.2. Mecanismos de deformação

A deformação do pavimento é geralmente desencadeada pelo carregamento gerado pelo tráfego. Quando não provocada pelo carregamento, associa-se a problemas no solo e no subleito (DNER, 1998). O Quadro 2 ilustra um resumo das causas e tipos de deformação permanente.

Quadro 2 - Resumo das causas e tipos de deformações permanentes

<b>Causa Geral</b>	<b>Causa Específica</b>	<b>Exemplo de defeito</b>
<b>Associada com o carregamento</b>	Carregamento concentrado ou em excesso	Fluência plástica (ruptura por cisalhamento)
	Carregamento de longa duração ou estático	Deformação ao longo do tempo (creep)
	Grande número de repetições de carga	Afundamento nas trilhas de roda
<b>Não associada ao carregamento</b>	Subleito constituído de solo expansivo	Inchamento ou empolamento
	Solos compressíveis na fundação do pavimento	Recalque diferencial

Fonte: Atualizado de DNER (1998)

DNER (1998) descreve que a densificação e a fluência plástica são dois mecanismos associados a deformação causadas pelo tráfego. Gonçalves (1999) relata que estudos de campo e laboratório mostram que a densificação e a fluência plástica consistem respectivamente na deformação plástica vertical nas camadas do pavimento e na fluência horizontal na camada de revestimento asfáltico.

A densificação envolve uma diminuição do volume do material e pode ser amenizada pela compactação adequada no momento da construção do pavimento (DNER, 1998). A fluência plástica ocorre quando os esforços induzidos pelo carregamento excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais, causando depressões e solevamentos. A fluência pode ser controlada na fase de projeto, selecionando materiais que a resistência ao cisalhamento satisfaça o esforço reproduzido pelo carregamento previsto (DNER, 1998).

A repetição das tensões e deformações verticais que atuam na camada do pavimento darão origem a afundamentos nas trilhas de roda e por vezes podem gerar ondulação longitudinal na superfície do pavimento (GONÇALVES, 1999)

#### 2.4.2.3. Mecanismos de desagregação

Segundo DNER (1998) desagregação é a perda do agregado superficial (arrancamento), que pode ocorrer devido a dois fatores: fratura mecânica do filme do ligante ou perda de adesão entre o ligante e o agregado.

A fratura mecânica ocorre quando o ligante que envolve o agregado torna-se muito endurecido ou esbelto, não resistindo aos esforços gerados na área de contato pneu-pavimento (DNER, 1998). O mesmo autor explica que esse fenômeno acontece quando a viscosidade do ligante cai significativamente devido a evaporação dos óleos mais leves do cimento asfáltico, decorrente do aquecimento exagerado na usinagem ou da oxidação durante longa exposição às temperaturas ambientais. A combinação dos esforços horizontais e de sucção gerado pelos pneus, provocam o arrancamento do agregado.

A perda de adesão entre o filme e o ligante, normalmente se associa a presença de água ou contaminação do agregado. A Adesão entre o ligante e o agregado se dá por ligação molecular, porém, a superfície do agregado possui mais atração à água do que ao betume, ocasionando o deslocamento da película asfáltica (DNER, 1998). O mesmo autor cita que o uso de melhoradores de adesividade (cal hidratada e sais de amina) tem se mostrado eficiente para controlar o problema.

O Quadro 3 ilustra de maneira resumida as causas de cada mecanismo de deterioração.

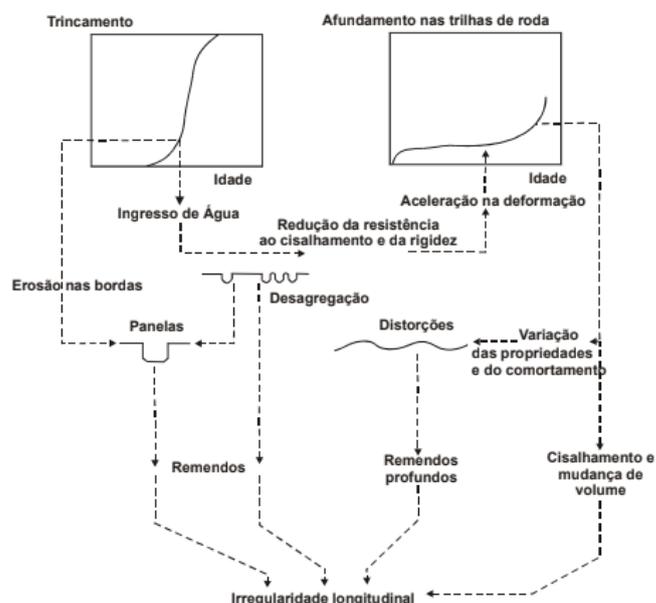
Quadro 3 - Deterioração do pavimento

<b>Categoria do Defeito</b>	<b>Causa Genérica</b>	<b>Causa Específica</b>
Trincamento	Associada ao tráfego	Cargas repetidas (Fadiga) Carga excessiva Escorregamento de capa
	Não associada ao tráfego	Mudança de umidade Mudanças térmicas Retração (Propagação)
Deformação	Associada ao tráfego	Carga excessiva (Cisalhamento) Fluência plástica Densificação (Compactação)
	Não associada ao tráfego	Expansão Consolidação do substrato
Desagregação	Associada ao tráfego	Desagregação do agregado
	Não associada ao tráfego	Falta de qualidade dos materiais

Fonte: Atualizado de DNIT (2005)

Os mecanismos de deterioração descritos, agem de forma interativa. O trincamento no revestimento permite a entrada de água no interior do pavimento, fator que reduz a resistência ao cisalhamento aumentando a velocidade das deformações provenientes do tráfego. O somatório das deformações é manifestado pelos afundamentos nas trilhas de roda e pelas distorções do perfil longitudinal do pavimento, que, em conjunto, promovem a irregularidade longitudinal, afetando diretamente o desempenho funcional do pavimento (DNER, 1998). A Figura 4 esquematiza a interação entre os defeitos nos pavimentos.

Figura 4 - Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas



Fonte: DNER (1998)

### 2.4.3. Manifestações patológicas nos pavimentos flexíveis

As propriedades dos materiais que compõem o pavimento vão piorando gradualmente conforme o seu uso. Essa piora está associada ao tempo de vida, às solicitações do tráfego e às intempéries (CNT, 2017).

Bernucci et al. (2008) definem os defeitos de superfície como danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu. Os autores ainda descrevem que o levantamento dos defeitos tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos e embasa o diagnóstico de sua situação funcional.

Tonial (2001) afirma que quando um pavimento apresenta as primeiras trincas, pode-se dizer que grande parte da sua vida útil já se passou, e que se não houver nenhum tipo de intervenção, em um curto espaço de tempo o pavimento estará completamente deteriorado.

As manifestações patológicas são definidas e classificadas em DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos.

#### 2.4.3.1. Fendas

DNIT (2003a) descreve que fendas são qualquer continuidade na superfície do pavimento que conduzam aberturas de maior ou menor porte. Aquelas perceptíveis a olho nu, somente em uma a distância inferior a 1,5m são classificadas por fissuras. As fendas que são facilmente visíveis à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, são denominadas de trincas (DNIT, 2003a).

Bernucci et al. (2008) afirmam que as fendas representam um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididas de acordo com sua tipologia e gravidade. A gravidade é relacionada com tamanho da abertura da fenda, caracterizada por classe 1 (FC-1) – fendas com abertura não superior a 1mm – classe 2 (FC-2) – fendas com abertura superior a 1mm –, e classe 3 (FC-3) – fendas com abertura superior a 1mm e desagregação ou erosão junto às bordas (BERNUCCI et al., 2008).

##### 2.4.3.1.1. Fissura

São fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, portanto não são consideradas quanto à gravidade nos métodos de avaliação das condições da superfície (DNIT, 2003a). A CNT (2017) cita como principais causas de surgimento de fissuras: a má dosagem do ligante asfáltico, excesso de finos (fíler ou material de enchimento) no revestimento e a compactação em momento inadequado ou excessiva.

##### 2.4.3.1.2. Trinca

São fendas existentes no revestimento com abertura maior a das fissuras, facilmente visíveis a olho nu, podendo se apresentar sob forma de trinca isolada ou trinca interligada (DNIT, 2003a).

### a) Trincas isoladas

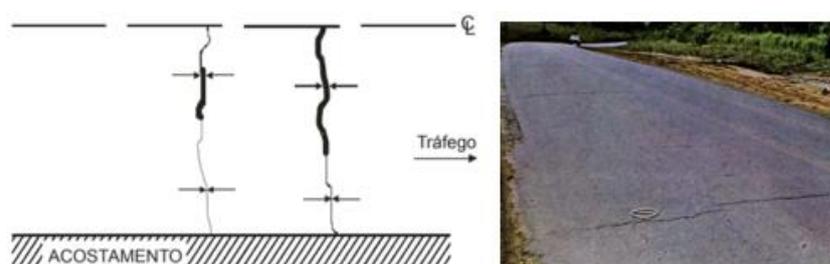
As trincas isoladas são classificadas em: transversais, longitudinais ou de retração (DNIT, 2003a). Podem ser de classe 1, 2 ou 3 de gravidade (DNIT, 2006c).

- Trinca transversal

Trinca isolada que se desenvolvem na direção ortogonal ao eixo da pista. É classificada como Trinca Transversal Curta (TTC) quando apresentar extensão de até 100 cm. Quando for superior a 100cm denomina-se Trinca Transversal Longa (TTL) (DNIT, 2003a).

De acordo com a CNT (2017) suas principais causas são a contração da capa asfáltica devido as baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto. O autor também que descreve que as trincas no revestimento podem ser resultado da propagação das trincas nas camadas inferiores ao revestimento e aponta que podem causar irregularidade na superfície, além enfraquecer estruturalmente o revestimento. A Figura 5 ilustra as trincas transversais no revestimento.

Figura 5 - Trincas transversais



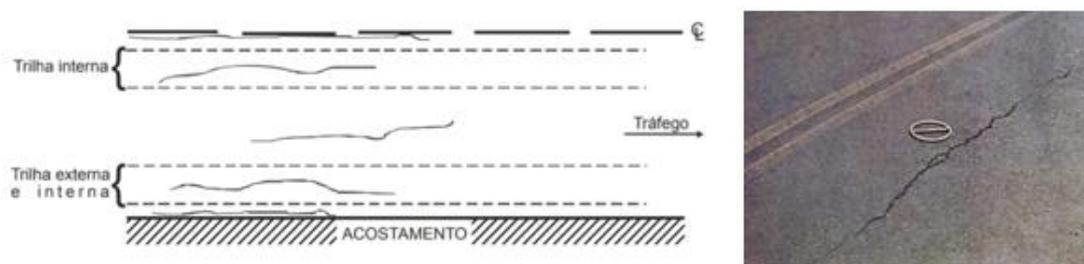
Fonte: DNIT (2006c); DNIT (2003a)

- Trinca longitudinal

Trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. É subdividida da mesma forma que a trinca transversal, ou seja, é classificada como Trinca Longitudinal Curta (TLC) quando apresentar extensão de até 100cm e Trinca Longitudinal Longa (TLL) quando exceder os 100cm (DNIT, 2003a).

Bernucci et al. (2008) apontam como prováveis causas: falhas na execução, na temperatura de compactação ou na dosagem da mistura asfáltica. A CNT (2017) acrescenta que pode ser consequência de uma má execução da junta longitudinal de separação entre as faixas de tráfego. A Figura 6 ilustra de maneira esquemática e com um exemplo real, as trincas longitudinais no revestimento.

Figura 6 - Trincas longitudinais



Fonte: DNIT (2006c); DNIT (2003a)

- Trinca de retração (TRR)

Diferente das trincas descritas anteriormente, esta não se atribui aos fenômenos da fadiga, mas sim, à retração térmica do material do revestimento ou da base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado (DNIT, 2003a). A Figura 7, ilustra um exemplo de trinca de retração.

Figura 7 - Trinca de retração



Fonte: Bernucci et al. (2008)

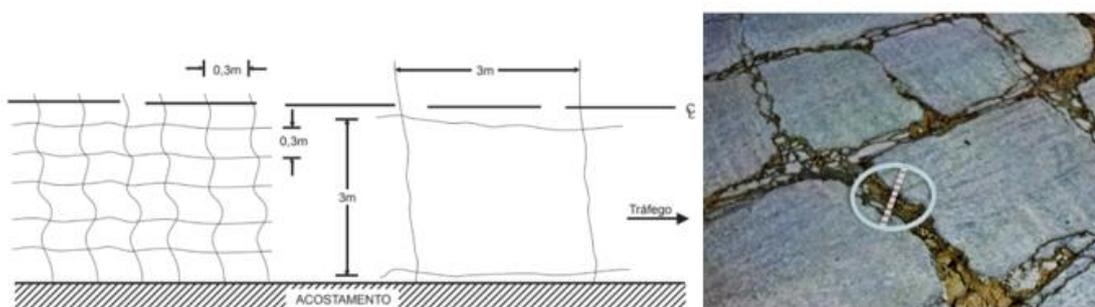
### a) Trinca interligada

As trincas interligadas são subdivididas da seguinte forma: trincas de bloco (TB) ou trincas tipo couro de jacaré (JE) (DNIT, 2003a). Podem ser de classe 2 ou 3 de gravidade (DNIT, 2006c).

- Trinca tipo “Bloco” (TB)

Conjunto de trincas interligadas caracterizadas por possuir uma configuração semelhante à de blocos, formados por lados bem definidos, tendendo a uma regularidade geométrica. Pode-se encontrar trincas de bloco com erosão junto às suas bordas, sendo elas denominadas pela sigla TBE (BERNUCCI et al., 2008; DNIT, 2003a). A CNT (2017) descreve que pode ser ocasionada por razão da contração da capa asfáltica, devido à variação climática. Gonçalves (1999b) cita que em regiões frias, a manifestação pode ser resultado de trincamento por fadiga devido as baixas temperaturas. Outro motivo apontado pela CNT (2017) é baixa resistência à tração da mistura asfáltica. Domingues (1993) cita que esse tipo de trincamento não é um defeito associado a carga, embora esta possa aumentar sua severidade. A Figura 8 ilustra de forma esquemática e de forma real, respectivamente, a ocorrência de trincas tipo bloco no revestimento.

Figura 8 - Esquema e ocorrência real de trincas tipo bloco



Fonte: DNIT (2006c); DNIT (2003a)

#### a) Trinca tipo “Couro de jacaré” (J)

Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Podem apresentar erosão acentuada em suas bordas, sendo estas caracterizadas pela sigla (JE) (DNIT, 2003a). As possíveis causas citadas pela CNT (2017) são: o colapso do revestimento asfáltico devido á repetições das ações do tráfego; subdimensionamento ou má qualidade da estrutura ou de uma das camadas do pavimento; baixa capacidade de suporte do solo; pavimento envelhecido ou asfalto duro. A Figura 9 ilustra um exemplo de trincas interligadas tipo jacaré.

Figura 9 - Trincas tipo couro de jacaré



Fonte: DNIT (2003a)

#### 2.4.3.2. Afundamento

Deformação permanente caracterizada por depressão na superfície do pavimento asfáltico (DNIT, 2003a). São classificados em: afundamento plástico (AP) e afundamento por consolidação (AC).

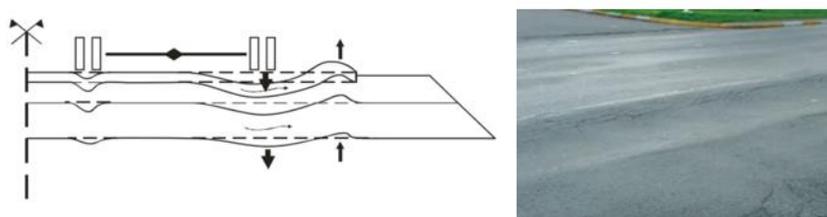
##### a) Afundamento plástico

Afundamento ocasionado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito (DNIT, 2003a). Geralmente, neste tipo de afundamento, ocorre certa compensação volumétrica, com solevamento de massa asfáltica junto às bordas do afundamento (BERNUCCI et al., 2008). Quando sua extensão é de até 6 m, denomina-se afundamento plástico local (ALP). Quando exceder 6 m e estiver

localizado ao longo da trilha de roda, é denominado de afundamento de trilha de roda (ATP) (DNIT, 2003a).

A CNT (2017) descreve que as causas podem ser, além da fluência plástica de camadas da estrutura, falha na dosagem de mistura asfáltica (excesso de ligante asfáltico) e falha na seleção do tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante. A Figura 10, ilustra de maneira esquemática e real, respectivamente, o afundamento plástico nas trilhas de roda.

Figura 10 - Esquema e ocorrência real de afundamento de trilha de roda



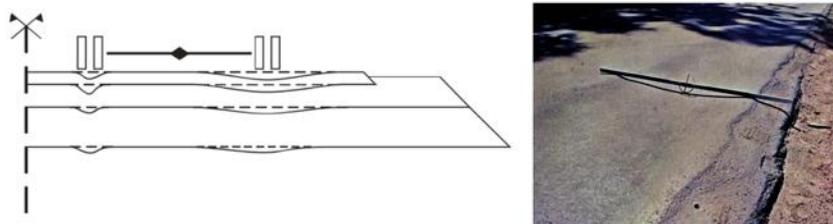
Fonte: DNIT (2006c); Bernucci et al. (2008)

#### b) Afundamento de consolidação

Afundamento causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento, sem estar acompanhado de compensação volumétrica de massa asfáltica nas bordas (DNIT, 2003a). É classificado de acordo com sua extensão, sendo denominado de Afundamento Local por Consolidação (ALC), quando tiver extensão de até 6 m, e de trilha de roda (ATC) quando exceder os 6 m e se localizar na trilha de roda.

As causas apontadas pela CNT (2017) são: densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento; falha de compactação na construção; e problemas de drenagem. Bernucci et al. (2008) citam que pode ocorrer também por deslocamento de película de asfalto junto ao agregado. A Figura 11 ilustra o afundamento por consolidação nas trilhas de roda de forma esquemática e em um exemplo real, respectivamente.

Figura 11 - Esquema e ocorrência real de afundamento nas trilhas de roda



Fonte: DNIT (2006c); DNIT (2003a)

#### 2.4.3.3. Ondulação ou corrugação (O)

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento (DNIT, 2003a). Apesar de ambas serem classificadas pela letra (O), são decorrentes de fenômenos diferentes (BERNUCCI et al., 2008). Os mesmos autores descrevem que as corrugações são geralmente compensatórias, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros. Enquanto as ondulações são, em geral, decorrentes da consolidação diferencial do subleito e possuem comprimento de onda entre duas cristas na ordem de metros (BERNUCCI et al., 2008).

O DNIT (2006c) aponta como possíveis causas: a instabilidade da mistura betuminosa da camada de revestimento e/ou base de um pavimento; excesso de umidade das camadas subjacentes; contaminação da mistura asfáltica por materiais estranhos; e retenção de água na mistura asfáltica. A Figura 12 ilustra um exemplo de ondulação no revestimento asfáltico.

Figura 12 - Ondulação no revestimento



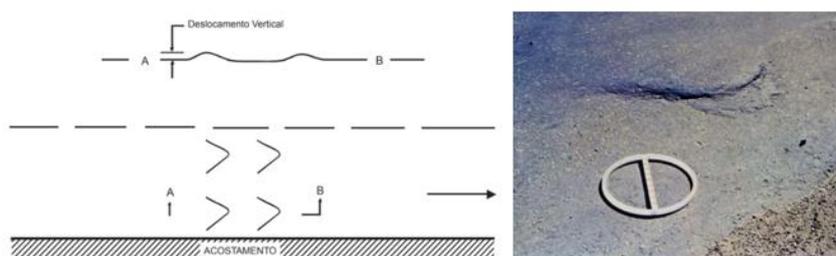
Fonte: DNIT (2003a)

#### 2.4.3.4. Escorregamento (E)

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com o surgimento de fendas em forma de meia lua (DNIT, 2003a). Bernucci et al., (2008) caracterizam como a fluência do revestimento asfáltico e descrevem que pode ocorrer por razão de excesso de ligante. A CNT (2017) descreve ser uma consequência de falhas construtivas e de pintura de ligação.

DNIT (2006c) cita que o defeito geralmente é encontrado nas regiões de aceleração e desaceleração, como: rampas acentuadas, curvas horizontais de raio pequeno, interseções e próximo a paradas de ônibus, visto que os esforços tangenciais transmitidos pelos eixos dos veículos, ocasionam uma ondulação curta e abrupta na superfície do revestimento. A Figura 13 ilustra um esquema representativo do defeito e um exemplo real de escorregamento.

Figura 13 - Esquema e ocorrência real de escorregamento do revestimento



Fonte: DNIT (2006c); DNIT (2003a)

#### 2.4.3.5. Exsudação

Manifestação patológica caracterizada por manchas de variadas dimensões no revestimento, formadas por uma película de material betuminoso (DNIT, 2006c). O mesmo autor descreve que estas manchas causam sérios problemas funcionais no pavimento, pois comprometem a aderência do revestimento aos pneumáticos, principalmente sob tempo chuvoso.

É decorrente, geralmente, do excesso de ligante betuminoso na mistura da massa asfáltica (BERNUCCI et al., 2008). DNIT (2006c) cita outras duas possíveis causas: índice de vazios muito baixo e temperatura do ligante acima da especificada

no momento da mistura, acarretando na dilatação do asfalto e ocupação dos vazios entre as partículas.

A exsudação pode se manifestar em qualquer região da superfície do pavimento, entretanto apresenta-se de forma mais severa nas trilhas de roda, pois a passagem de cargas pode causar um aumento da densificação da mistura nessa região, aumentando assim, a exsudação (DNIT, 2006c). A Figura 14 ilustra um exemplo de exsudação no revestimento.

Figura 14 - Exsudação



Fonte: DNIT (2003a)

#### 2.4.3.6. Desgaste

Definido pelo DNIT (2003a) como arrancamento progressivo do agregado do pavimento, provocado por esforços tangencias causados pelo tráfego, atribuindo ao revestimento o aspecto de aspereza superficial. A CNT (2017) aponta também como possíveis causas: falha na adesividade ligante-agregado, deficiência no teor do ligante e presença de água no interior do revestimento, originando sob pressões hidrostáticas capazes de provocar o descolamento da película betuminosa (CNT, 2017; DNIT, 2006c). A Figura 15 ilustra um revestimento com desgaste.

Figura 15 - Desgaste



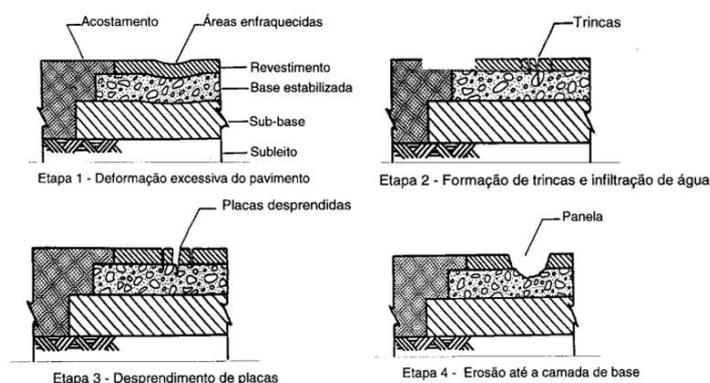
Fonte: DNIT (2003a)

### 2.4.3.7. Painela ou Buraco

Cavidade formada primeiramente no revestimento, com dimensões e profundidade variadas (DNIT, 2003a). Com a ação do tráfego e dos fatores climáticos, a falha pode evoluir a ponto de atingir a base do pavimento (DNIT, 2006c).

As principais causas apontadas pelo DNIT (2006c) são: trincamento por fadiga (estágio terminal) e desintegração localizada na superfície do pavimento (desgastes de severidade alta). A primeira causa citada, segundo o mesmo autor, pode ser potencializada com a perda de capacidade de suporte do pavimento, ocasionada pela presença de água na fundação ou subdimensionamento da estrutura, causando, na seção enfraquecida, maiores deflexões do que em outras seções. Nestas partes enfraquecidas, a aplicação contínua de cargas de tráfego, resultam no rápido desenvolvimento de trincas de fadiga, conforme ilustrado na Figura 16 (DNIT, 2006c).

Figura 16 - Formação de painelas em pavimentos asfálticos



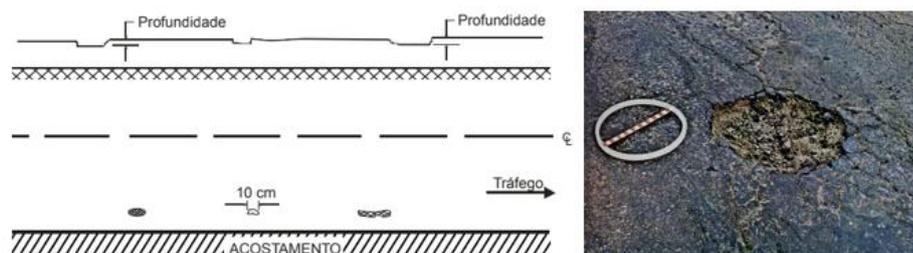
Fonte: Adaptado de DNIT (1998)

Além desses fatores, CNT (2017) cita que o defeito também pode ser gerado no momento da execução, por deficiência na compactação e falha na imprimação.

A manifestação causa problemas estruturais e funcionais para o pavimento. Afeta gravemente a estrutura, na medida que, a água superficial – que já possuía acesso ao interior da estrutura através das trincas – terá ainda mais facilidade de alcançar a camada de base.

No ponto de vista funcional também é grave, sendo que afeta a irregularidade longitudinal da pista, causando danos na segurança e no custo do transporte (DNIT, 2006c). A Figura 17 ilustra, de forma esquemática e com um exemplo real, a ocorrência de panelas.

Figura 17 - Esquema e ocorrência real de panelas



Fonte: DNIT (2006c); DNIT (2003a)

#### 2.4.3.8. Remendo

Trata-se de panelas ou buracos que foram preenchidos com uma ou mais camadas de pavimentação (DNIT, 2003a). Apesar de estar relacionado com a conservação da superfície do pavimento, é considerado um defeito por impactar o conforto de rolamento, além de apontar um local de fragilidade no revestimento (CNT, 2017).

As causas que geram o defeito, de acordo com o DNIT (2006c), são: solicitação intensa do tráfego; emprego de material de má qualidade; agressividade das condições ambientais; e problemas construtivos. Dependendo da profundidade atingida, o defeito pode ser classificado em remendo superficial ou profundo.

##### a) Remendo superficial

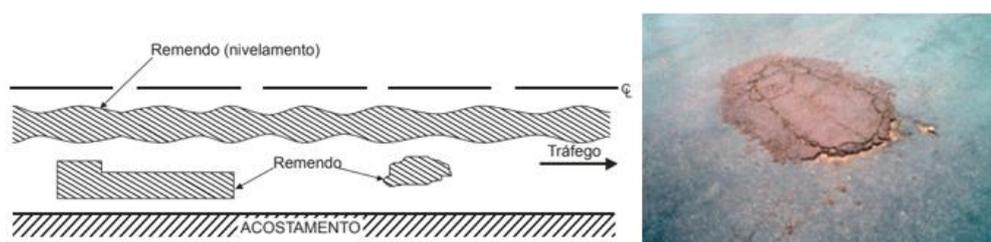
Definido pelo DNIT (2003a) como correção, por meio da aplicação de uma camada betuminosa, em área localizada, da superfície do revestimento.

## b) Remendo profundo

Caracterizado pela substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento, executado, usualmente, de forma retangular (DNIT, 2003a).

A Figura 18 ilustra esquematicamente e com exemplo real, respectivamente, a incidência de remendos no pavimento.

Figura 18 - Esquema e ocorrência real de remendo



Fonte: DNIT (2006c); Bernucci et al. (2008)

Os Quadros 4 e 5 ilustram resumos das manifestações patológicas descritas na Especificação DNIT 005/2003 - TER com suas codificações e classificações, sendo que o Quadro 4 refere-se as fendas e o Quadro 5 as demais manifestações.

Quadro 4 - Resumo das manifestações patológicas – Fendas

Fendas				Codificação
Fissuras				FI
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC
			Longas	TTL
		Longitudinais	Curtas	TLC
			Longas	TLL
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE

<b>Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga</b>	<b>Trincas Isoladas</b>	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR
	<b>Trincas Interligadas</b>	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE

Fonte: Adaptado de DNIT (2003a)

Quadro 5 - Resumo das demais manifestações patológicas

<b>Outros defeitos</b>				<b>Codificação</b>
<b>Afundamento</b>	<b>Plástico</b>	<b>Local</b>	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		<b>da Trilha</b>	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	<b>De Consolidação</b>	<b>Local</b>	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		<b>da Trilha</b>	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
<b>Ondulação/Corrugação</b> - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
<b>Escorregamento</b> (do revestimento betuminoso)				E
<b>Exsudação</b> do ligante betuminoso no revestimento				EX
<b>"Painéis"</b> ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
<b>Remendos</b>		<b>Remendo Superficial</b>		RS
		<b>Remendo Profundo</b>		RP

Fonte: Adaptado de DNIT (2003a)

## 2.5. AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DO PAVIMENTOS

Para manter o pavimento em um nível adequado de rolamento, segurança e capacidade de suporte de carga, são necessárias intervenções de restauração. A necessidade de intervenção é determinada por meio das avaliações realizadas no pavimento, que se baseiam na presença e severidade dos defeitos encontrados na superfície do pavimento (CNT, 2006).

As avaliações podem ser de cunho funcional ou estrutural. A funcional, pode ser realizada por meio de métodos subjetivos e objetivos e está relacionada a condição da superfície do pavimento, no que diz respeito ao conforto de rolamento, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades.

A avaliação estrutural é associada ao conceito de capacidade de carga, vinculada diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento (BERNUCCI et al., 2008). Segundo Macedo (2005), avaliar a estrutura de um pavimento consiste em determinar as características físicas dos materiais que a compõem (módulo de elasticidade, módulo de reação do subleito, etc.), para depois analisar os efeitos do carregamento sobre a estrutura, a fim de obter-se as respostas a estas deformações.

Os dados necessários para fazer a avaliação estrutural, normalmente tem origem nos registros de construção e de ensaios *in situ* e de laboratório em corpos de prova obtidos de sondagem (MACEDO, 2005). Entretanto, foge ao escopo deste trabalho analisar em detalhes a avaliação estrutural.

### **2.5.1. Avaliação funcional**

A avaliação funcional pode ser realizada por meio de avaliações objetivas e avaliações subjetivas.

#### **a) Avaliação objetiva**

A Avaliação objetiva é compreendida, de acordo com Cavalcante (2005), pelo processo que busca definir o nível de serventia dos pavimentos rodoviários por meio do inventário das degradações superficiais e geométricas existentes. É embasada em conceitos quantitativos e as condições exigíveis para este tipo de avaliação são fixadas em DNIT 006/2003-PRO (DNIT, 2003b), abordando os parâmetros de contagem e classificação das ocorrências aparentes e da medida das deformações permanentes nas trilhas de roda.

## b) Avaliação subjetiva

A avaliação subjetiva envolve conceitos qualitativos referente a condição em que o pavimento se encontra. Tem por objetivo indicar o grau de conforto e suavidade de rolamento proporcionado pelo pavimento (DNIT, 2003c). O método estabelecido pelo DNIT para a avaliação subjetiva do pavimento é o Valor de Serventia Atual (VSA).

O diagnóstico da condição funcional do pavimento deve ser realizado considerando-se todas as informações levantadas e os resultados das avaliações realizadas no pavimento, a fim de entender o desempenho que este vem apresentando, para então detectar suas deficiências reais (SILVA, 2008).

### 2.5.1.1. Valor de serventia atual (VSA)

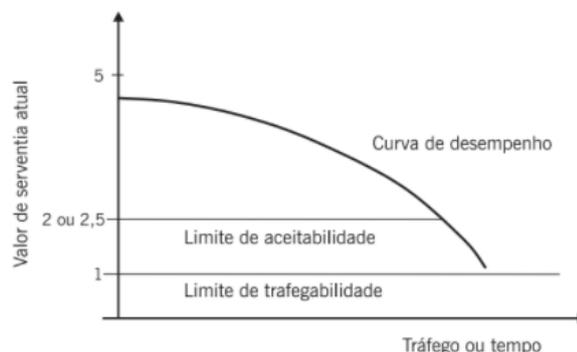
O conceito de serventia atual é definido pelo DNIT (2003c), como a capacidade que um trecho de pavimento tem, de proporcionar ao usuário um rolamento suave e confortável para quaisquer condições de tráfego. É uma medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento.

Sendo assim, o VSA consiste em uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média das notas de cinco avaliadores, para o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em determinado trecho de uma rodovia (BERNUCCI et al., 2008).

O DNIT fixa os procedimentos exigíveis para a avaliação do VSA em DNIT 009/2003 – PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

O valor de VSA geralmente é elevado logo após a construção, se bem executada, porém a condição de perfeição (VSA = 5) não é encontrada na prática (BERNUCCI et al., 2008). Os autores ainda citam que o valor de serventia diminui com o passar do tempo por dois fatores principais: o tráfego e as intempéries. A queda do valor da serventia associada com o tempo decorrido é mostrada de forma esquemática na Figura 19.

Figura 19 - Variação da serventia com o tráfego ou tempo decorrido



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Na Figura 25 estão indicados dois limites: de aceitabilidade e de trafegabilidade, impostos pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) em seu primeiro guia de pavimentos norte americano. O primeiro aponta que a condição de rolamento do pavimento é inaceitável e uma intervenção corretiva deve ser realizada para repor o índice a um valor superior. Caso não seja realizada a manutenção ou de forma inadequada, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, situação na qual a única forma de solução será sua reconstrução (BERNUCCI et al., 2008).

Estes limites dependem da categoria da rodovia e do tráfego, sendo que para vias de alto volume de tráfego, a nota atribuída para a aceitabilidade é 2,5 e, para as demais, 2,0. O limite de trafegabilidade geralmente é fixado próximo ao valor de serventia atual de 1,0.

#### 2.5.1.2. Irregularidade longitudinal

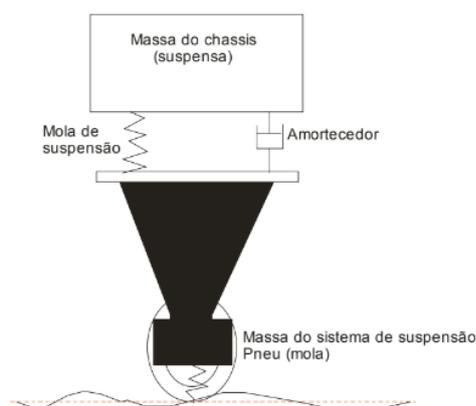
O termo irregularidade é definido pelo DNER (1994) como o desvio da superfície da rodovia em relação a um plano de referência que afeta a qualidade de rolamento dos veículos e a carga dinâmica sobre a via.

Fernandes J. (1994) aponta a irregularidade longitudinal como principal fator associado ao conforto e aos custos dos usuários. O autor faz um elenco de pesquisas que associam a irregularidade com cargas dinâmicas, por meio de investigações sobre os efeitos dos sistemas de suspensão, dos pneus e da velocidade dos veículos. O autor ainda afirma que, de maneira geral, as conclusões são

semelhantes e descreve que a irregularidade longitudinal aumenta a carga dinâmica imposta pelos veículos, aumentando assim, a deterioração do pavimento.

Bernucci et al. (2008) descrevem sobre diversos métodos de medição da irregularidade longitudinal e explicam sobre a avaliação direta e indireta. De acordo com eles, a avaliação direta é realizada por meio de equipamento de classe I (nível e mira, Dipstick, perfilômetro do TRL, etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês, etc.). Enquanto a avaliação indireta, é realizada por equipamentos classe III do tipo resposta (TRL Bump integrator, Maysmeter, Merlin, etc.). Os sistemas do tipo resposta são baseados em instrumentos que determinam cumulativamente os movimentos relativos entre o eixo traseiro do veículo e sua carroceria (DNIT, 2006c). A Figura 20 ilustra um esquema representativo de um equipamento de tipo resposta.

Figura 20 - Esquema de simulador de tipo resposta



Fonte: DNIT (2006c)

### 2.5.1.3. Aderência Pneu-pavimento

DNIT (2006c) aponta a aderência do pavimento como a principal propriedade no que diz respeito à segurança. A aderência pneu-pavimento se torna ainda mais importante em pistas molhadas. Silva (2008) relata que o atrito disponível nessa condição é consideravelmente inferior àquele encontrado quando a pista está

seca e, segundo o autor, isso decorre do fato de não se poder expulsar completamente o fluido contaminante<sup>1</sup> que se encontra entre o pneu e a superfície da pista.

Bernucci et al. (2008) explicam que a hidroplanagem (ou aquaplanagem) ocorre quando os pneus perdem o contato com o pavimento devido à presença de um filme de água não rompido pelos pneus ou pela textura da pista. Silva (2008) descreve que a fina película de água que permanece na área de contato reduz substancialmente a adesão<sup>2</sup>, componente importante da resistência a derrapagem.

Quando se relaciona a velocidade com o fenômeno de hidroplanagem, sabe-se que, na medida em que a velocidade aumenta, o tempo de contato da banda de rodagem com o pavimento se reduz, diminuindo também, o tempo disponível para que o processo de expulsão do fluido se complete (SILVA, 2008).

Segundo Mattos (2009), a qualidade da textura da superfície de contato do pavimento garante boa interação entre o pneu do veículo e a superfície de rolamento. O autor explica que esse fator possibilita ao motorista manter a trajetória do veículo mesmo em condições adversas. A textura do revestimento pode ser avaliada em duas escalas: microtextura e macrotextura.

De acordo com Bernucci et al. (2008), a microtextura associa-se com a superfície e aspereza dos agregados, enquanto a macrotextura, depende da rugosidade formada pelo conjunto agregado e mástique, conforme ilustrado na Figura 21. Os autores ainda descrevem que, para avaliar a micro e a macrotextura, utiliza-se geralmente, o pêndulo britânico e o ensaio de mancha de areia, respectivamente.

Figura 21 - Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.* (2008)

<sup>1</sup> Fluido contaminante: Qualquer material que possa afetar o contato pneu-pavimento (água, gelo, neve, etc) (SILVA, 2008).

<sup>2</sup> Adesão: Definido por Pasquet e Berthier (1996, apud MATTOS, 2009) como a parcela de atrito proveniente das forças intermoleculares das superfícies (pneu e pavimento), logo, depende da natureza dos materiais envolvidos (borracha do pneu e microtextura da superfície).

#### 2.5.1.4. Índice de Gravidade Global (IGG)

Derivado do método canadense “*Severity Index*”, utilizado pela “*Saskatchewan Department of Highways and Transportation*”, o Índice de Gravidade Global (IGG) foi adaptado pelo Engenheiro Armando Martins Pereira, para as condições dos pavimentos brasileiros (DNIT, 2006c).

O IGG é um indicador das condições do pavimento e consiste em uma metodologia objetiva para a avaliação funcional (CNT, 2017). A norma DNIT 006/2003 - PRO (DNIT, 2003b) define os procedimentos a serem adotados para o levantamento de defeitos e atribuição do índice. Os defeitos mencionados na norma citada são definidos em DNIT 005/2003 – TER (DNIT, 2003a).

Bernucci et al. (2008) explica que o IGG de uma pista é determinado de forma amostral, ou seja, a análise de defeitos é realizada em algumas estações com área e distanciamento pré-fixados pela especificação do DNIT.

Com as estações demarcadas, faz-se em uma planilha a anotação da ocorrência dos defeitos. Bernucci et al. (2008) ressaltam que este método não dá importância para a área atingida pelo defeito, mas sim à sua ocorrência ou não. O DNIT (2006a) também ressalva que não é necessário tomar nota da quantidade de cada tipo de defeito, mas apenas identificar a sua presença.

Com os dados coletados, os segmentos que possuem as mesmas características ou defeitos são agrupados. O DNIT (2003b) subdivide os defeitos em oito categorias, sendo que para cada categoria é estipulado um fator de ponderação, com objetivo de atribuir maior ou menor importância no que diz respeito a serventia.

#### 2.5.1.5. Levantamento Visual Contínuo (LVC)

Regulamentado pela especificação DNIT 008/2003 – PRO, o Levantamento Visual Contínuo - LVC consiste em um processo de avaliação do pavimento em que os avaliadores fazem uma análise da condição da superfície da via com base nos defeitos encontrados, rodando em um veículo com velocidade média de aproximadamente 40 km/h (CNT, 2017).

Os avaliadores, que segundo a especificação devem ser de no mínimo dois técnicos, atribuem notas de 0 a 5 que retratam a condição atual do pavimento.

Estas notas são relacionadas a conceitos e por meio da média delas, calcula-se o Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis (ICPF).

Com o ICPF calculado, é possível determinar o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) que em conjunto constituem o Índice do Estado da Superfície do pavimento (IES). A CNT (2017) salienta que apesar de consolidados no IES, tanto o ICPF quanto o IGGE podem ser usados individualmente como indicadores das condições funcionais do pavimento.

Conforme apontado no Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011), no aspecto relativo aos defeitos de superfície, em nível gerencial, o LVC é o procedimento mais adequado para sua quantificação. O autor ainda aponta que a determinação do VSA tem sido substituída pelo LVC, nos trechos de revestimento flexível e semirrígido.

## 2.6. MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO

Estabelecer a necessidade de manutenção de uma determinada via, requer identificar a medida de conservação ou restauração de menor custo, que seja suficiente para colocar o pavimento em condições funcionais adequadas ou aceitáveis (GONÇALVES, 1999a). A manutenção pode ser de três tipos: conservação, restauração e reconstrução.

### 2.6.1. Conservação

Atividades que visam assegurar um transporte seguro, econômico e confortável em uma via, destinada a manter o desempenho funcional e evitar a deterioração precoce dos pavimentos (DNER, 1998). Gonçalves (1999a) descreve que as intervenções de conservação buscam corrigir as deficiências funcionais e proteger a estrutura do pavimento contra uma degradação mais acelerada, a fim de evitar, ou pelo menos postergar, a necessidade de restauração ou reconstrução.

Os tipos de intervenções de conservação do pavimento são ilustrados no Quadro 06, sendo que as informações expostas nele foram retiradas de DNIT (2005).

Quadro 6 - Tipos de técnicas de conservação

<b>Técnica</b>	<b>Tipo</b>	<b>Frequência</b>	<b>Serviços</b>
<b>Conservação</b>	<b>Corretiva Rotineira</b>	Uma ou duas vezes por ano	Roçada; tapa buraco; remendo
	<b>Preventiva Periódica</b>	Uma vez a cada dois ou cinco anos	Lama asfáltica; capa selante; microrrevestimento a frio; etc.
	<b>Emergência</b>	Quando necessária	Recomposição mecanizada de aterro; remoção de barreira de solo; etc.

Fonte: Autor (2021)

### 2.6.2. Restauração

De acordo com DNER (1998), a restauração consiste no conjunto de operações destinadas a aumentar a capacidade estrutural do pavimento, restabelecer, na íntegra, suas características técnicas originais, a fim de prolongar sua vida útil.

DNIT (2006c) explica que o termo “restauração do pavimento” deve ser entendido como a recuperação de um pavimento que se apresenta deteriorado, cujo grau de deterioração não comprometa sua habilitação. O autor ainda ressalta que nesse estágio de deterioração, as medidas de conservação se mostram ineficazes.

### 2.6.3. Reconstrução

Alternativa utilizada quando não é mais possível o aproveitamento do pavimento antigo. É feita a remoção total do pavimento antigo para posteriormente reconstruí-lo (SCARANTO, 2007).

Gonçalves (1999a) aponta que a reconstrução é necessária em ocasiões quando: os custos de restauração superam o da reconstrução; não há confiabilidade aceitável para o desempenho do pavimento restaurado; casos que necessitam de restauração e haverá mudança de traçado.

#### 2.6.4. Técnicas de manutenção

##### a) Remendo superficial

Os remendos superficiais são executados com o objetivo de selar, provisoriamente, as trincas superficiais, para evitar que a água penetre na estrutura e cause maiores degradações (DNIT, 2010b). Esse tipo de remendo, pode ser realizado por meio de aplicação de uma capa selante ou de uma fina mistura betuminosa (DNIT, 2005). Scaranto (2007) descreve que esse tipo de correção deve ser adotado quando o pavimento apresentar defeitos como trincamento prematuro por fadiga, instabilidade da mistura asfáltica e desagregação localizada de agregados. O mesmo autor, aponta que deve ser realizada a remoção da área de camada asfáltica que apresentar tais problemas, para, posteriormente, recompô-la executando o remendo com CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) ou PMF (Pré-misturado a Frio), tendo em vista que, no segundo caso, o autor considera que o desempenho não é ideal.

ABEDA (2010) cita que o PMF destinado para camada de rolamento, deve ter espessura máxima de 5 cm, sendo que, no momento da aplicação, deve-se deixar cerca de 1 cm adicional em relação a superfície, para evitar que o local reparado tenha seu perfil alterado por efeito da compactação. O autor ainda cita que nos casos em que a profundidade do buraco for maior que 5 cm, deve-se completar a estrutura do pavimento com material de base ou executar uma camada de PMF intermediária.

A compactação pode ser realizada por placas vibratórias, rolos compressores ou soquetes manuais (ABEDA, 2010). O mesmo autor sugere que, para liberação imediata do tráfego após a compactação, cubra-se o buraco tapado com pó de pedra ou areia, a fim de assegurar que a massa tenha sua cura completada com qualidade e segurança. A Figura 22 ilustra a aplicação e compactação de PMF.

Figura 22 - Aplicação e compactação de PMF



Fonte: ABEDA (2010)

#### b) Remendo profundo

Essa técnica é executada, segundo Gonçalves (1999), quando a origem do problema, seja trincamento excessivo ou afundamentos plásticos severos, se encontra em uma camada subjacente ao revestimento (base, sub-base, reforço, subleito). O autor ainda cita que todas as camadas são removidas até que se atinja a camada problemática (por vezes até a camada de subleito), para então, proceder-se a reconstrução localizada do pavimento.

DNIT (2010b) especifica que no entorno da área degradada, pelo menos 30 cm afastado da parte afetada, deve-se ser feito um corte vertical no pavimento, com objetivo de, segundo Gonçalves (1999a), evitar a formação de trincas ao longo do perímetro do remendo. As faces verticais da abertura devem receber pintura de ligação, de preferência utilizando emulsão asfáltica de ruptura rápida (DNIT, 2010b).

Usa-se mistura asfáltica para preencher a cava, a quente e de graduação densa, sendo que, deve ser espalhada cuidadosamente para evitar desagregação, e compactada como rolo pneumático ou placa vibratória (DNIT, 2010b).

#### c) Selagem de trincas

Segundo DNIT (2006c), consiste no enchimento de trincas e fissuras no revestimento, com materiais como cimento asfáltico, asfalto diluído, emulsões ou selantes especiais, a fim de impedir que a água penetre nas camadas inferiores.

Bernucci et al. (2008) citam que a técnica é utilizada quando existem trincas isoladas (transversais e longitudinais) no revestimento, e que o procedimento pode retardar a evolução destas e inibir a necessidade de uma intervenção de restauração de maior magnitude. DNIT (2006c) aponta a selagem de trincas como uma atividade de conservação rotineira.

DNIT (2005) cita algumas recomendações importantes realizadas pela “*Federal Highway Administration*” quanto à necessidade da selagem de trincas. Entre elas, vale ressaltar que, as trincas mais estreitas que 4 mm e não lascadas, não devem ser seladas, visto que, geralmente, não são profundas e não causam, ainda, a degradação. O mesmo autor destaca que devem ser seladas as trincas com largura entre 4 mm e 20 mm e ainda não lascadas. Por fim, descreve que trincas com abertura maior de 20 mm, devem ser reparadas com remendos asfálticos.

A selagem de trincas se mostra ineficiente contra o tratamento de trincas de fadiga ou couro de jacaré, uma vez que, esse tipo de defeito indica uma ruptura estrutural, que deve ser corrigida com outras formas de recuperação (DNIT, 2005). A Figura 23 ilustra a execução da técnica de selagem de trincas.

Figura 23 - Exemplo de selagem de trincas



Fonte: Bernucci et al. (2008)

#### d) Lama asfáltica (LA)

Para ABEDA (2010), lama asfáltica é uma associação, com consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento (fíler), emulsão asfáltica catiônica e água. Gonçalves (1999) explica que o revestimento é obtido por meio de espalhamento a frio, e em aplicações industrializadas, permite o tratamento de extensas áreas. No entanto, a técnica não corrige irregularidades acentuadas e nem aumenta a capacidade estrutural do pavimento (Bernucci et al., 2008).

Segundo DNER (1998) a aplicação da correção proporciona ao pavimento melhor impermeabilização, sendo uma mistura densamente graduada e fluida, tem condição de penetrar nos poros superficiais e nas fissuras do revestimento asfáltico. O autor alerta que fissuras excessivamente abertas podem prejudicar a capacidade impermeabilizante da lama.

Além de impermeabilizar o pavimento, a lama tem função rejuvenescedora. Quando aplicada em um revestimento oxidado e desgastado, melhora sua textura e

recompõe parcialmente a perda de agregados finos da superfície (DNER, 1998). Gonçalves (1999a) descreve que a lama conduz a um revestimento não muito rugoso, sendo, portanto, adequada para a conservação de vias urbanas.

As etapas de execução, segundo DNER (1998) são: limpar a superfície; umedecer o revestimento para retardar a penetração da emulsão no revestimento; aplicar a lama por meio do caminhão lama; corrigir falhas executivas, como excesso ou escassez de material; liberar o trânsito após duas a três horas da aplicação para que ocorra a compactação. Se não houver tráfego previsto, deve ser realizada compactação com rolo pneumático. O DNIT preconiza em DNIT 150/2010 – ES a sistemática detalhada a ser empregada na execução de lama asfáltica. A Figura 24 ilustra a aplicação da lama asfáltica.

Figura 24 - Aplicação de lama asfáltica



Fonte: ABEDA, 2010

#### e) Microrrevestimento asfáltico (MRAF)

Bernucci et al. (2008) consideram que essa técnica é uma evolução da lama asfáltica, pois usa o mesmo princípio e concepção, porém utiliza emulsões modificadas com polímeros para aumentar sua vida útil. ABEDA (2010) explica que se trata de uma mistura a frio, processada em usina móvel especial, de emulsão modificada por polímero com agregado mineral, material de enchimento (fíler), água e, se necessário, aditivos químicos para controlar a velocidade de ruptura da emulsão e fibras de reforço, para melhoria das propriedades mecânicas de flexibilidade do revestimento. A Figura 25 ilustra a usina móvel, que realiza e distribui a mistura.

Figura 25 - Usina móvel para aplicação de MRAF



Fonte: ABEDA (2010)

As emulsões asfálticas modificadas por polímeros conferem ao microrrevestimento, segundo ABEDA (2010), as seguintes características: menor suscetibilidade térmica com redução de riscos de exsudação em climas quentes e maior flexibilidade e elasticidade em climas frios, melhores características adesivas ao substrato e na selagem de fissuras e maior resistência ao desgaste e ao envelhecimento da mistura asfáltica. Além disso, Bernucci et al. (2008) destacam que a emulsão de ruptura controlada permite rápida liberação do tráfego, geralmente, em duas horas.

Bernucci et al. (2008) descrevem que o microrrevestimento asfáltico pode ser utilizado em diferentes aplicações, como por exemplo, na recuperação de pavimentos deteriorados, ou, pode também, servir como revestimento de pavimentos com baixo volume de tráfego, além de poder desempenhar função de camada intermediária anti-reflexão de trincas em projetos de reforço estrutural. ABEDA (2010) aponta que o MRAF também pode ser utilizado para preenchimento de trilhas de roda, sendo necessário para essa aplicação, uma caixa distribuidora especial, com dois compartimentos separados que recebem a mistura e a espelham dentro das trilhas de roda, conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26 - Aplicação do MRAF para o preenchimento de trilhas de roda



Fonte: ABEDA (2010)

Quanto a execução do microrrevestimento, DNIT especifica detalhadamente o método executivo em DNIT 035/2018 – ES. Em resumo, Ceratti, Bernucci e Soares (2015) explicam que a mistura produzida na usina móvel é aplicada através de uma caixa espalhadora em duas camadas sucessivas, que resultam, no total, em cerca de 10 mm a 15 mm de espessura.

ABEDA (2010) cita que antes da aplicação deverá ser realizada a limpeza prévia da superfície com vassouras mecânicas ou jatos de ar comprimido, a fim de evitar a presença de pó ou argilas no substrato. O mesmo autor descreve que as fissuras e trincas de baixa severidade, superiores a 6 mm, deverão ser previamente demarcadas e seladas com emulsão asfáltica com polímeros antes da execução. Entretanto, o autor também aponta que quando a camada de rolamento apresenta trincas em bloco ou tipo “couro de jacaré”, buracos ou grandes ondulações localizadas, é necessário realizar a manutenção corretiva isoladamente antes de aplicar o microrrevestimento asfáltico (MRAF).

DNIT (2018) preconiza que não é permitido aplicar o microrrevestimento em dias de chuva e quando a temperatura ambiente estiver abaixo de 10° C. A especificação também alerta que precauções devem ser tomadas quando a temperatura ambiente estiver acima de 40° C.

ABEDA (2010) descreve que a velocidade de aplicação deve ficar entre 4 km/h a 5 km/h, para o operador da usina móvel e seus ajudantes ter melhor controle visual do serviço. DNIT (2018) considera que a maior preocupação requerida no serviço, é observar a consistência da massa, abrindo e fechando a alimentação de água, de modo a obter uma consistência uniforme e manter a caixa distribuidora uniformemente carregada de massa.

ABEDA (2010) destaca que em aplicações correntes, o MRAF não é compactado, sendo necessário somente em pistas de aeroportos e vias de alto volume de tráfego. A Figura 27 ilustra pavimentos asfálticos urbanos que receberam o MRAF.

Figura 27 - Microrrevestimento asfáltico em vias urbanas



Fonte: ABEDA, 2010

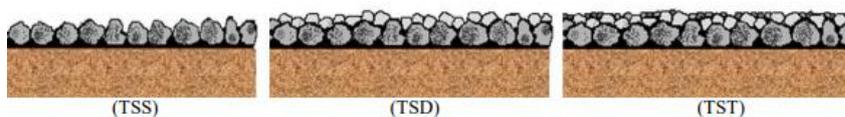
#### f) Tratamento superficial por penetração

Bernucci et al. (2008) descrevem que o método consiste na aplicação de ligantes asfálticos e agregados na pista, sem mistura prévia, com posterior compactação para garantir o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes. Segundo ABEDA (2010), o ligante asfáltico citado por Bernucci et al. trata-se de emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, tipo RR-2C, convencional ou modificada por polímeros.

Gonçalves (1999) explica que o revestimento pode ser constituído de uma ou mais camadas, cada camada tendo uma espessura próxima a dimensão máxima do agregado. O tratamento superficial com apenas uma camada é denominado de TSS (Tratamento Superficial Simples), o qual, conforme Larsen (1985, apud BERNUCCI et al., 2008), inicia-se, obrigatoriamente, pela aplicação única do ligante, que logo em seguida deve ser coberto por uma única camada de agregado. O mesmo autor explica que o ligante penetra de baixo para cima no agregado – penetração ‘invertida’.

O tratamento pode ter mais que uma camada, podendo ser duplo (TSD) ou triplo (TST), conforme ilustrado pela Figura 28. Em ambos os casos, TSD ou TST, as camadas seguintes são executadas de forma idêntica a primeira (BERNUCCI et al., (2008).

Figura 28 - Tratamentos superficiais

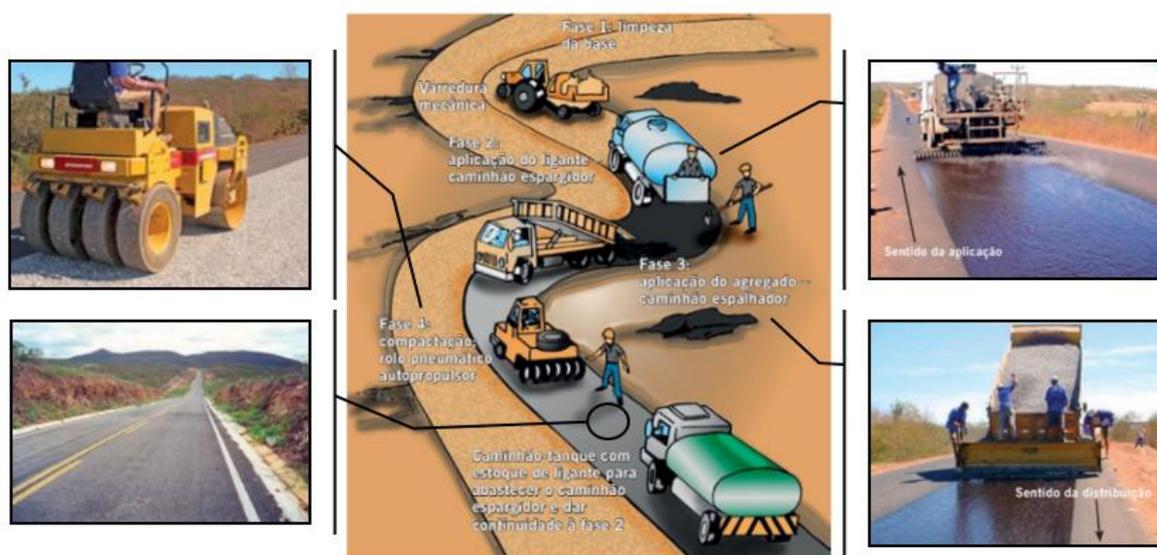


Fonte: Vasconcelos (2013)

Tratamentos superficiais resultam revestimentos flexíveis de pequena espessura, normalmente variando entre 0,5 cm a 2,5 cm, fator que os tornam ineficientes no aumento da capacidade estrutural e na correção de irregularidades – longitudinais e transversais (CERATTI, BERNUCCI e SOARES, 2015).

Bernucci et al. (2008) citam que as principais funções do tratamento superficial são: impermeabilizar o pavimento; proporcionar um revestimento antiderrapante e de alta flexibilidade, que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infraestrutura. A Figura 29 ilustra o processo executivo do tratamento simples e o aspecto final obtido.

Figura 29 - Etapas construtivas de um tratamento superficial simples



Fonte: adaptado de Bernucci et al. (2008)

DNIT (2005) descreve que o tratamento simples, executado com o objetivo de impermeabilizar ou modificar a textura do pavimento, é denominado capa selante.

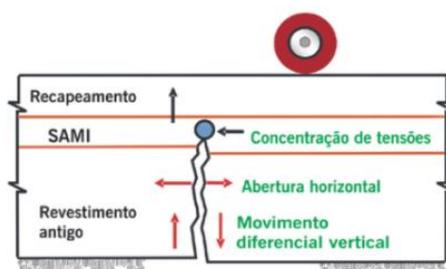
Outra técnica que vem sendo utilizada em vários países é o *cape seal*, formado por meio da união do TSS com o Microrrevestimento Asfáltico (MRAF) ou com a lama asfáltica. O MRAF é aplicado sobre a camada de TSS, favorece a impermeabilização do pavimento e proporciona a rugosidade ideal para garantir segurança e conforto ao rolamento (ABEDA, 2010).

#### g) Camada de alívio de tensões

Chamadas de SAMI (*Stress Absorbing Membrane Interlayer*), são camadas executadas, geralmente, diretamente sobre a superfície do pavimento atual, cuja função é dissipar as tensões desenvolvidas pelo movimento de trincas, a fim de diminuir sua velocidade de propagação (DNIT, 2006c). O mesmo autor ressalta que estas camadas ou membranas, são concebidas para reduzir a propagação de trincas por fadiga, sendo, contudo, ineficientes em trincamentos de alta severidade.

Posterior a aplicação da SAMI, executa-se um recapeamento sobre ela, conforme ilustrado na Figura 30.

Figura 30 - Posicionamento da camada intermediária de alívio de tensões



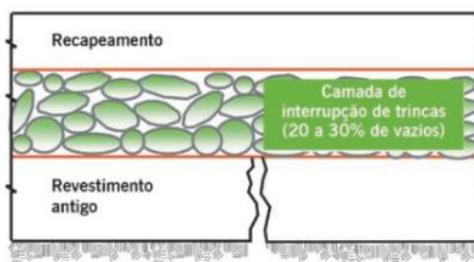
Fonte: Bernucci et al. (2008)

Bernucci et al. (2008) descrevem que as camadas podem ser constituídas de microrrevestimentos asfálticos, tratamentos superficiais por penetração com ligantes asfálticos modificados por polímeros, ou até misturas asfálticas com elevado teor de asfalto modificado por polímeros.

#### h) Camadas de interrupção de trincamento

Camadas compostas por materiais granulares (britas graduadas) que interrompem o desenvolvimento do trincamento, devido ao elevado índice de vazios (DNIT, 2006c). Bernucci et al. (2008) citam que a camada granula pode ser misturada com pequeno teor de ligante asfáltico, geralmente pré-misturado a quente. Essas camadas granulares são executadas sobre o revestimento antigo e recebe, sobre ela, uma camada de recapeamento asfáltico, conforme ilustrado na Figura 31 (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 31- Posicionamento de camadas de interrupções de trincas



Fonte: Bernucci et al. (2008)

#### i) Geotêxteis

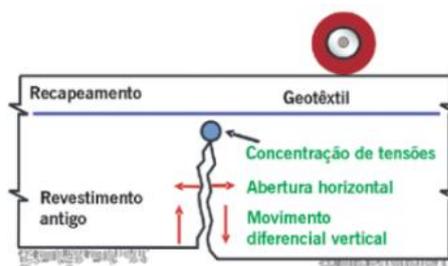
São mantas sintéticas, tecidas ou não-tecidas, fabricadas com matérias primas como o polipropileno, poliéster, fibra de vidro, nylon ou suas combinações (DNIT, 2006c). Bernucci et al. (2008) explicam que a aplicação dos geossintéticos podem atuar de duas maneiras: desviando as trincas ou convertendo-as em microfissuras ao se propagarem.

DNIT (2006c) atribui o efeito de redução de tensões a dessolidarização entre a camada trincada e a nova camada de reforço, permitindo o livre movimento das bordas das trincas ou redirecionando-as horizontalmente. O mesmo autor observa que, além de ajudar com as trincas, o emprego de geotêxtil forma uma membrana com boas características impermeáveis, colaborando com o aumento da vida útil do pavimento.

Segundo DNIT (2006c), a aplicação desta técnica inicia-se pela pintura de ligação, sendo que esta é realizada diretamente sobre o pavimento existente,

conforme ilustra a Figura 32. Posteriormente, ainda segundo o autor, é estendido o geotêxtil sobre o pavimento pintado. O material geralmente é fornecido em bobinas e, na medida que é desenrolado, Bernucci et al. (2008) apontam que deve ser realizada compressão do material, para melhorar a aderência à pintura de ligação. Finalizada a aplicação da camada geossintética, executa-se o recapeamento. A Figura 33 ilustra um exemplo de aplicação de geotêxtil.

Figura 32 - Posicionamento de geotêxtil em pavimento recapeado



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Figura 33 - Aplicação de geotêxtil em restauração de revestimento asfáltico



Fonte: Adaptado de Bernucci et al. (2008)

#### j) Reparos localizados + Microrrevestimento Asfáltico (MRAF)

Conforme citado por Scaranto (2007) consiste na execução de reparos localizados, como por exemplo, remendos profundos ou superficiais, recobertos por uma camada de MRAF.

#### k) Concreto asfáltico

DNIT (2006c) explica que a razão de pavimentos desenvolverem trincas por fadiga ou couro de jacaré, é insuficiência estrutural, e que para solucionar o problema, é necessária a melhoria da estrutura, frequentemente realizada por meio de camadas asfálticas adicionais.

Ceratti, Bernucci e Soares (2015) ressaltam que técnicas como o microrrevestimento asfáltico e a lama asfáltica, são ineficientes para correção de irregularidades no pavimento, visto que, essas técnicas resultam em camadas de revestimento com pouca espessura, incapazes de corrigir a deformação do pavimento. Desta forma, os mesmos autores apontam, o recapeamento do pavimento com concreto asfáltico como técnica de restauração mais adequada. Entretanto, para corrigir a irregularidade do pavimento, geralmente é necessária uma camada de aproximadamente 40 mm de espessura, fator que ocasiona o alteamento do greide de projeto, podendo comprometer sistemas de drenagem, o nivelamento e declividades. Sendo assim, para evitar esse problema, é aconselhável que se realize a fresagem da camada asfáltica deformada, para posterior recapeamento (CERATTI, BERNUCCI e SOARES, 2015).

Por se tratar de reforço estrutural, o recapeamento é composto por misturas asfálticas e deve ser dimensionado tendo em vista a expectativa de tráfego e o horizonte de projeto (BALBO, 2007). O dimensionamento e aplicação do concreto asfáltico deve obedecer aos parâmetros descritos em DNIT 031/2006.

#### l) Fresagem

DNIT (1997) define fresagem como: “desbasteamento a quente ou a frio da superfície asfáltica”. A fresagem a quente é normalmente utilizada como parte do processo de reciclagem do revestimento fresado, visto que, não altera a granulométrica do material (BONFIM, 2010). A fresagem a frio, é utilizada em serviços de recapeamento, quando o material retirado não será reciclado.

Referente a espessura do corte, a fresagem é classificada em superficial, rasa e profunda. A superficial realiza apenas a correção de defeitos superficiais na superfície, dispensando o posterior recapeamento. A rasa, atinge as camadas superiores do pavimento, alcançando profundidade média de corte em torno de 5 cm,

sendo muito utilizada na correção de defeitos funcionais. A profunda pode atingir até a sub-base do pavimento, utilizada em intervenções que objetivam a correção estrutural do pavimento (BONFIM, 2010).

Nas vias urbanas, a fresagem rasa é a mais utilizada, uma vez que, retira a camada superficial defeituosa, ao mesmo tempo que corrige o greide de projeto para receber a nova camada de recapeamento (BONFIM, 2010). A Figura 34 ilustra a execução de fresagem no pavimento e parte da camada defeituosa de revestimento retirada.

Figura 34 - Fresagem no pavimento asfáltico



Fonte: Bonfim (2010)

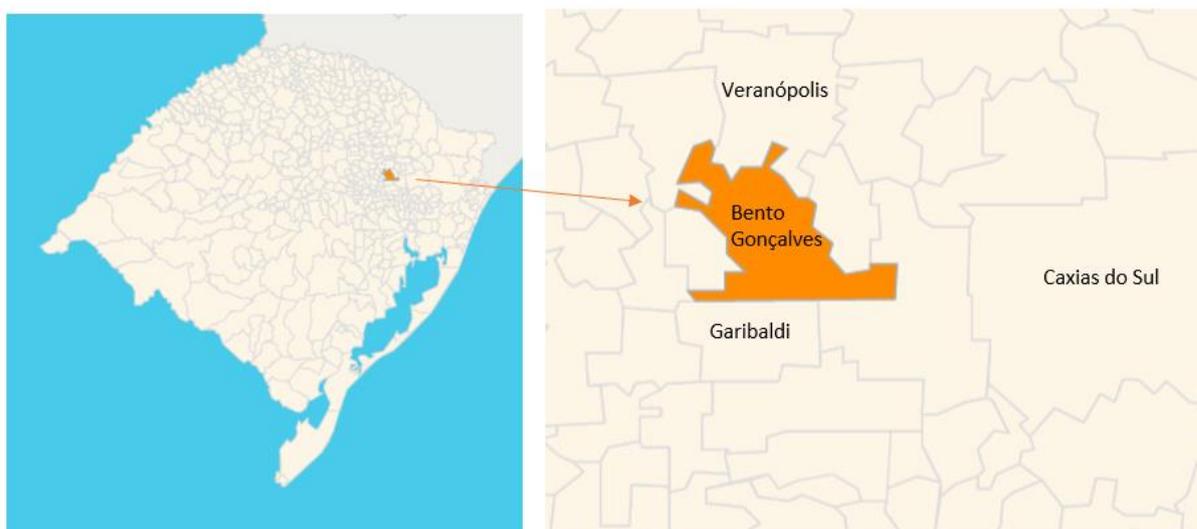
Ceratti, Bernucci e Soares (2015) destacam que a reciclagem dos materiais fresados é altamente recomendada, visto que, são materiais nobres, com agregados pétreos e asfalto antigo.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. OBJETO DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Município de Bento Gonçalves, localizado na mesorregião do Nordeste do Rio Grande do Sul. A Figura 35 ilustra sua localização.

Figura 35 - Localização do Município de Bento Gonçalves no Estado do Rio Grande do Sul

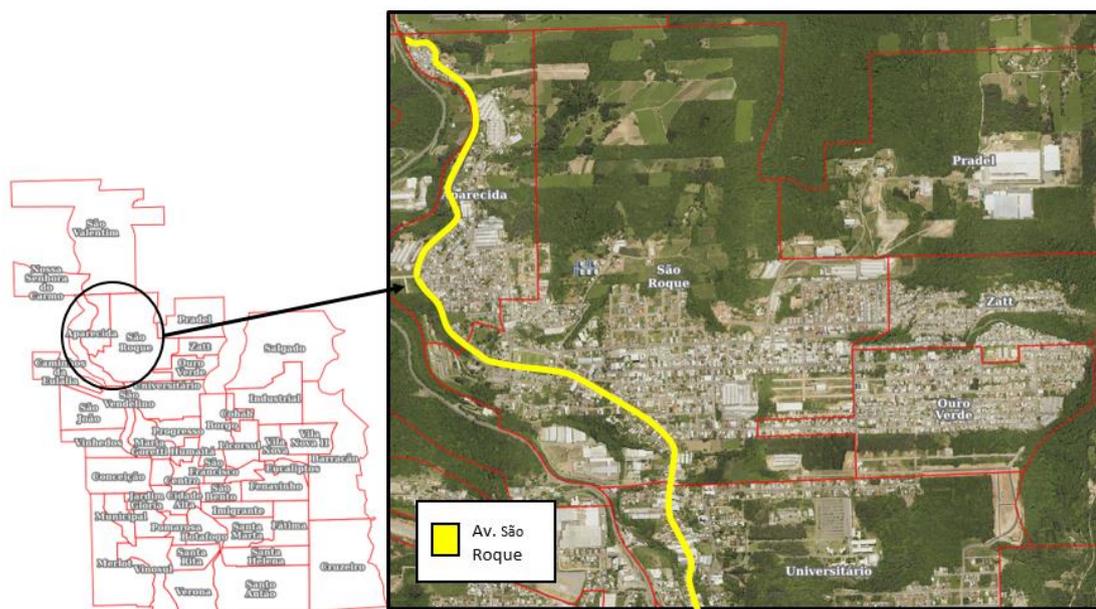


Fonte: Adaptado de IBGE (2021)

O município conta com área territorial de 273,576 km<sup>2</sup> (IBGE,2021) e sua população estimada é de 123.090 pessoas, das quais, aproximadamente, 92% residem na zona urbana do município (IBGE, 2019). A Figura 36 ilustra a área urbana da cidade.



Figura 37 - Localização da Avenida de Estudo



Fonte: Autor (2021)

O trecho de análise possui extensão de 700 m, composto por pista dupla e canteiro central, com início na esquina da Rua Celeste Agostin e término na esquina da Vereador Loreno Menegotto, conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 38 - Trecho de análise

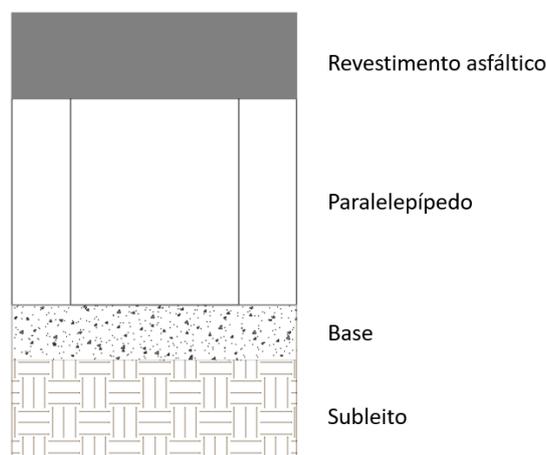


Fonte: Autor (2021)

Outro fator relevante na escolha do trecho é o grau de deterioração em que ele se encontra, uma vez que, por meio de avaliação visual, é possível notar que grande parte do revestimento apresenta trincas.

O pavimento do local é composto por uma base granular, seguida de uma camada de revestimento de paralelepípedos, a qual foi recapeada por uma camada de revestimento asfáltico, conforme ilustrado na Figura 39. Com idade aproximada de 25 anos, o pavimento não recebeu nenhuma intervenção corretiva expressiva.

Figura 39 - Estrutura do pavimento existente



Fonte: Autor (2021)

### 3.2. ETAPAS DE ANÁLISE

Para a obtenção e análise dos resultados o presente trabalho foi realizado de acordo com as etapas elencadas:

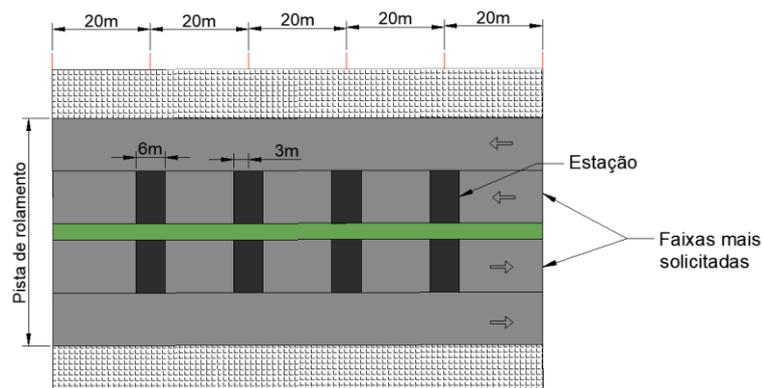
- a) demarcação das estações de análise e preenchimento do formulário de defeitos para o cálculo do Índice de Gravidade Global;
- b) realização do levantamento do Valor de Serventia Atual do pavimento;
- c) realização do Levantamento Visual Contínuo para determinação do Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis, Índice de Gravidade Global Expedito e do Índice do Estado de Superfície do pavimento;
- d) comparação entre os diferentes índices obtidos;
- e) análise dos defeitos e sugestão de alternativas de intervenções.

#### 3.2.1. Determinação do IGG

O método segue a especificação DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (DNIT, 2003b). Tendo em vista que a via possui pista dupla, as estações de ensaio foram demarcadas a cada 20 m em cada pista, na faixa mais solicitada (DNIT, 2006b).

Cada estação possui 6 m de extensão, sendo 3 m antes e 3 m depois de cada uma das estacas demarcadas. Portanto, a área total de cada estação são os 6 m pela largura da faixa avaliada. A Figura 40 ilustra esquematicamente a demarcação de estações em uma pista dupla.

Figura 40 - Exemplo de demarcação de estações para inventário de defeitos



Fonte: Autor (2021)

Por meio de inspeção realizada no local, verificou-se que a faixa esquerda é a mais solicitada, visto que a faixa da direita geralmente é utilizada por veículos que vão acessar os bairros, e a da esquerda por veículos que seguirão pela Avenida. Além disso, em parte do trecho, a faixa da direita é utilizada como estacionamento, restando somente a faixa da esquerda para o tráfego de veículos, conforme ilustrado na Figura 41. Esses fatores fazem com que o tráfego na faixa da esquerda seja mais expressivo, ocasionando maior degradação na faixa. Em virtude disso, os levantamentos foram realizados nas faixas internas da pista.

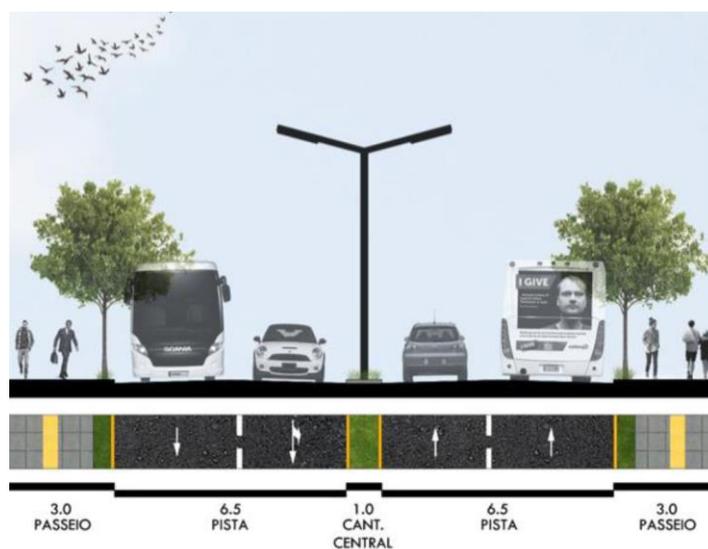
Figura 41 - Parte da via com estacionamento paralelo



Fonte: Google Earth Pro (2019)

A Figura 42 ilustra a largura da via, de acordo com o Plano de Mobilidade (BENTO GONÇALVES, 2015) da cidade. Os veículos na figura são meramente ilustrativos.

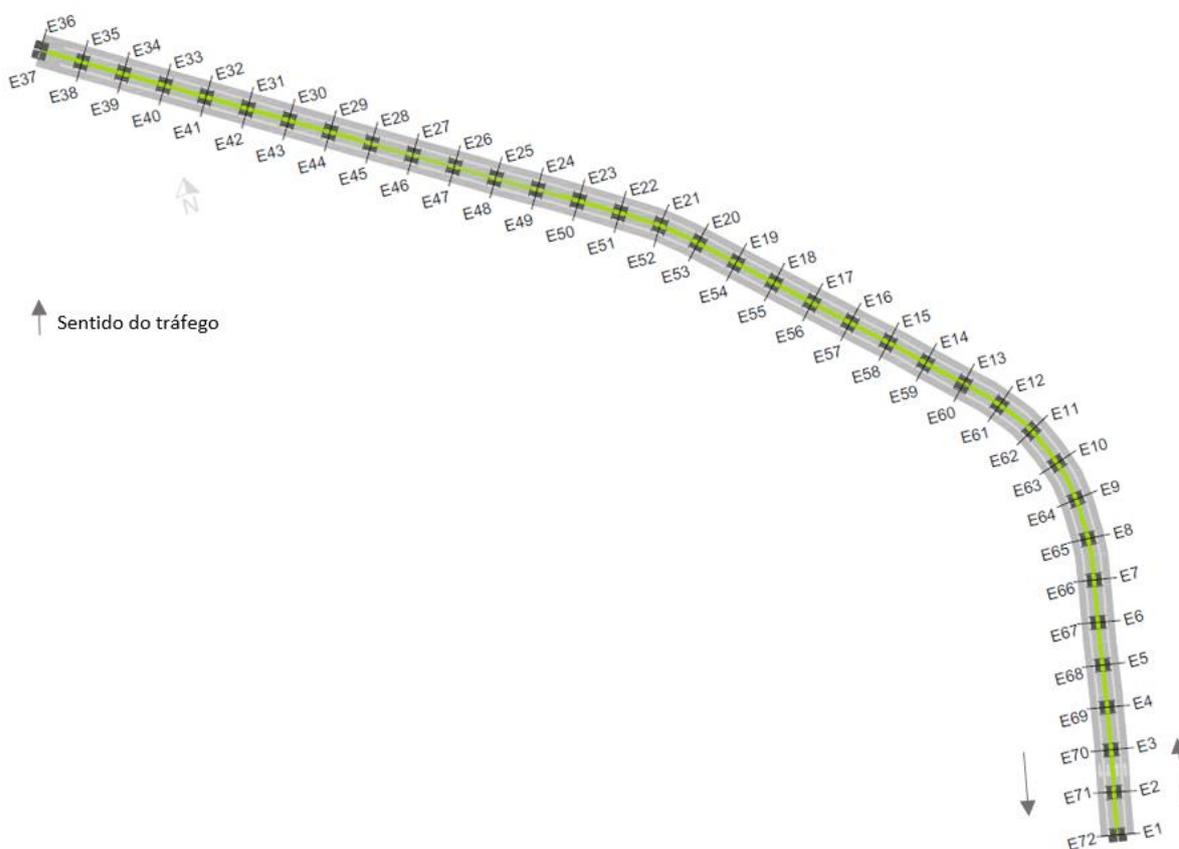
Figura 42 - Largura da via analisada



Fonte: PlaMob (2015)

Para a locação das estações, utilizou-se trena de 20 m. A marcação foi realizada no pavimento com tinta em spray. O trecho foi subdividido em subtrecho 1 e 2: o 1 inicia na estaca 0+000 e vai até a estaca 0+700 (segundo o sentido da numeração do logradouro de 824 a 14); e o 2 segue o sentido contrário. Foi alocado em cada subtrecho 36 estações de avaliação, da E1 a E36 no subtrecho 1 e da E37 a E72 no subtrecho 2, conforme ilustrado na Figura 43.

Figura 43 - Estações de análise do IGG



Fonte: Autor (2021)

Em cada estação demarcada, foi anotado no formulário ilustrado na Figura 44 a presença de qualquer ocorrência de defeito, de acordo com a especificação DNIT 005/2003 – TER (DNIT, 2003a), seguindo as seguintes peculiaridades:

- a) todas as trincas isoladas devem ser anotadas como do Tipo I;
- b) os remendos superficiais e profundos serão anotados como Remendos R.



grave deles na estação. Ou seja, os defeitos do tipo 2 prevalecem sobre o 1, da mesma forma que o 3 prevalece sobre o 1 e 2.

Com a frequência relativa de cada defeito calculada, o próximo passo foi calcular o Índice de Gravidade Individual (IGI) para cada defeito, multiplicando a frequência relativa pelo fator de ponderação do defeito, conforme a Equação 2.

$$IGI = f_r \times f_p \quad (2)$$

Onde:

IGI = índice de gravidade individual;

$f_r$  = frequência relativa;

$f_p$  = fator de ponderação.

A Tabela 1 ilustra os tipos de defeitos e seus respectivos fatores de ponderação.

Tabela 1 - Valor do fator de ponderação

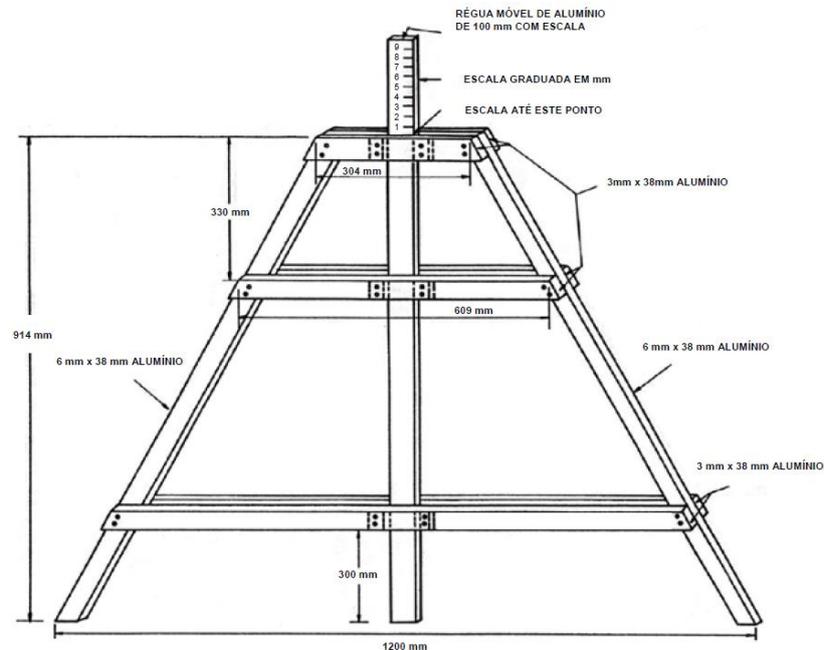
<b>Tipo</b>	<b>Defeito</b>	<b>fp</b>
1	Fissuras e trincas isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,20
2	FC-2 (Trincas J e TB)	0,50
3	FC-3 (trincas JE e TBE)	0,80
4	Afundamentos (ALP, ATP, ALC e ATC)	0,90
5	O, P e E	1,00
6	EX	0,50
7	D	0,30
8	R	0,60

Fonte: Adaptado de DNIT (2003b)

O cálculo do IGG leva em consideração o afundamento de trilha de roda. Este deve ser medido com uma treliça metálica especificada pelo DNIT. A treliça possui uma base de 1,20 m, munida com uma régua graduada que se desloca verticalmente na região central da treliça (DNIT, 2006c). A medida deve ser executada na trilha de roda interna (TRI) e externa (TRE), anotando-se o maior valor medido em

cada trilha (DNIT, 2003b). A Figura 45 ilustra o modelo de treliça utilizado para realizar a medição.

Figura 45 - Treliça para medição de trilha de roda



Fonte: DNIT (2003b)

Para obter o IGI das flechas de trilha de roda medidas, seguindo a devida especificação, calculou-se a média ( $\bar{x}$ ) e a variância ( $s^2$ ) das flechas de TRE e TRI por meio das Equações 3 e 4, respectivamente.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Onde:

$\bar{x}$  = média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

$x_i$  = valores individuais;

$s$  = desvio padrão das flechas medidas (TRI e TRE);

$s^2$  = variância.

O Índice de Gravidade Individual das flechas foi calculado da seguinte forma:

- a) quando a média aritmética das flechas for igual ou inferior a 30, adota-se fator de ponderação igual a 4/3; quando superior a 30, o IGI é igual a 40;
- b) quando a média das variâncias das flechas for igual ou inferior a 50, adota-se fator de ponderação igual a 1; quando superior a 50, o IGI é igual a 50.

O Índice de Gravidade Global foi obtido pela Equação 5.

$$IGG = \sum IGI \quad (5)$$

Os conceitos atribuídos ao segmento avaliado, com base no valor calculado pelo IGG, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

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

Fonte: Adaptado DNIT (2003b)

Os valores calculados foram anexados na planilha de cálculo determinada pelo DNIT, conforme ilustra a Figura 46.

Figura 46 - Planilha de cálculo do IGG

RODOVIA: Av. São Roque		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)			Data: 14/10/2021		Folha: 1	
TRECHO: Celeste Agostin - Ver. Loreno Menegotto		REVESTIMENTO TIPO: CBUQ			Estaca 0+000		Estaca 0+700	
SUB-TRECHO 1								
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações	
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2			
2	(FC-2) J, TB				0,5			
3	(FC-3) JE, TBE				0,8			
4	ALP, ATP, ALC, ATC		X		0,9			
5	O, P, E				1			
6	EX				0,5			
7	D				0,3			
8	R				0,6			
9	Média aritmética dos valores médios das flexas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A ( ) 1 B ( )			
10	Média aritmética das variâncias das flexas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRlv =	FV =	2 A ( ) 2 B ( )			
Nº Total de estações		n=	∑ IGI = IGG				Conceito	
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30			2A) IGI = FV quando FV ≤ 50					
1B) IGI = 40 quando F > 30			2B) IGI = 50 quando FV > 50					

Fonte: DNIT (2003b)

### 3.2.2. Aplicação do VSA

O método adotado para a determinação do Valor de Serventia Atual do pavimento segue os procedimentos descritos em DNIT 009/2003 – PRO (2003c). O grupo responsável pela determinação das notas foi constituído de cinco membros conhecedores da especificação. DNIT (2003c) cita que as seguintes condições específicas foram satisfeitas na aplicação do método:

- a) os avaliadores devem considerar somente o estado atual da superfície do pavimento.
- b) a avaliação não deve ser feita em condições climáticas desfavoráveis, como em dias de chuva, neblina, etc.
- c) a resistência à derrapagem do revestimento não deve ser considerada pelos avaliadores.
- d) os aspectos principais a serem considerados devem ser buracos, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície.
- e) devem ser desprezados cruzamentos ferroviários e recalques ocasionados por bueiros.
- f) Os avaliadores não devem levar em consideração valores assinalados para trechos anteriores e também não devem comentar nada de sua avaliação para os outros avaliadores.

As avaliações, em sua maior parte, foram focadas nas condições de rolamento da superfície do pavimento, provavelmente influenciadas por sulcos profundos e, por vezes, pela quantidade e condição de trincas e remendos. Os avaliadores somente expressaram uma opinião global de como o pavimento se comportou no momento da avaliação.

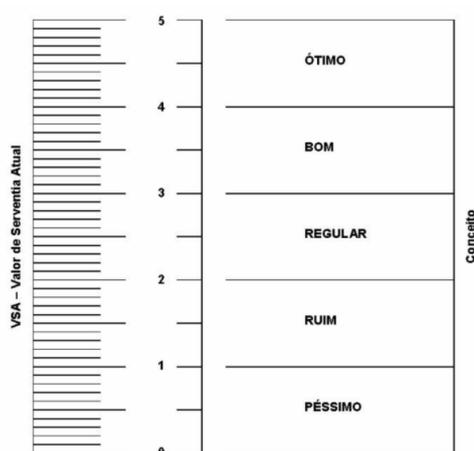
### 3.2.2.1. Processo de avaliação

Os aspectos levados em consideração na avaliação dos técnicos foram aqueles que a especificação do DNIT (2003c) determina. Sendo eles:

- a) “Como se portaria este trecho de pavimento, atendendo à finalidade para a qual foi construído, durante um período de 24 horas por dia, se ele estivesse localizado em uma rodovia principal?”;
- b) “Qual o conforto que este pavimento me proporcionaria se tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8 horas?”;
- c) “Como me sentiria dirigindo ao longo de 800 quilômetros sobre este pavimento?”.

Cada avaliador registrou sua nota dada ao pavimento na ficha de avaliação ilustrada na Figura 47, imediatamente após ter percorrido o trecho.

Figura 47 - Ficha de avaliação do Valor de Serventia Atual



Fonte: DNIT (2003c)

O trecho foi subdividido em dois subtrechos, sendo que o primeiro inicia na esquina com a Rua Celeste Agostin e segue em direção a esquina com a Vereador Loreno Menegotto; o segundo, segue o sentido contrário.

Os resultados de cada subtrecho avaliado foram relacionados separadamente e calculados por meio da Equação 6.

$$VSA = \frac{\sum X}{n} \quad (6)$$

Onde:

$VSA$  = Valor de Serventia Atual;

$X$  = Valos de Serventia Atual individuais atribuídos por cada membro do grupo;

$n$  = número de membros do grupo de avaliação.

### 3.2.3. Levantamento Visual Contínuo - LVC

O método utilizado para realização deste levantamento seguiu os procedimentos de DNIT em DNIT 008/2003 – PRO (DNIT, 2003d), que objetiva determinar o ICPF (Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis ou semirrígidos), o IGGE (Índice de Gravidade Global Expedito) e o IES (Índice do Estado da Superfície do pavimento).

Para a realização do LVC (Levantamento Visual Contínuo), foi utilizado um veículo equipado com velocímetro/hodômetro calibrado para a aferição da velocidade e distâncias percorridas. A equipe foi composta por quatro avaliadores conhecedores da especificação. O LVC foi realizado em um dia com presença adequada de luz natural.

O veículo foi operado a uma velocidade média aproximada de 40 km/h. A especificação DNIT 008/2003 – PRO determina que a extensão mínima dos segmentos a serem levantados deve ser de 1 km. Entretanto, tendo em vista que o trecho estudado neste trabalho é de 700 metros, a extensão de análise foi menor que a mínima determinada, que, em contrapartida, não ocasionará problemas para o levantamento, sendo que a especificação cita que em casos especiais como, por exemplo, finais de trechos, a extensão pode ser menor que 1 km.



Tabela 3 - Frequência de defeitos do LVC

Painéis (P) e Remendos (R)			Demais defeitos		
Código	Frequência	Quant./km	Código	Frequência	% por km
A	Alta	≥ 5	A	Alta	≥ 50
M	Média	2 - 5	M	Média	50 - 10
B	Baixa	≤ 2	B	Baixa	≤ 10

Fonte: Fonte: Adaptado de DNIT (2003d)

A frequência de Painéis e Remendos, por ser estipulada em quantidade por quilômetro, foi ajustada para o trecho de 700 m. O ajuste foi realizado por meio da Equação 7, sendo que o valor considerado para a frequência, foi o número inteiro imediatamente maior ao calculado. A Tabela 4 ilustra frequência dos defeitos ajustada para o trecho de 700 m. As frequências dos demais defeitos não necessitaram ser ajustadas, pois são mensuradas pela porcentagem de área com defeito na extensão de segmento analisado.

$$\frac{1000m - Quant/km}{700m} = x Quant \quad (7)$$

Onde:

Quant./km = Quantidade de defeitos preconizados pelo DNIT – Tabela 03;

x Quant. = Quantidade de defeitos ajustada para o trecho – Tabela 04.

Tabela 4 – Frequência dos defeitos do LVC ajustada

Painéis (P) e Remendos (R)			Demais defeitos		
Código	Frequência	Quant./km	Código	Frequência	% por km
A	Alta	≥ 4	A	Alta	≥ 50
M	Média	2 - 4	M	Média	50 - 10
B	Baixa	≤ 2	B	Baixa	≤ 10

Fonte: Autor (2021)

### 3.2.3.1. Cálculo do ICPF – Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis

O ICPF é estimado com base na avaliação visual do pavimento e consiste na média dos índices contidos no formulário do LVC, ilustrado na Figura 34.

Os resultados obtidos neste cálculo são classificados em conceitos de qualidade conforme ilustrado na Tabela 5, que também ilustra as alternativas de intervenção para cada conceito de qualidade.

Tabela 5 - Conceitos do ICPF

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	<b>Necessita apenas de conservação rotineira</b>	5 - 4
Bom	<b>Aplicação de lama asfáltica</b> - Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 - 3
Regular	<b>Correção de pontos localizados ou recapeamento</b> - pavimento trincado, com "painéis" e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal	3 - 2
Ruim	<b>Recapeamento com correções prévias</b> - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos	2 - 1
Péssimo	<b>Reconstrução</b> - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base	1 - 0

Fonte: Adaptado de DNIT (2003d)

### 3.2.3.2. Cálculo do IGGE - Índice de Gravidade Global Expedito

O cálculo do IGGE foi realizado por meio da Equação 8, sendo que os dados necessários foram obtidos pela associação da média das notas dos avaliadores, contidas no formulário do LVC (Figura 48), com os dados ilustrados nas Tabelas 6 e 7. Os dados da Tabela 6 já estão ajustados para o trecho de 700 m

$$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{pr}) \quad (8)$$

Onde:

$F_t, P_t$  = Frequência e Peso do conjunto de trincas t;

$F_{oap}, P_{oap}$  = Frequência e Peso do conjunto de deformações;

$F_{pr}, P_{pr}$  = Frequência (quantidade) e Peso do conjunto de painéis e remendos

Tabela 6 - Determinação do Índice de Gravidade

Painéis (P) e Remendos (R)			Demais defeitos (trincas, deformações)		
Frequência	Fator $F_{pr}$ Quant./km	Gravidade	Frequência	Fatores $F_t$ e $F_{oap}$ (%)	Gravidade
A - ALTA	$\geq 4$	3	A - ALTA	$\geq 50$	3
M - MÉDIA	2 - 4	2	M - MÉDIA	50 - 10	2
B - BAIXA	$\leq 2$	1	B - BAIXA	$\leq 10$	1

Fonte: Adaptado de DNIT (2003d)

Tabela 7 - Pesos para cálculo do IGGE

Gravidade	Pt	Poap	Ppr
3	0,65	1	1
2	0,45	0,7	0,8
1	0,3	0,6	0,7

Fonte: Adaptado de DNIT (2003d)

### 3.2.3.3. Cálculo do IES – Índice do Estado da Superfície do pavimento

O IES foi avaliado em função do IGGE e do ICPF, com valores compreendidos de 0 a 10 e classificados conceitualmente em uma escala que varia entre ótimo e péssimo, conforme ilustrado na Tabela 8.

Tabela 8 - IES - Índice do Estado da Superfície do pavimento

Descrição	IES	Código	Conceito
$IGGE \leq 20$ E $ICPF > 3,5$	0	A	Ótimo
$IGGE \leq 20$ E $ICPF \leq 3,5$	1	B	Bom
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	Regular
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	Ruim
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	Péssimo
$IGGE > 90$	10		

Fonte: Adaptado de DNIT (2003d)

Os resultados do ICPF, do IGGE e do IES foram colocados no quadro resumo ilustrado na Figura 49.

Figura 49 - Quadro Resumo do LVC

Código PNV _____		Ext. PNV _____		UNIT _____		Nº PISTA/LADO _____		MÉS/ANO _____	
		Início _____						MR Nº _____	
Trecho do PNV		Fim _____		VMD _____				MR Nº _____	
Nº do Seg	SEGMENTO			RESULTADOS					
	Km Início	Km Fim	Extensão	ICPF	IGGE	IES			OBSERVAÇÕES
						Valor	Cód.	Conceito	

Fonte: Adaptado de DNIT (2003d)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de Índice de Gravidade Global (IGG), Valor de Serventia Atual (VSA) e do levantamento Visual Contínuo (LVC) são apresentados a seguir, bem como a comparação entre eles e as sugestões de manutenções para o trecho.

### 4.1. ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)

No levantamento realizado a pé para o cálculo do IGG, foi verificada a existência de manifestações patológicas ao longo de todo o trecho. As manifestações mais encontradas foram afundamentos de trilha de roda, trincas interligadas, sem erosão e com erosão nas bordas, e desgaste.

As medidas de Afundamento de Trilha de Roda (ATR) de cada estação são apresentadas no Anexo A, enquanto o formulário de defeitos do IGG no Anexo B. As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados do IGG do subtrecho 1 e 2, respectivamente.

Tabela 9 - Planilha de cálculo do IGG do subtrecho 1

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	8	2	5,56	0,2	1,11
2	(FC-2) J, TB	32	10	27,78	0,5	13,89
3	(FC-3) JE, TBE	23	23	63,89	0,8	51,11
4	ALP, ATP, ALC, ATC	27	X	75,00	0,9	67,50
5	O, P, E	1		2,78	1	2,78
6	EX	0		0,00	0,5	0,00
7	D	33		91,67	0,3	27,50
8	R	8		22,22	0,6	13,33
9	Média aritmética dos valores médios das flexas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 5,58	TRI = 7,81	F = 6,69	1 A ( x ) 1 B ( )	8,904
10	Média aritmética das variâncias das flexas medidas em ambas as trilhas	TREv = 32,35	TRlv = 61,76	FV = 47,06	2 A ( x ) 2 B ( )	47,06
Nº Total de estações		36		$\Sigma$ IGI = IGG		
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV quando FV ≤ 50		IGG =		<b>233,2</b>
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50		CONCEITO		<b>PÉSSIMO</b>

Fonte: Autor (2021)

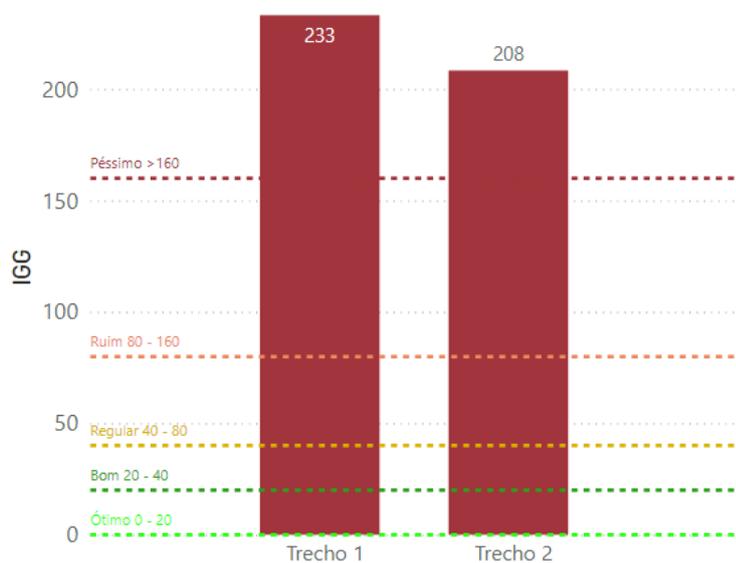
Tabela 10 - Planilha de cálculo do IGG do subtrecho 2

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	11	2	5,56	0,2	1,11
2	(FC-2) J, TB	23	6	16,67	0,5	8,33
3	(FC-3) JE, TBE	24	24	66,67	0,8	53,33
4	ALP, ATP, ALC, ATC	24	X	66,67	0,9	60,00
5	O, P, E	1		2,78	1	2,78
6	EX	0		0,00	0,5	0,00
7	D	26		72,22	0,3	21,67
8	R	3		8,33	0,6	5,00
9	Média aritmética dos valores médios das flexas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE = 6,38	TRI = 2,97	F = 4,68	1 A ( x ) 1 B ( )	6,23
10	Média aritmética das variâncias das flexas medidas em ambas as trilhas	TREv = 96,23	TRIV = 20,02	FV = 58,13	2 A ( ) 2 B ( x )	50
Nº Total de estações		36		$\sum IGI = IGG$		
1A) IGI = F x 4/3 quando F ≤ 30		2A) IGI = FV quando FV ≤ 50		<b>IGG =</b>		<b>208,4</b>
1B) IGI = 40 quando F > 30		2B) IGI = 50 quando FV > 50		<b>CONCEITO</b>		<b>PÉSSIMO</b>

Fonte: Autor (2021)

Por meio dos resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10, é possível notar que ambos os subtrechos se encontram em estado precário. O Gráfico ilustrado na Figura 50, exibe o IGG calculado nos subtrechos e as faixas de qualidade fixadas pelo DNIT (2003b).

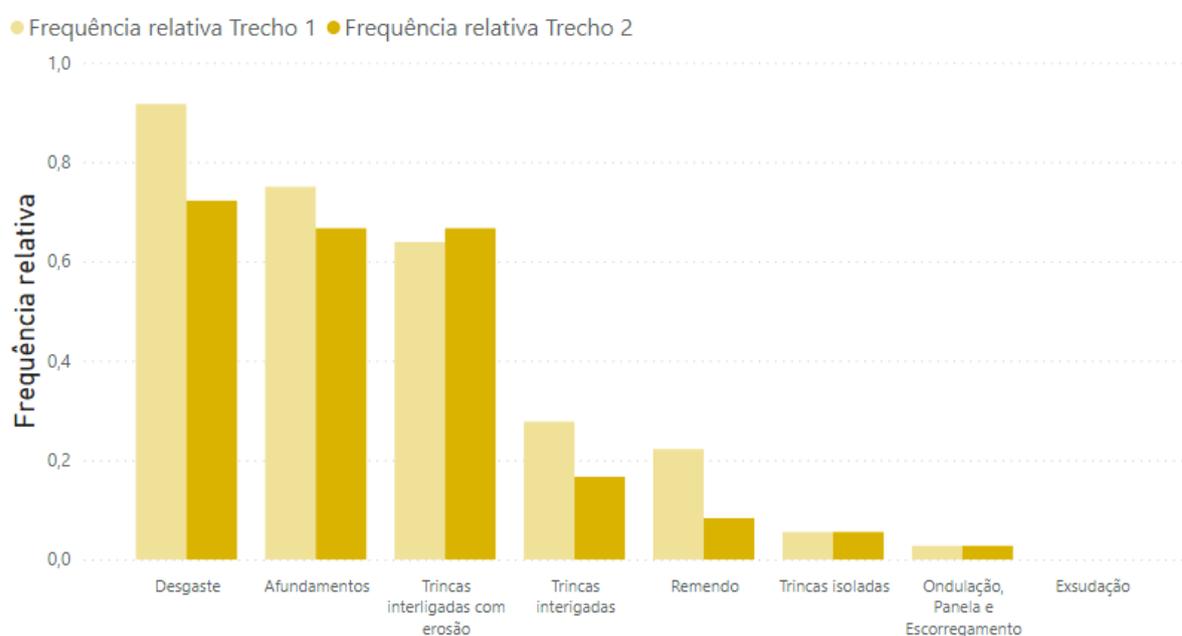
Figura 50 - IGG em cada subtrecho



Fonte: Autor (2021)

Nota-se que os índices calculados estão acima do valor inicial de pavimentos classificados como péssimos – cerca de 30%, evidenciando o elevado grau de deterioração do pavimento. A Figura 51 ilustra o gráfico da Frequência Relativa dos defeitos encontrados nas estações. Constata-se que as superfícies dos dois subtrechos estão desgastadas, visto que, no subtrecho 1, o defeito apareceu em 92% das estações, e em 72% do 2. Os afundamentos e as trincas interligadas também apresentaram elevada frequência.

Figura 51 - Frequência relativa por defeito



Fonte: Autor (2021)

A Figura 52 ilustra as ocorrências das três principais manifestações patológicas encontradas nas estações avaliadas. A imagem (a), anexada na Figura 52, evidencia, já na estação 1, o desgaste na superfície. A imagem (b) ilustra o ATR – vale ressaltar que a régua utilizada para evidenciar o afundamento, foi utilizada somente para esta função, e não para medi-lo. A imagem (c) retrata as trincas interligadas com erosão junto às bordas. Não foi detectado ondulações, escorregamentos e exsudação no trecho.

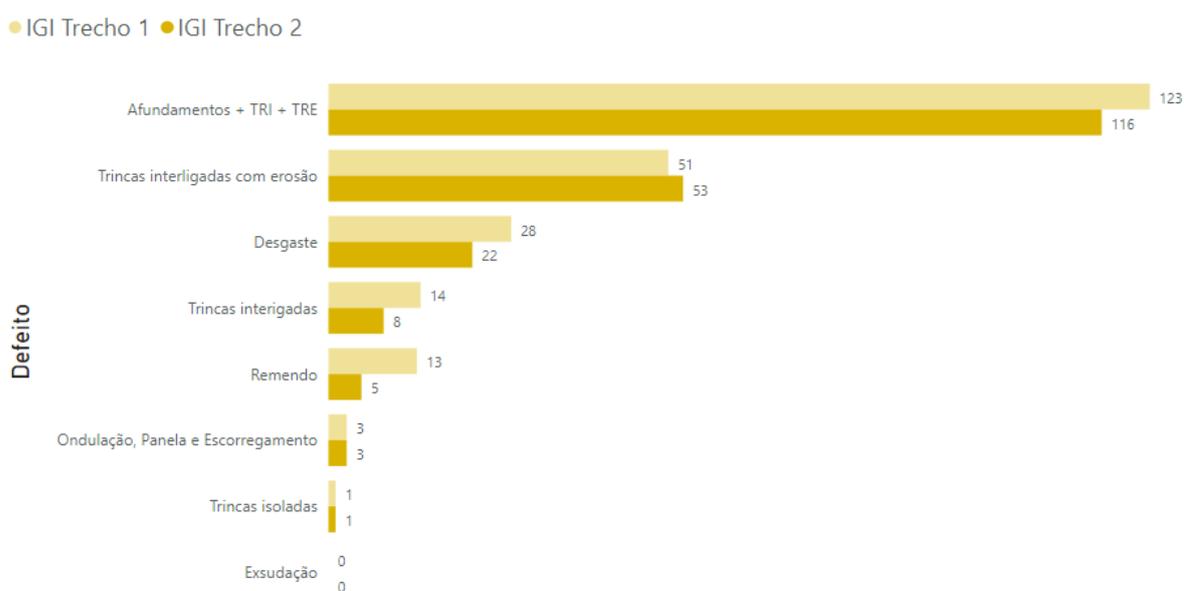
Figura 52 - Principais manifestações patológicas detectadas no trecho



Fonte: Autor (2021)

Apesar do desgaste ser a manifestação mais frequente nas estações, não é ele o defeito com maior peso no valor do IGG, pois o fator de ponderação atribuído a ele diminui sua influência na determinação do índice. A Figura 53 ilustra o gráfico do Índice de Gravidade Individual (IGI) de cada manifestação patológica inventariada.

Figura 53 - Índice de Gravidade Individual (IGI) por defeito



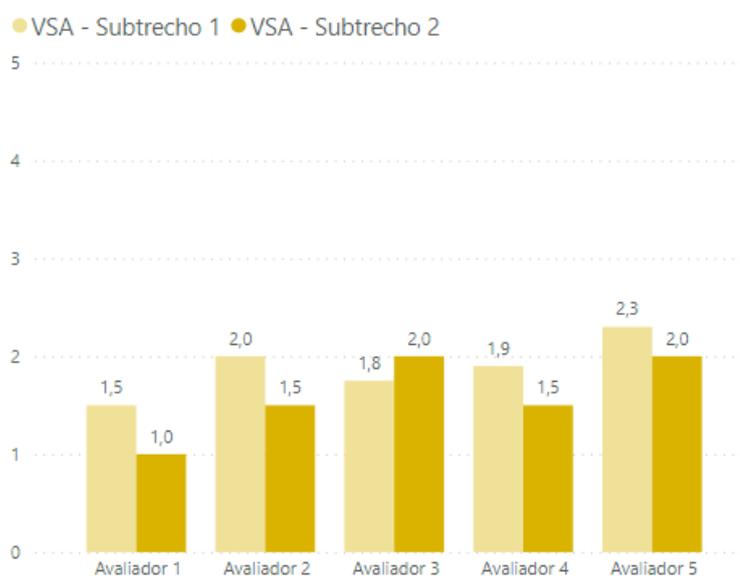
Fonte: Autor (2021)

É notável que os afundamentos exercem o maior peso no cálculo do IGG. Eles são responsáveis por cerca de 55% do valor de IGG obtido em ambos os subtrechos.

#### 4.2. VALOR DE SERVENTIA ATUAL (VSA)

A Figura 54 ilustra um gráfico com as notas de cada avaliador, em ambos os subtrechos, para posterior cálculo do Valor de Serventia Atual.

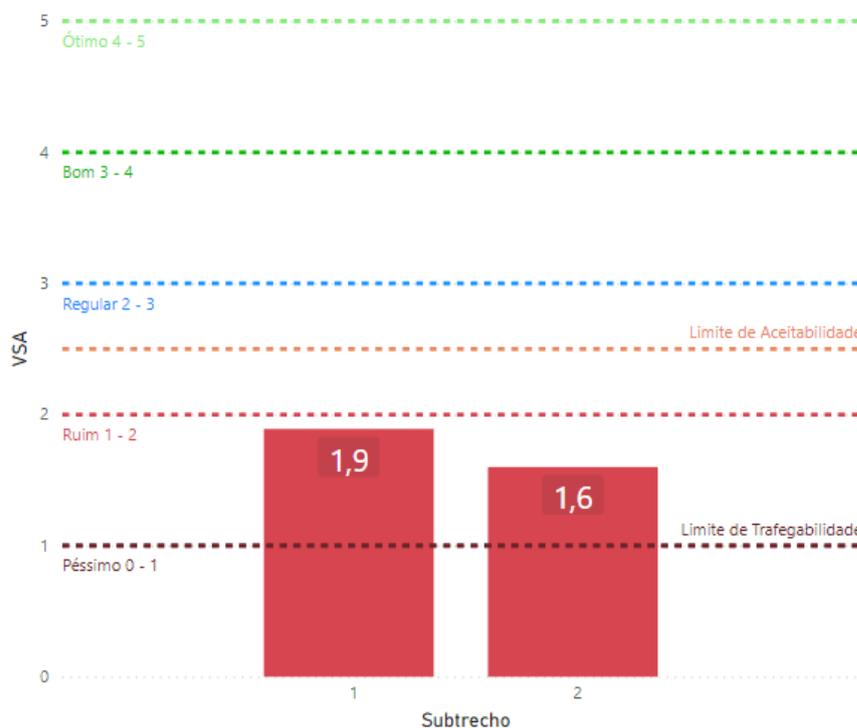
Figura 54 - Avaliações individuais do VSA



Fonte: Autor (2021)

Analisando o gráfico das avaliações individuais, percebe-se que as notas foram semelhantes, sendo que, nos subtrechos 1 e 2, o desvio padrão das notas foi de 0,27 e 0,37, respectivamente. Os cinco avaliadores classificaram o pavimento como ruim, em ambos os subtrechos. Desta forma, o VSA final de cada subtrecho recebeu conceito ruim, conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 55.

Figura 55 - VSA de cada subtrecho



Fonte: Autor (2021)

Além de estar na classificação ruim, os dois subtrechos ficaram abaixo do limite de aceitabilidade, indicando que o pavimento deve ser restaurado imediatamente. Caso não seja restaurado, atingindo o limite de trafegabilidade, a reconstrução será necessária.

#### 4.3. LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO (LVC)

A Tabela 11 ilustra o formulário do LVC preenchido no Levantamento, nos dois subtrechos de análise.

Tabela 11 - Formulário do LVC

LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO – Av. São Roque			
Subtrecho 1: Celeste Ago. - Ver. Loreno Men.	Nº de pista/lado: 2/D	Extensão: 700 m	Estaca 0+000 a 0+700
Subtrecho 2: Ver. Loreno Men - Celeste Ago.	Nº de pista/lado: 2/E	Extensão: 700 m	Estaca 0+700 a 0+000
SEGMENTO	FREQÜÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B OU S)		ICPF

SEGMENTO				FREQÜÊNCIA DE DEFEITOS (A, M, B OU S)									ICPF	
Nº do seg.	Hodômetro/km		ext. (km)	P	TRINCAS			R	DEFORMAÇÕES		OUTROS DEFEITOS			
	inicio	fim			TR	TJ	TB		AF	O	D	EX		E
1	98612,9	98613,6	0,7	M	B	M	A	A	A	0	A	0	0	2
2	98613,7	98614,4	0,7	B	B	B	M	A	A	0	A	0	0	2,625

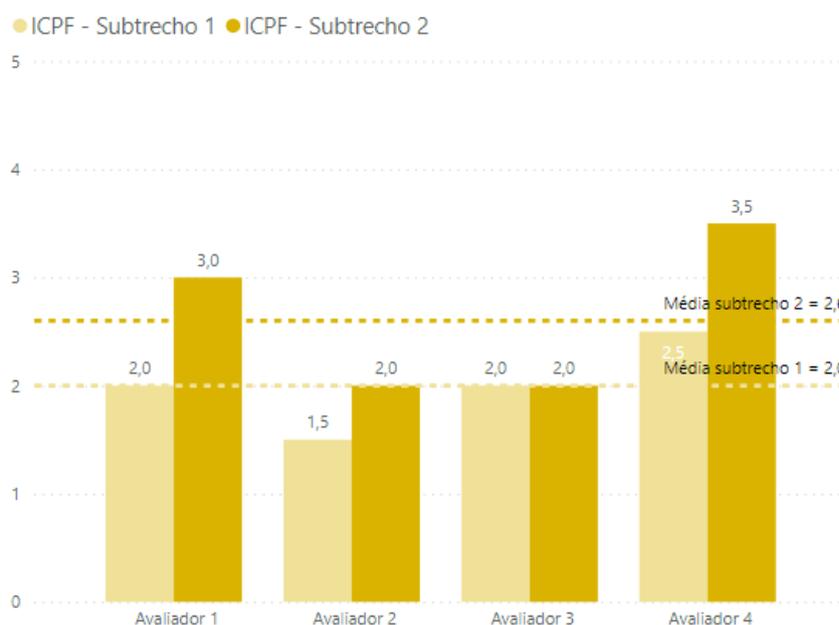
Fonte: Autor (2021)

No levantamento, as deformações nas faixas ficaram evidentes, percorrendo o trecho com o veículo, foi possível perceber que os afundamentos estão em estágio avançado, principalmente no subtrecho 1. Mesmo que menos acentuados, no subtrecho 2 também são encontrados afundamentos em grande parte da extensão do trecho.

#### 4.3.1. Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF)

Os resultados do ICPF, ilustrados pela Tabela 11, foram sintetizados por meio das avaliações de cada avaliador, ilustradas na Figura 56.

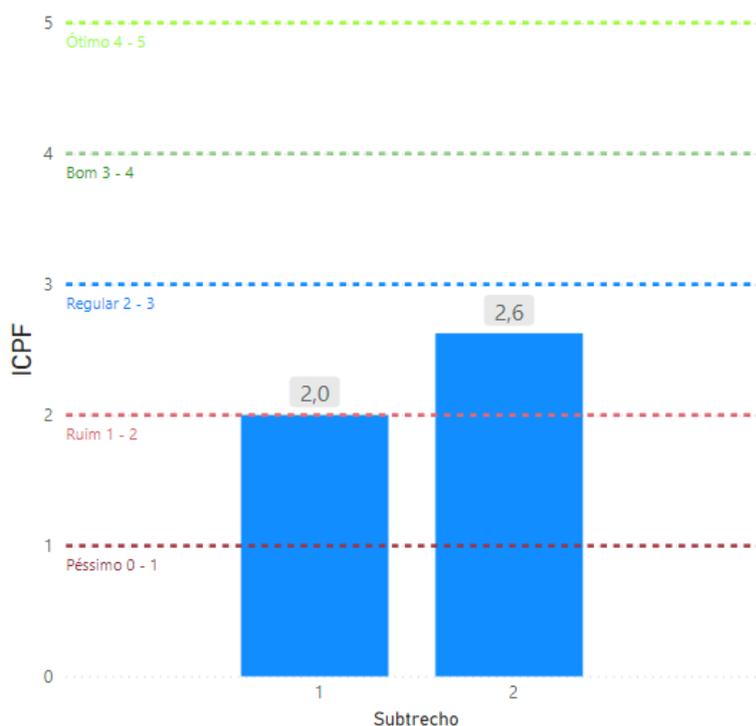
Figura 56 - Notas de ICPF dos avaliadores



Fonte: Autor (2021)

O desvio padrão entre as notas foi de 0,32 no subtrecho 1, e de 0,58 no subtrecho 2. Por meio da média aritmética das notas ilustradas no gráfico da Figura 56, calculou-se o ICPF de cada subtrecho, ilustrado no gráfico da Figura 57.

Figura 57 - ICPF dos Subtrechos



Fonte: Autor (2021)

Em ambos os subtrechos, o resultado de ICPF se enquadrou no conceito regular, sendo que, o subtrecho 1 obteve pior resultado, ficando no limite do conceito regular, muito próximo de ruim.

#### 4.3.2. Índice de Gravidade Global (IGGE)

A Tabela 12 apresenta as etapas do cálculo e os resultados do IGGE, de ambos subtrechos.

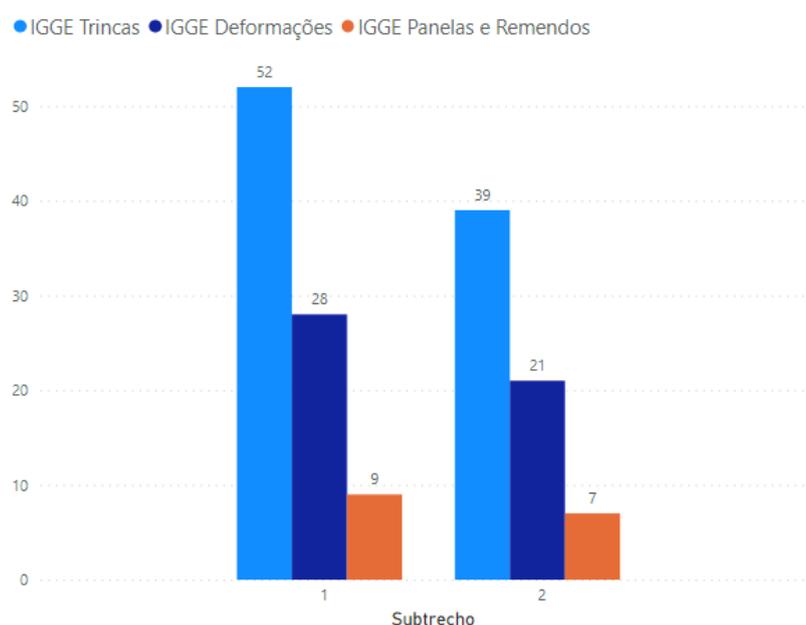
Tabela 12 - Planilha de cálculo do IGGE

SEGMENTO			TRINCAS			DEFORMAÇÕES			PANELA + REMENDO			(Fp x Pt) + (Foap x Poap) + (Fpr x Ppr) = <b>IGGE</b>	
N° do seg.	Hodômetro/km		Ext. (km)	Ft. %	Pt	Fp x Pt	Foap %	Poap	Foap x Poap	Fpr n°	Ppr		Fpr x Ppr
	inicio	fim											
1	98612,9	98613,6	0,7	80	0,65	52	40	0,7	28	9	1	9	89
2	98613,7	98614,4	0,7	60	0,65	39	30	0,7	21	7	1	7	67

Fonte: Autor (2021)

Com base na Tabela 12, a Figura 58 ilustra o gráfico do peso que cada defeito desempenhou no cálculo do IGGE. Apesar das deformações afetarem consideravelmente no conforto da via, as trincas foram as principais responsáveis no índice de gravidade, visto que, em média, 70% dos dois subtrechos apresentam trincas.

Figura 58 - IGGE de cada grupo de defeito



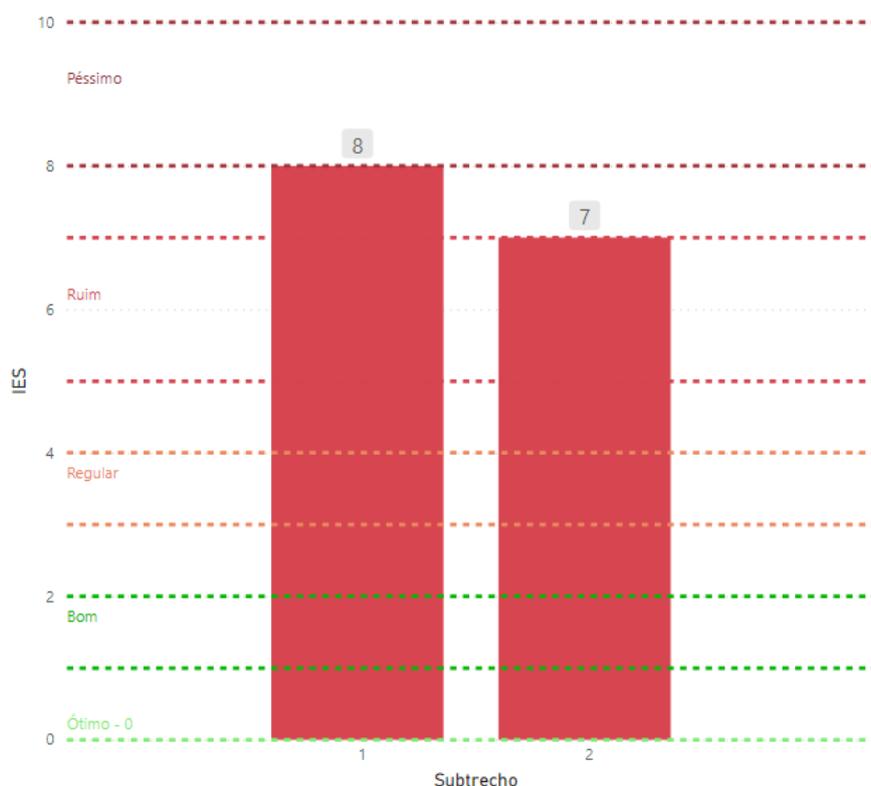
Fonte: Autor (2021)

Analisando o gráfico da Figura 57, conclui-se que cerca de 58% do valor do IGGE se deve às trincas, 32% às deformações e pouco mais de 10% às painéis e remendos.

### 4.3.3. Índice do Estado da Superfície

O Índice do Estado da Superfície (IES), calculado por meio da associação do ICPF com o IGGE, obteve resultado péssimo no subtrecho 1, e ruim, no 2, conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 59, correlacionando os conceitos atribuídos aos subtrechos com os demais conceitos definidos pelo DNIT.

Figura 59 - Resultados do IES



Fonte: Autor (2021)

Analisando o gráfico da Figura 58, nota-se que apesar de conceitos diferentes, subtrecho 1 em péssimo e o 2 em ruim, as notas foram semelhantes, sendo que o 1 ficou no valor inicial da faixa péssimo, e o 2 no valor limite da faixa ruim.

A Tabela 13 ilustra o quadro resumo dos resultados obtidos por meio do LVC.

Tabela 13 - Quadro resumo do LVC

<b>QUADRO RESUMO DO LVC</b>						
<b>Segmento</b>		<b>Resultados</b>				
N° do Seg.	Extensão	ICPF	IGGE	IES		
				Valor	Cód.	Conceito
1	700m	2	89	8	E	<b>PÉSSIMO</b>
2	700m	2,625	67	7	D	<b>RUIM</b>

Fonte: Autor (2021)

#### 4.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS AVALIAÇÕES OBTIDAS

A Tabela 14 apresenta os resultados das três avaliações, nos dois subtrechos.

Tabela 14 - Comparação entre os resultados

<b>AVALIAÇÕES</b>			
<b>Subtrecho</b>	<b>IGG</b>	<b>VSA</b>	<b>IES</b>
<b>1</b>	233	1,89	8
	<b>Péssimo</b>	<b>Ruim</b>	<b>Péssimo</b>
<b>2</b>	208	1,6	7
	<b>Péssimo</b>	<b>Ruim</b>	<b>Ruim</b>

Fonte: Autor (2021)

As avaliações obtiveram resultados semelhantes, todas avaliaram o pavimento como ruim ou péssimo. Comparando o IGG com os outros dois índices, nota-se maior discrepância no resultado, que pode ser atribuída a uma série de fatores.

O primeiro motivo que deve ser apontado é explicado por Neto et al. (2019): por se tratar de um método desenvolvido para rodovias, o IGG não considera a severidade e a extensão dos defeitos, apenas contabiliza-os de acordo com seu tipo. Isso reflete em uma tendência pessimista.

Outro fator que induz o IGG a um conceito pior, é que o método atribui fatores de ponderação altos para as manifestações patológicas mais comuns em vias urbanas, como afundamentos, desgaste e remendos. O desgaste do pavimento nas

regiões urbanas é bastante comum em razão da frequência de frenagem e aceleração dos veículos. Os remendos, por sua vez, são frequentes por motivos de manutenção em redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e drenagem de águas pluviais.

O VSA foi a avaliação menos pessimista das três, tendo em vista que trata-se de uma avaliação do conforto que a rodovia oferece segundo a percepção dos usuários. É possível entender que esse fator diminui a gravidade da situação da via, sendo que as trincas (em estágio inicial) e o desgaste não afetam consideravelmente no conforto ao rolamento. Entre os índices, o VSA foi o único a avaliar o subtrecho 1 em melhor estado que o 2, indicando a necessidade de um estudo mais aprofundado para entender a divergência.

O IES, obtido a partir da correlação entre o ICPF e o IGGE, é o único índice que avalia a porcentagem de área de pavimento afetada por manifestações patológicas. É evidente que a atribuição dos valores de área afetada, ou melhor, das frequências de cada defeito, é dada de forma aproximada em decorrência da coleta de dados ser realizada em um veículo em movimento. Avaliar a área afetada pelas manifestações foi um aspecto importante no resultado do IES, em virtude que grande parte da superfície analisada apresenta trincas e afundamentos. Por outro lado, o índice não considera o desgaste, a exsudação e o escorregamento no cálculo.

#### 4.5. POSSÍVEIS CAUSAS E ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO

As medidas de correção aqui sugeridas são embasadas na revisão bibliográfica e nas avaliações funcionais realizadas no pavimento. Para consolidá-las e realizar um adequado projeto de restauração, é imprescindível o levantamento das condições estruturais do pavimento, com observações globais, identificando as causas que levaram às manifestações patológicas.

O processo de tomada de decisão referente a qual medida de manutenção utilizar, é uma integração entre eficiência da correção e custo da obra. Para correção dos defeitos encontrados no trecho conforme os resultados das avaliações, manutenções de conservação, por mais econômicas que sejam, seriam ineficazes contra o grau de deterioração em que o pavimento apresenta. Diante disso, as alternativas de intervenção partem de manutenções de restauração ou reconstrução.

Na avaliação do IGG, observou-se que a manifestação patológica mais agressiva no cálculo do índice foi os afundamentos de trilha de roda. Da mesma forma, no VSA, os afundamentos foram os principais responsáveis pelo desconforto ao rolamento. Conforme citado na revisão bibliográfica, as principais causas dos afundamentos podem estar associadas com o excesso de ligante asfáltico na mistura ou com a ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento.

Levando em consideração que não foi verificado manchas de exsudação no revestimento e que os afundamentos não são acompanhados de compensação volumétrica de massa asfáltica, pode-se concluir que os afundamentos são do grupo de afundamentos por consolidação, ou seja, a causa pode estar associada com problemas nas camadas subjacentes ao revestimento.

Referente às trincas interligadas encontradas no revestimento, pode-se associar a algumas possíveis causas. As trincas tipo "bloco" foram as mais frequentes. Esse tipo de trinca, pode ser resultado do trincamento por fadiga, principalmente quando acompanhado por pouca compactação, falta de ligante na mistura e espessura menor que o recomendado. Contudo, um fator que potencializou esse tipo de trincamento foi a reflexão das trincas ocasionada pela camada subjacente ao revestimento, dado que a forma geométrica das manifestações no revestimento, são semelhantes às dimensões dos paralelepípedos, conforme ilustrado na Figura 60.

Figura 60 - Trincas interligadas tipo "bloco"



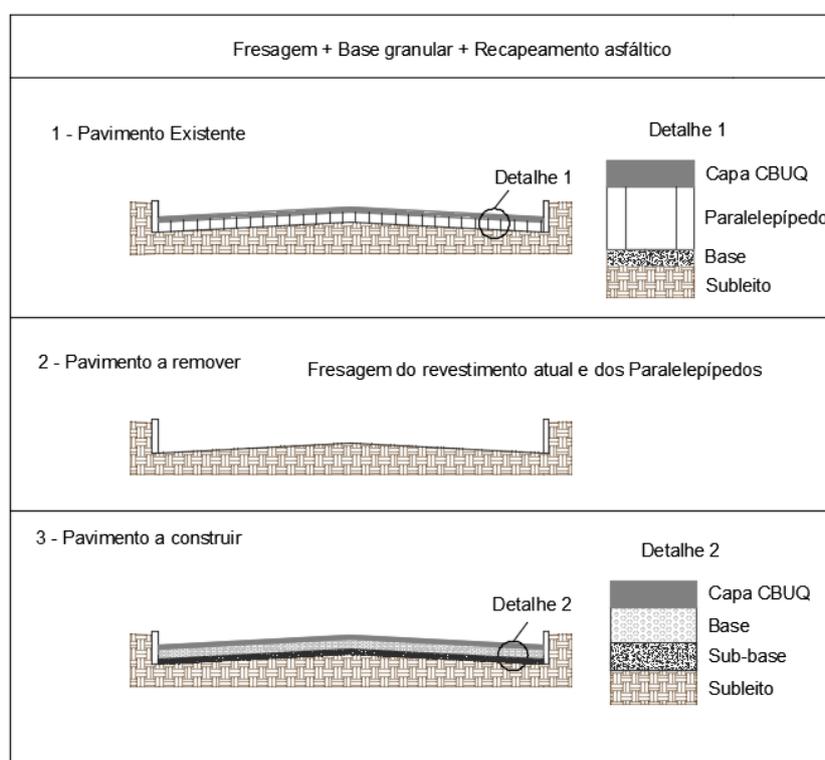
Fonte: Autor (2021)

Analisando a Figura 60, também é possível notar que as trincas são mais frequentes nas trilhas de roda, evidenciando a repetição da ação do tráfego. Outra manifestação que evidencia a ação do tráfego, são as trincas do tipo couro de jacaré, que, apesar de predominarem menos que as de bloco, também foram detectadas no

revestimento. Além das ações do tráfego, as trincas do tipo couro de jacaré podem ser consequências de um pavimento envelhecido.

Diante das manifestações e possíveis causas, uma alternativa eficiente para solução destes problemas seria remover o revestimento, por meio da técnica de fresagem, e retirar a camada de paralelepípedos para, posteriormente, executar as camadas de sub-base, base granular e revestimento asfáltico, conforme ilustra a Figura 61. Vale ressaltar que as espessuras das camadas devem ser determinadas a partir de dimensionamentos.

Figura 61 - Técnica de manutenção 1

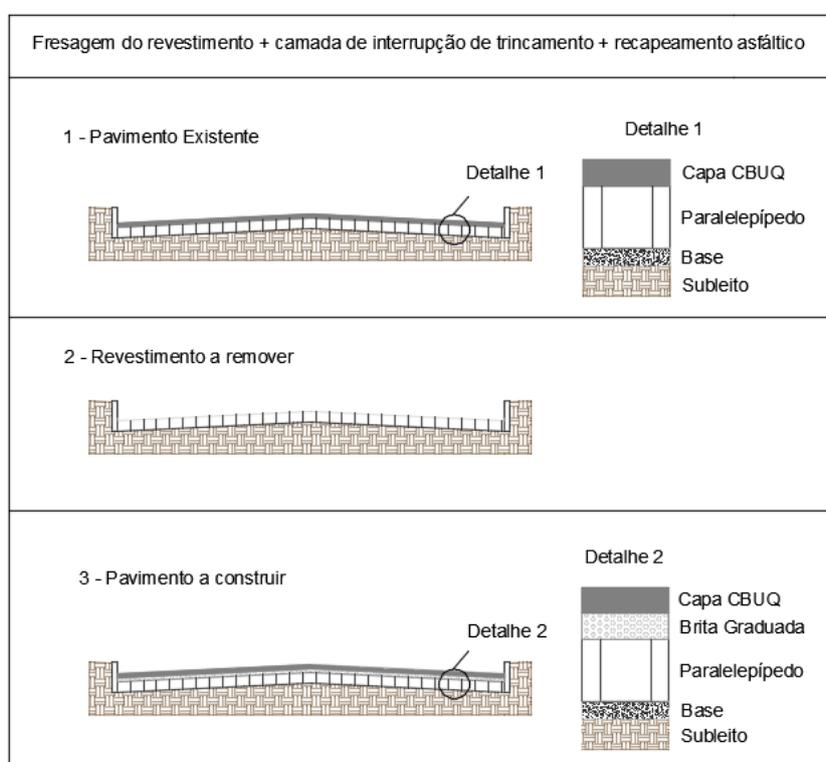


Fonte: Autor (2021)

A execução da técnica de manutenção 1, amenizaria o problema dos afundamentos por consolidação, e, ao mesmo tempo, seria eficaz contra as trincas interligadas, pois, retirando os paralelepípedos, a reflexão de trincas para o revestimento diminuiria consideravelmente. As desvantagens de executar a técnica 1, são o alto custo e o elevado tempo de execução, sendo que, além de reconstruir o pavimento, será necessário retirar os paralelepípedos.

Uma alternativa de intervenção mais econômica é a aplicação de uma camada de interrupção de trincamento, composta por brita graduada, conforme explicado na revisão bibliográfica. A camada deve receber sobre ela, uma camada de recapeamento asfáltico. Aconselha-se fresar o revestimento antigo, a fim de evitar o alteamento do greide de projeto e remover os afundamentos. Nos locais de afundamentos mais agressivos, será necessário remover os paralelepípedos e recompor a camada de base com brita graduada. Essa técnica é ilustrada pela Figura 62.

Figura 62 - Técnica de manutenção 2



Fonte: Autor (2021)

As vantagens de utilizar a camada intermediária e não remover os paralelepípedos, são economizar tempo de execução e recursos financeiros, sendo que, não será necessário realizar a camada de base, uma vez que, os próprios paralelepípedos servirão como aporte estrutural.

Com a mesma ideia da técnica 2, de dissipar a reflexão das trincas geradas pelos paralelepípedos, Bernucci et al. (2008) afirmam que a utilização de microrrevestimento asfáltico (MRAF) como camada intermediária pode ser uma boa

alternativa. Deve-se fresar o revestimento antigo, aplicar o MRAF sobre os paralelepípedos e, posteriormente, recapear com CBUQ.

Em todas as alternativas sugeridas, é aconselhável que, juntamente com a nova capa de CBUQ a ser executada, um novo sistema de drenagem seja integrado no projeto, com canaletas laterais que auxiliem no escoamento da água até as caixas coletoras. Além da drenagem, recomenda-se a reciclagem do revestimento asfáltico que será removido, tendo em vista que é composto de agregados pétreos e ligante asfáltico antigo. O material reciclado pode ser reutilizado na camada de CBUQ a ser executada.

Outro fator determinante para a elaboração de um adequado projeto de restauração, é analisar o fluxo de tráfego presente e futuro e leva-los em consideração no dimensionamento da estrutura. Isso pode evitar a ocorrência de defeitos precoces no pavimento.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou a condição da superfície do pavimento asfáltico de um trecho da Av. São Roque em Bento Gonçalves – RS. Para isso, utilizou-se três métodos de avaliação padronizados pelo DNIT: IGG, VSA e LVC. A partir dos resultados de cada avaliação, fez-se a comparação entre elas para que todos os parâmetros fossem levados em consideração na seleção da intervenção corretiva adequada para o trecho.

Referente a metodologia adotada no trabalho, alguns pontos podem ser destacados. Observou-se que os resultados obtidos pelo IGG tendem a ser mais pessimistas, tendo em vista que o método não avalia a severidade e extensão dos defeitos, mas somente a existência ou não na estação de análise. Apesar de, por vezes, superestimar as manifestações patológicas por meio de fatores com valores altos, acredita-se que essa sistemática de avaliação é eficiente, uma vez que os defeitos em estágio inicial tendem a se desenvolver e alcançar estágios mais avançados de degradação.

Ainda sobre os resultados do IGG, observou-se certa dificuldade de interpretação do valor calculado pelo índice, impossibilitando propor somente a partir dele, quais manutenções seriam apropriadas para o trecho. Entretanto, a análise das frequências dos defeitos, se mostrou um bom indicador na sugestão de manutenções adequadas para o pavimento.

Referente ao VSA, pode-se afirmar que foi um bom indicador do conforto ao rolamento, já que a avaliação conceituou a capacidade que o segmento teve de proporcionar rolamento suave e confortável. O tempo de avaliação foi baixo, dado que é um procedimento criado para avaliar grandes extensões de pavimento.

Os resultados obtidos pelo VSA retrataram um pavimento em estado ruim, em virtude que os afundamentos afetaram diretamente na concepção de qualidade sentida pelos avaliadores. Os resultados, se analisados isoladamente, não são esclarecedores quanto à técnica de manutenção necessária para corrigir o pavimento. Entretanto, com os limites de aceitabilidade e trafegabilidade, citados por Bernucci et al. (2008), foi possível selecionar o grupo de técnicas que poderão reverter a situação atual do pavimento.

Desta forma, em relação a avaliação do VSA, pode-se concluir que, apesar de insuficiente na definição da solução para o pavimento, se mostrou importante na

avaliação global, tendo em vista que correlacionando-o com os outros índices, agrega ao estudo, informações atuais do pavimento e concepções de conforto e segurança.

Em relação ao LVC, pode-se dizer que o método de avaliação é eficiente, em virtude de avaliar a superfície do pavimento, a partir da correlação entre dois índices de qualidade. O primeiro índice (ICPF) agregou ao método uma análise mais subjetiva da condição do pavimento, visto que retratou a concepção de qualidade sentida por cada avaliador. Já o segundo índice (IGGE) agregou uma investigação objetiva da superfície, que avaliou, além da existência de determinado defeito, a área atingida por ele. Contudo, observou-se que, por se tratar de um ensaio realizado em um veículo em movimento, a inspeção dos defeitos e da área atingida por eles, utilizada no cálculo do IGGE, não é precisa.

Os resultados obtidos nas três avaliações evidenciam o elevado grau de degradação do pavimento analisado. O revestimento do trecho está comprometido pelas trincas, sendo que a manifestação se apresenta em cerca de 70% de sua extensão. As trincas facilitam a entrada de água na estrutura, enfraquecendo e tornando-a mais suscetível a afundamentos, os quais também foram frequentes nas avaliações – em cerca de 75% das estações analisadas pelo IGG.

Com base nas avaliações, as sugestões de manutenção no pavimento foram de reconstrução ou de restauração com remoção do revestimento existente. Essas técnicas sugeridas acarretam elevados gastos de material e mão-de-obra, no entanto, no estado de conservação em que o pavimento se encontra, serão as únicas alternativas eficientes para sanar os defeitos existentes. Vale destacar que, para validar as medidas sugeridas, é imprescindível realizar avaliações estruturais no pavimento.

Finalmente, conclui-se que os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho se mostraram eficientes no que tange ao objetivo da pesquisa. As avaliações evidenciaram as manifestações patológicas existentes no trecho e forneceram subsídios para a tomada de decisão quanto as alternativas eficientes de intervenção.

## 5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de sugerir a elaboração de futuras pesquisas relacionadas à área didática abordada neste trabalho, algumas ideias serão citadas abaixo.

- Realizar a retroanálise do pavimento, com o objetivo de obter informações sobre as propriedades das camadas *in situ*, possibilitando realizar o diagnóstico do pavimento;
- Avaliar o pavimento a partir de outros métodos, principalmente de cunho estrutural, a fim de correlacionar avaliações funcionais às estruturais e assim propor, de maneira mais assertiva, alternativas de manutenções eficientes para o trecho;
- Aplicar os mesmos métodos deste trabalho em outras vias da cidade.

## REFERÊNCIAS

- ABEDA. **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. 2ª ed. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
- BONFIM, V. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 3ª Edição revisada e atualizada. ed. São Paulo: Excecção Editorial, 2010. Disponível em: <[http://fresagem.com.br/wp-content/uploads/2017/08/valmir\\_bonfim\\_livro\\_fresagem\\_de\\_pavimentos\\_asfalticos\\_pt.pdf](http://fresagem.com.br/wp-content/uploads/2017/08/valmir_bonfim_livro_fresagem_de_pavimentos_asfalticos_pt.pdf)>. Acesso em: 17 outubro 2021.
- CAVALCANTE, F. P. **Avaliação das características funcionais e estruturais da rodovia BR-230/ PB Lote III**. Recife: Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil , 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5723>>. Acesso em: 02 Maio 2021.
- CERATTI, J. A. P. [ A. ]. **Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação**. Rio de Janeiro: ABEDA, 2015.
- CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017.
- CNT. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019. 236p p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Norma DNER-PRO 182/94: Medição da irregularidade da superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter**. Rio de Janeiro: DNER/DrDTc (IPR), 1994. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNER\\_PRO\\_182\\_94.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNER_PRO_182_94.pdf)>. Acesso em: 02 Maio 2021.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Glossário de termos técnicos rodoviários**. Rio de Janeiro: IPR, 1997. Disponível em:

<[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/DNER-700-GTTR.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/DNER-700-GTTR.pdf)>. Acesso em: 17 outubro 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: IPR, 1998. Disponível em: <[https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UzB7Amo\\_XYi2lkgBVU97Zn\\_I4ltMlvBP](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UzB7Amo_XYi2lkgBVU97Zn_I4ltMlvBP)>. Acesso em: 16 junho 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 005/2003 - TER**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Rio de Janeiro: IPR, 2003a. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit\\_005\\_2003\\_ter-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_005_2003_ter-1.pdf)>. Acesso em: 05 Maio 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 006/2003 - PRO**: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003b. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT\\_006\\_2003\\_PRO](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_006_2003_PRO)>. Acesso em: 16 maio 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **NORMA DNIT 009/2003 - PRO**: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003c. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT\\_009\\_2003\\_PRO](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_009_2003_PRO)>. Acesso em: 27 Abril 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 008/2003**: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003d. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT\\_008\\_2003\\_PRO](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_008_2003_PRO)>. Acesso em: 17 agosto 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 710/2005**: Manual de Conservação Rodoviária. 2ª. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2005. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/710\\_manual\\_de\\_conservacao\\_rodoviaria.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/710_manual_de_conservacao_rodoviaria.pdf)>. Acesso em: 26 agosto 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: IPR, v. 3.ed., 2006a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2006b. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/normas/DNIT031\\_2006\\_ES.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT031_2006_ES.pdf)>. Acesso em: 16 maio 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Restauração de pavimentos asfálticos**. 2. ed. ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ. 720, 2006c. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720\\_manual\\_restauracao\\_pavimentos\\_afalticos.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf)>. Acesso em: 15 Abril 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 137/2010 - ES**: Pavimentação - Regularização do subleito - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2010a. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit\\_137\\_2010\\_es-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_137_2010_es-1.pdf)>. Acesso em: 11 Abril 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 154/2010 - ES**: Pavimentação asfáltica - Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR, 2010b. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit\\_154\\_2010\\_es-1.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_154_2010_es-1.pdf)>. Acesso em: 07 setembro 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de gerência de pavimentos**. Rio de Janeiro: IPR, 2011. Disponível em: <[https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/745\\_manual\\_de\\_gerencia\\_de\\_pavimentos.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/745_manual_de_gerencia_de_pavimentos.pdf)>. Acesso em: 22 agosto 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT 035/2018 - ES: Pavimentação asfáltica - Microrrevestimento asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro: IPR, 2018. Disponível em: <<http://200.187.9.65/sisedi/editais/D-405-2211IPUP1IUR0AW.pdf>>. Acesso em: 17 setembro 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES; INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Execução de estudo e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos: manual de utilização do programa MeDiNa**. Convênio DNIT/UFRJ. Rio de Janeiro. 2020.

DOMINGUES, F. A. A. **Mid: manual de identificação de defeitos de revestimento asfáltico de pavimentos**. São Paulo : [s.n.], 1993.

FERNANDES J, J. L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. São Carlos: Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos , 1994. Disponível em: <[https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-09042018-102257/publico/Tese\\_FernandesJr\\_JoseL.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-09042018-102257/publico/Tese_FernandesJr_JoseL.pdf)>. Acesso em: 27 Abril 2021.

FRANCO, M. L. D. O. **Estudo do efeito de intervenções sobre o comportamento de pavimentos de um grupo de rodovias do estado do Paraná**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/87257/210021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 29 agosto 2021.

GONÇALVES, F. P. **O Diagnóstico e a manutenção dos pavimentos**. [S.l.]: Notas de aula, 1999a. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/10.pdf>>. Acesso em: 28 agosto 2021.

GONÇALVES, F. P. **O desempenho dos pavimentos flexíveis**. [S.l.]: Notas de aula, 1999b. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/09.pdf>>. Acesso em: 06 setembro 2021.

GOV. RS. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. **atlassocioeconomico.rs.gov.br**, 2020. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/rodovias>>. Acesso em: 07 novembro 2021.

GOVERNO FEDERAL. Ministério da Infraestrutura. **www.gov.br**, 26/09/2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/dados-de-transportes/sintese-rodoviario>>. Acesso em: 18 Março 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil das cidades gaúchas: Bento Gonçalves 2020**. [S.l.]. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados. **IBGE.gov.br**, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/bento-goncalves.html>>. Acesso em: 15 setembro 2021.

MACEDO, M. D. C. **Estudo para a base técnica de um sistema de gerência de pavimentos para redes regionais de aeroportos**. São José dos Campos: Tese de doutorado - Instituto Tecnológico de Aeronáutica , 2005. Disponível em: <[http://www.bd.bibl.ita.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=199](http://www.bd.bibl.ita.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=199)>. Acesso em: 05 Maio 2021.

MATTOS, J. R. G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290**. Porto Alegre: Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de pós graduação em Engenharia Civil , 2009. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/30215/000778679.pdf?sequence>>. Acesso em: 06 Maio 2021.

MUNICÍPIO DE BENTO GONÇALVES. **PlanMob**: plano municipal de mobilidade urbana de Bento Gonçalves. Bento Gonçalves : Prefeitura Municipal , 2015.

NETO, A. D. D. L. T. et al. Avaliação das Condições do Pavimento em Via Urbana na Cidade de João Pessoa/PB: Comparação entre índices. **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**, Balneário Camboriú - SC, 10 a 14 novembro 2019. Disponível em:

<[http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20III/3\\_73\\_AC.pdf](http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20III/3_73_AC.pdf)>. Acesso em: 31 outubro 2021.

PINTO, S.; PINTO, I. E. **Pavimentação asfáltica**: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimento asfáltico. 1. ed. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2019.

SENÇO, W. D. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. ampl. ed. São Paulo: PINI, v. Volume 1, 2007.

SILVA, J. P. S. **Aderência Pneu-pavimeto em Revestimentos Asfálticos Aeroportuários**. Distrito Federal: Dissertação de mestrado, Publicação G.DM - 165/2008, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

TONIAL, I. A. **Influência do envelhecimento do revestimento asfáltico na vida de fadiga de pavimentos**. Rio de Janeiro: Autor, 2001. Disponível em: <[file:///C:/Users/55549/Downloads/Ilonir\\_Antonio\\_Tonial\\_mestrado.pdf](file:///C:/Users/55549/Downloads/Ilonir_Antonio_Tonial_mestrado.pdf)>. Acesso em: 03 Maio 2021.

VASCONCELOS, M. A. G. **Estudo sobre o emprego do cape seal em revestimentos rodoviários do estado do Ceará**. Fortaleza: Autor, 2013. Disponível em: <[file:///C:/Users/55549/Downloads/2013\\_dis\\_magvasconcelos.pdf](file:///C:/Users/55549/Downloads/2013_dis_magvasconcelos.pdf)>. Acesso em: 03 outubro 2021.

## ANEXO A – MEDIDAS DE AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA

Subtrecho	Estação	TRI (mm)			TRE (mm)		
		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 1	Medida 2	Medida 3
	1	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0
	9	4	3	3	0	0	0
	10	8	9	0	0	20	0
	11	12	5	5	5	6	4
	12	3	0	0	10	0	0
	13	5	4	3	5	10	7
	14	2	4	5	10	10	10
	15	5	0	3	9	0	2
	16	3	4	3	9	6	5
	17	2	3	3	5	5	5
	18	2	4	5	5	1	3
1	19	12	7	7	14	5	5
	20	5	6	10	8	15	5
	21	3	3	3	7	2	5
	22	0	2	0	0	2	2
	23	3	2	3	2	4	6
	24	3	2	2	2	2	4
	25	2	5	9	9	10	15
	26	4	5	5	9	5	5
	27	3	6	12	8	16	6
	28	15	13	6	5	13	4
	29	7	7	4	10	5	9
	30	11	15	12	32	39	30
	31	0	1	2	0	1	11
	32	1	22	12	4	16	14
	33	20	19	10	15	3	2
	34	0	6	5	0	0	0
	35	0	0	0	0	0	0
	36	0	0	0	4	4	5

Subtrecho	Estação	TRI (mm)			TRE (mm)		
		Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 1	Medida 2	Medida 3
	37	0	0	0	0	0	0
	38	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0
	40	25	4	4	3	9	3
	41	15	39	35	9	13	5
	42	34	9	12	11	11	5
	43	5	6	16	8	7	14
	44	15	28	19	14	14	11
	45	0	0	0	6	2	0
	46	0	0	3	0	0	0
	47	1	0	9	2	0	0
	48	9	4	0	9	11	0
	49	0	4	0	3	1	1
	50	0	3	10	0	0	0
	51	0	0	0	0	4	0
	52	6	6	0	4	1	0
	53	0	0	0	0	0	0
	54	0	4	0	5	0	0
	55	12	5	3	0	0	0
	56	0	0	3	0	0	0
	57	0	3	0	0	0	0
	58	0	3	2	2	0	0
	59	2	0	0	0	0	0
	60	0	0	0	0	0	0
	61	0	0	0	0	0	0
	62	0	0	0	0	0	0
	63	0	0	0	0	0	0
	64	0	0	0	0	0	0
	65	0	0	0	0	0	0
	66	2	4	0	0	0	0
	67	0	0	0	0	0	0
	68	0	0	0	0	0	0
	69	5	3	8	9	4	5
	70	0	3	0	0	0	0
	71	0	0	0	0	0	0
	72	5	0	0	0	0	0

## ANEXO B – FORMULÁRIO DE DEFEITOS DO IGG

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
Rodovia:	Av. São Roque					Operador: Vinicius Pandini Morais										Folha: 1									
Subtrecho 1 - Celeste Agostin - Ver. Loreno Menegoto					Revestimento: Asfáltico										Estaca				Estaca						
					Data:					10 de outubro de 2021					0+000				0+700						
Subtrecho	Estaca	Estação	TRINCAS											AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						ATR	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS					PLÁST.		CONSO.		O (5)	P (5)	E (5)	EX (6)	D (7)	R (8)	TRI mm	TRE mm
			FI (1)	TTC (1)	TTL (1)	TLC (1)	TLL (1)	TRR (1)	J (2)	TB (2)	JE (3)	TBE (3)	ALP (4)	ATP (4)	ALC (4)	ATC (4)									
1	0+000	1		X							X											X		0	0
	0+020	2	X								X		X									X		0	0
	0+040	3									X											X		0	0
	0+060	4									X											X		0	0
	0+080	5									X		X									X		0	0
	0+100	6									X		X									X		0	0
	0+120	7										X										X		0	0
	0+140	8									X		X									X		0	0
	0+160	9										X	X			X						X		4	0
	0+180	10									X	X	X			X						X		9	20
	0+200	11									X		X			X						X	X	12	6
	0+220	12									X		X			X						X		3	10
	0+240	13									X					X						X	X	5	10
	0+260	14										X				X						X		5	10
	0+280	15										X				X						X		5	9
	0+300	16		X										X		X						X		4	9
	0+320	17										X				X						X		3	5



INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
Rodovia:	Av. São Roque										Operador: Vinicius Pandini Morais							Folha: 1							
Subtrecho 1 - Celeste Agostin - Ver. Loreno Menegoto										Revestimento: Asfáltico							Estaca ou Km			Estaca ou Km					
										Data: 10 de outubro de 2021							0+000			0+700					
Subtrecho	Estaca	Estação	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						ATR		
			ISOLADAS							INTERLIGADAS			PLÁST.		CONSO.		O (5)	P (5)	E (5)	EX (6)	D (7)	R (8)	TRI mm	TRE mm	
			FI (1)	TTC (1)	TTL (1)	TLC (1)	TLL (1)	TRR (1)	J (2)	TB (2)	JE (3)	TBE (3)	ALP (4)	ATP (4)	ALC (4)	ATC (4)									
2	0+700	37																						0	0
	0+680	38									X											X		0	0
	0+660	39									X	X										X		0	0
	0+640	40									X	X				X						X	X	25	9
	0+620	41									X	X				X						X		39	13
	0+600	42									X	X				X						X		34	11
	0+580	43									X	X				X						X		16	14
	0+560	44									X	X				X		X				X		28	14
	0+540	45									X	X			X							X		0	6
	0+520	46									X	X			X							X		3	0
	0+500	47									X	X			X							X		9	2
	0+480	48									X	X			X							X		9	11
	0+460	49			X						X	X			X							X		4	3
	0+440	50			X						X	X			X							X		10	0
	0+420	51			X						X	X			X							X		0	4
	0+400	52			X						X	X			X							X		6	4

Subtrecho	Estaca	Estação	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						ATR	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁST.		CONSO.		O (5)	P (5)	E (5)	EX (6)	D (7)	R (8)	TRI mm	TRE mm
			FI (1)	TTC (1)	TTL (1)	TLC (1)	TLL (1)	TRR (1)	J (2)	TB (2)	JE (3)	TBE (3)	ALP (4)	ATP (4)	ALC (4)	ATC (4)								
2	0+380	53								X		X			X					X			0	0
	0+360	54					X			X					X					X			4	5
	0+340	55										X			X					X	X		12	0
	0+320	56										X			X					X			3	0
	0+300	57					X		X		X				X					X	X		3	0
	0+280	58		X	X		X					X			X					X			3	2
	0+260	59									X				X					X			2	0
	0+240	60									X									X			0	0
	0+220	61										X								X			0	0
	0+200	62				X																	0	0
	0+180	63																					0	0
	0+160	64								X													0	0
	0+140	65			X																		0	0
	0+120	66								X					X								4	0
	0+100	67								X										X			0	0
	0+080	68								X													0	0
	0+060	69									X					X							8	9
	0+040	70													X								3	0
	0+020	71								X													0	0
0+000	72										X			X						X		5	0	