

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ISABELA CAROLINE GAGLIOTTO GALVAN**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2017**

ISABELA CAROLINE GAGLIOTTO GALVAN

ESTUDO DE RECUPERAÇÃO DA RODOVIA BR-163: TRECHO DE SÃO  
MIGUEL DO OESTE – SC À DIONÍSIO CERQUEIRA - SC

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial  
à obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof<sup>o</sup>.Msc Jairo  
Trombetta

**PATO BRANCO**

**2017**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO DE RECUPERAÇÃO DA BR-163: TRECHO DE SÃO MIGUEL DO OESTE – SC À DIONÍSIO CERQUEIRA – SC**

**ISABELA CAROLINE GAGLIOTTO GALVAN**

No dia 21 de junho de 2017, às 10h20min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº13-TCC/2017.

Orientador: Prof. Msc. JAIRO TROMBETTA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Profª. Drª. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. DANILO RINALDI BISCONSINI (DACOC/UTFPR-PB)

DACOC / UTFPR-PB

Via do Conhecimento, Km 1 CEP 85503-390 Pato Branco-PR

[www.pb.utfpr.edu.br/ecv](http://www.pb.utfpr.edu.br/ecv)

Fone +55 (46) 3220-2560

***Dedico este trabalho à toda população  
que utiliza a BR-163, por ser  
a motivação deste trabalho...***

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter iluminado meu caminho e me dado forças para realizar esse sonho.

À minha família, por todo o amor, carinho e apoio durante toda a minha trajetória acadêmica.

Aos meus professores e exemplos de profissionais a serem seguidos, especialmente Prof. Jairo Trombetta e Prof. Elizângela Marcelo Siliprandi, pela orientação desse trabalho; e Prof. Gustavo Lacerda Dias, coordenador do curso de Engenharia Civil, por sua dedicação à todos os alunos.

Ao Eng. Sérgio Miketa, representante da Unidade DNIT – São Miguel do Oeste – SC, pelo apoio à pesquisa com a concessão dos dados pertinentes da rodovia em estudo.

Ao PRF Delmar Sartori, Chefe da Unidade de Polícia Rodoviária de Chapecó - SC e pela corporação da PRF de Guaraciaba - SC, pelo apoio durante as pesquisas de tráfego.

Ao meu namorado, por contribuir na concepção da ideia desse tema de pesquisa e pela grande ajuda durante os inúmeros levantamentos de campo.

Finalmente, à todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e durante toda a minha graduação, pelo companheirismo e palavras de apoio.

***“O que você sabe não vale nada, o único valor está no que você faz com aquilo que sabe.”***  
***(Provérbio)***

## RESUMO

GALVAN, Isabela C. G. **Estudo de recuperação da BR-163: Trecho de São Miguel do Oeste à Dionísio Cerqueira (SC)**. 2017, 76 pág. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

Sendo um dos principais elementos responsáveis pelo desenvolvimento socioeconômico de uma região, as rodovias devem atender ao público que sobre ela trafega, oferecendo condições mínimas de segurança ao rolamento, conforto e economia de operação. Quando percebe-se que uma rodovia não atende mais a esse tripé, faz-se necessária uma intervenção no pavimento de modo a recuperar suas condições funcionais e estruturais. A escolha de estudar o trecho da rodovia BR-163 entre os municípios de São Miguel do Oeste e Dionísio Cerqueira (SC), se justifica pelo elevado índice de patologias apresentadas pelo pavimento, que estão interferindo significativamente no conforto dos usuários ao trafegar pela via e também pelo alto índice de acidentes de trânsito. Para que se possa sugerir uma recuperação da serventia do trecho em estudo, será avaliada a condição superficial da camada de rolamento através do método IGG; a condição estrutural do pavimento com equipamento FWD e seu volume de tráfego; que através de equações empíricas resultaram em uma espessura de reforço a ser executada.

**Palavras-chave:** Condição funcional. Condição Estrutural. Tráfego. Reforço.

## ABSTRACT

GALVAN, Isabela C. G. **Recovery study of BR-163: Segment between São Miguel and Oeste à Dionísio Cerqueira (SC)**. 2017, 77 pages. Course Conclusion Paper of the civil engineering degree course, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2017.

As one of the main elements related to the socioeconomic development of a region, roadways must support the minimum requirements of traffic safety, comfort and operational economy. As soon as it is noticed that the roadway is no longer able to support those requirements, an intervention is needed in order to recover its ideal functional and structural attributes. The choice of studying the BR-163 segment between São Miguel do Oeste and Dionísio Cerqueira (SC) is justifiable due to innumerable pavement defects and failures that are significantly interfering with the roadway users. Also, the high number of traffic accidents. In order to suggest a serviceability improvement of the segment in study, this research is intended to evaluate the pavement's surface layer the IGG method; the pavement's structural condition with FWD equipment and the traffic volume. Empirical equations will result in a reinforcement thickness to be built.

**Keywords:** Functional condition. Structural condition. Traffic. Reinforcement.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição das cargas nas camadas de um pavimento flexível .....	17
Figura 2: Corte transversal de pavimento flexível típico .....	17
Figura 3: Principais dimensões básicas dos Veículos de Projeto.....	24
Figura 4: Quadro resumo – Fendas .....	27
Figura 5: Quadro resumo – Afundamento, Ondulação, Escorregamento, Exsudação, Desgaste, Panelas e Remendos .....	29
Figura 6: Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas .....	30
Figura 7: Variação da Serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via.....	31
Figura 8: Exemplo de demarcação da pista para levantamento IGG .....	33
Figura 9: Posicionamento da viga Benkelman .....	36
Figura 10: Medições com viga Benkelman em campo .....	37
Figura 11: Vista geral do FWD Dynatest e detalhe do prato de aplicação de carga e barra de sensores .....	38
Figura 12: Localização geográfica do trecho em estudo .....	41
Figura 13: Diagrama das etapas de pesquisa .....	41
Figura 14: Trelça para medição das flechas de trilha de roda .....	44
Figura 15: Pista com ondulações, afundamentos de trilha de roda acentuados e panelas.....	51
Figura 16: Ondulação em um trecho da via.....	51
Figura 17: Pista com afundamentos de trilha de roda acentuados e desgaste superficial .....	52
Figura 18: Pista com desagregação e trincas .....	52
Figura 19: Pista com presença de trincas em bloco e tipo jacaré .....	53
Figura 20: Presença de panelas, desgaste e ondulação.....	53

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Conceito de qualidade do pavimento em função do IGG.....	34
Tabela 2: Cálculo do equivalente de passagens do eixo-padrão – N....	49
Tabela 3: Cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG .....	50
Tabela 4: Critério adotado para avaliação estrutural .....	54
Tabela 5: Códigos e Serviços – SICRO2.....	56
Tabela 6: Estimativa de custo .....	56

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

BGS – Brita Graduada Simples

BGTC – Brita Graduada Tratada com Cimento

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CCP – Concreto de Cimento *Portland*

CCR – Concreto Compactado a Rolo

CNT – Confederação Nacional de Transporte

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

EAP – Emulsão Asfáltica de Petróleo

FWD – *Falling Weight Deflectometer*

IGG – Índice de Gravidade Global

IGI – Índice de Gravidade Individual

IRI – Índice de Irregularidade Longitudinal

ISC – Índice de Suporte Califórnia

N – Número de solicitações do Eixo Padrão

PCI – *Pavement Condition Index*

PMF – Pré-Misturado a Frio

PMQ – Pré-Misturado a Quente

SMA – *Stone Masticue Asphalt*

TSD – Tratamento Superficial Duplo

TSS - Tratamento Superficial Simples

TST - Tratamento Superficial Triplo

VB – Viga Benkelman

VD – Velocidade Diretriz

VMD – Volume Médio Diário

VSA – Valor de Serventia Atual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1	OBJETIVOS .....	11
1.1.1	Objetivo Geral .....	11
1.1.2	Objetivos Específicos .....	11
1.2	JUSTIFICATIVA .....	11
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	14
2.1.1	Pavimentos Flexíveis .....	15
2.1.2	Camadas de um Pavimento Flexível .....	16
2.2	MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO .....	19
2.2.1	Agregados .....	19
2.2.2	Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) .....	21
2.3	DOSAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO .....	22
2.4	ESTUDO DE TRÁFEGO .....	22
2.5	CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DA RODOVIA .....	24
2.5.1	Veículo de Projeto .....	24
2.5.2	Velocidade Diretriz .....	25
2.6	PATOLOGIAS DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL .....	25
2.6.1	Fenda .....	26
2.6.2	Afundamento .....	27
2.6.3	Ondulação ou Corrugação .....	28
2.6.4	Escorregamento .....	28
2.6.5	Exsudação .....	28
2.6.6	Desgaste .....	28
2.6.7	Panela ou Buraco .....	28
2.6.8	Remendo .....	28
2.7	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS .....	30
2.7.1	Métodos de Avaliação de Superfície .....	31
2.7.2	Métodos de Avaliação da Estrutura .....	34
2.8	Atividades Preliminares .....	39
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
3.1	Pesquisa de Tráfego .....	41

3.2	Avaliação da Superfície: Índice de Gravidade Global (IGG).....	44
3.2.1	Segurança.....	45
3.3	Avaliação Estrutural: <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD) .....	45
3.4	Dimensionamento.....	46
3.5	Estimativa de Custo.....	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>48</b>
4.1	Pesquisa de Tráfego e Cálculo do número equivalente de passagens do Eixo-Padrão – N .....	48
4.2	Condição da Superfície: Índice de Gravidade Global – IGG .....	49
4.3	Condição Estrutural: <i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD).....	53
4.4	Dimensionamento.....	54
4.5	Estimativa de Custo.....	55
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXO 2.....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXO 3.....</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO 4.....</b>	<b>68</b>
	<b>ANEXO 5.....</b>	<b>72</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos são projetados para suprir a necessidade dos usuários de veículos de desfrutar de estradas estáveis e seguras, além de terem maior durabilidade, devido sua impermeabilidade. Porém, apesar do correto dimensionamento das camadas de um pavimento e da execução adequada de cada uma delas, é natural que com o tempo e as inúmeras solicitações de carga ocorram danos estruturais como fadiga e deformações permanentes (BERNUCCI et al., 2006).

As estradas permitem a população exercer suas atividades comerciais, sociais e culturais. Balbo (2007), cita que são as estradas as responsáveis pelo exercício da cidadania, pois permitem o acesso à educação, saúde, cultura, lazer, convívio social e trabalho.

Sendo assim, para alavancar o desenvolvimento de uma região através do modal rodoviário, é relevante não somente a correta distribuição da malha viária dentro da região e sua ligação com as demais regiões do país; como também o grau de conservação da pista de rolamento, sinalização e estruturas de apoio da via, como paradas; pousadas; postos de combustível e alimentação. Esse aumento do fluxo de veículos acarretará em investidores comerciais para a região e consequente aumento de verbas públicas para a melhoria funcional e embelezamento dos acessos, serviços de conservação e restauração de pistas, sinalizações e sistemas de iluminação.

Já há algum tempo, devido à instabilidade econômica do país, o orçamento para serviços de ampliação, manutenção e restauração de rodovias de jurisdição federal está muito restrito; impedindo a reabilitação do pavimento de algumas das rodovias mais importantes do país. Uma solução para isso poderia ser a concessão dessas rodovias às empresas privadas, para restaurar; pedagogar e gerenciar determinados trechos (ALBANO, 2005).

Devido processos burocráticos legais, diversas rodovias ainda continuam em jurisdição pública federal, como é o caso da BR - 163. Essa rodovia de caráter longitudinal, interligando municípios do Rio Grande do Sul até o Pará, totaliza 4.426,7 km de extensão (DNIT, 2016). Nessa extensão, nem toda a via é

pavimentada e o trecho com pavimentação não encontra-se em ideais condições de trafegabilidade (CNT, 2016).

A Confederação Nacional de Transporte - CNT em sua pesquisa anual que avalia a condição da malha rodoviária do país classificou os trechos percorridos da BR-163 como em estado Regular (CNT, 2016).

A mesma pesquisa apontou que 59,3% das rodovias do estado de Santa Catarina podem ser considerados como regulares, ruins ou péssimos; nos quesitos pavimento, sinalização e geometria da via.

Devido a essa condição da BR – 163, adotou-se o trecho que percorre os municípios de São Miguel do Oeste - SC e Dionísio Cerqueira – SC como objeto de estudo deste trabalho.

As esporádicas intervenções de manutenção no trecho, atreladas ao grande vulto de cargas que percorrem essa rodovia longitudinal que é um corredor de escoamento agrícola, levaram a um desgaste acentuado da camada de revestimento asfáltica, que está em crescente processo de deterioração.

Finalmente, para que se possa definir qual o nível de intervenção necessário para a reabilitação funcional de um pavimento, a atividade preliminar é diagnosticar a sua condição através de métodos de avaliação funcional (visuais). Logo após, com o emprego do equipamento de avaliação estrutural *Falling Weight Deflectometer* (FWD), o objetivo é verificar qual o nível que as cargas advindas do tráfego afetaram as camadas do pavimento.

Com os indicadores levantados pelos métodos descritos acima e com o volume de tráfego atuante no trecho em estudo, será proposta uma forma de intervenção mais adequada e apresentado o seu custo mínimo de execução com base nos indicadores referentes a 2016 no estado de Santa Catarina.



## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Identificar a intervenção necessária ao pavimento flexível do trecho da BR-163 que liga os municípios catarinenses de São Miguel do Oeste e Dionísio Cerqueira (SC).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica sobre pavimentação flexível, estudo de defeitos, estudo de tráfego;
- Caracterizar o tráfego e definir o número de solicitações do eixo padrão para o período de projeto (N);
- Avaliar a condição funcional do pavimento em estudo através do método de Índice de Gravidade Global – IGG;
- Propor uma intervenção a ser adotada em função da aplicação de critérios relacionados à avaliação estrutural correspondente às deformações do pavimento existente;
- Estimar o custo da execução do projeto na extensão de 1km de via.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Historicamente, desde a formação dos povoados, as estradas interligavam-se para facilitar o transporte de mercadorias, pessoas e atividades militares. Com o tempo, o avanço da tecnologia tornou os veículos mais velozes e com maior capacidade de carga, que além de tudo possibilitam o transporte à maiores distâncias com mais conforto, exigindo que os caminhos apresentassem propriedades geométricas, estruturais e de revestimento compatíveis com as necessidades.

Aos engenheiros civis é confiada a responsabilidade de adotar a melhor solução de projeto de rodovias e o tipo de revestimento que atenda ao tráfego,

atentando-se às condições climáticas e econômicas, gerenciando soluções de manutenção afim, principalmente, de postergar intervenções de restauração e reconstrução de pavimentos.

Algumas estradas contam com um item nobre, a camada de revestimento sobre a pavimentação, como cita Senço (2007). Sua função é de resistir e distribuir os esforços, propiciar maior aderência do veículo à pista, garantir a estabilidade do leito das estradas e conseqüentemente conferir maior segurança de rolamento e conforto (SENÇO, 2007).

Segundo dados da Pesquisa Rodovias 2015, da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), o Brasil conta com 1.720.607 km de estradas implantadas, sendo desse total apenas uma extensão de 213.229 km (12,4%) com pavimentação. Em comparação com o México, também membro do G5 de países em desenvolvimento, este possui uma malha viária menor que a brasileira, com 377.660 de extensão dos quais 37,8% são pavimentados; denotando a carência de investimentos rodoviários no Brasil (KNOEMA, 2011).

A Pesquisa também aponta que, do pequeno percentual de estradas pavimentadas que há no Brasil, boa parte encontra-se em estado de conservação precário, devido a diversos fatores como: elevadas cargas, estrutura deficiente do pavimento, ação do intemperismo, baixas intervenções de manutenção e entre outros. Ainda conforme a CNT (2016), do percentual pavimentado, 58,2% apresenta algum tipo de defeito no estado geral; desse percentual, 48,3% tem seu pavimento classificado como ruim ou péssimo, 51,7% apresentam falhas de sinalização da via e 77,9% não possuem uma geometria adequada ao rolamento.

Este trabalho, baseado em estudo de caso, tem como objetivo analisar a condição atual do trecho da rodovia BR-163, que liga os municípios de São Miguel do Oeste e Dionísio Cerqueira, no estado de Santa Catarina, Brasil; e, através do diagnóstico do pavimento propor um projeto de restauração do trecho.

Essa rodovia de jurisdição federal totaliza 4.426,7 km de extensão, ligando o município de Tenente Portela, no Rio Grande do Sul a Santarém, no Pará, passando por Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (SNV, 2015). Sua importância se deve por ser um corredor de escoamento de produção agrícola e mineralógica, além disso escoando produção industrial de algumas cidades e atuando como ligação entre dois países, Argentina e Brasil.

A Pesquisa CNT de Rodovias, avaliou uma extensão de 57 km da BR-163 em Santa Catarina, classificando-a no estado geral - pavimento, sinalização e geometria da via – como ruim (CNT, 2016). Segundo Albano (2005 apud TIZZOT, 2004), a condição precária dos pavimentos além de dobrar o tempo de percurso, eleva cerca de 45,0% o custo operacional do veículo.

Com isso, a relevância deste trabalho está no fato de aplicar os conceitos de engenharia rodoviária para a proposição de uma intervenção que proporcione ao pavimento as condições de operação exigíveis para que o usuário possa desfrutar de segurança, conforto, agilidade de transporte, economia e um impulso para o desenvolvimento socioeconômico da região.

A viabilidade deste trabalho está garantida uma vez que órgãos públicos responsáveis pela administração da rodovia, como Polícia Rodoviária Federal e DNIT-SC fornecerão apoio no que se refere à autorização para que sejam realizadas aferições em campo - como contagem volumétrica de tráfego e levantamento de defeitos pelo método Índice de Gravidade Global (IGG) – e a parceria DNIT – PROSUL S/A no fornecimento de dados de deflexões da pista através do equipamento FWD.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Pavimento é o nome dado ao conjunto de camadas, de espessuras finitas, construído sobre terraplanagem com funções técnico-econômicas de: resistir e distribuir os esforços verticais advindos do tráfego, resistir esforços horizontais causadores de desgaste e fornecer conforto e segurança ao rolamento (SENÇO, 2007). Além desses fatores, é importante que o pavimento sofra baixa influência climática e permita que o transporte seja realizado de forma eficaz, mais ágil e econômico possível (BERNUCCI et al., 2006).

Balbo (2007), coloca ainda que a pavimentação das vias visa a melhoria de tráfego com superfície mais regular; aderente e menos causadora de ruídos, reduzindo os custos operacionais de trânsito.

Gomes, Albernaz e Fernandes Júnior (2014), definem pavimento como um conjunto de camadas estratificadas que quando solicitados por cargas externas geram tensões em seu interior que refletem em deformações no seu exterior.

Em trecho da definição de pavimentação da Secretaria Municipal de Obras e Viação – SMOV (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2016) tem-se:

[...] aquela demandada no orçamento participativo, que inclui obras de: micro-drenagem (meios-fios, bocas-de-lobo e redes) e drenagem de estradas; pavimentação (terraplanagem e estrutura de pavimento que inclui base da rua e revestimento - concreto asfáltico ou bloco de concreto); substituição e/ou implantação de redes de água e de esgoto cloacal.

Isto posto, os pavimentos são classificados em rígidos ou flexíveis (SENÇO, 2007). Devido ao material de que é constituída a camada revestimento do pavimento, adotou-se recentemente designá-los, respectivamente, por pavimento de concreto de cimento Portland e pavimento asfáltico (BERNUCCI et al., 2006).

Os pavimentos rígidos são assim chamados por sua característica de baixa deformabilidade, quando submetidos a trações e flexões (SENÇO, 2007). Usualmente são compostos de uma placa de concreto, podendo ter sua

resistência à tração aprimorada pelo uso de armação com barras de aço (BERNUCCI et al., 2006).

Já os pavimentos flexíveis possuem na camada de revestimento uma mistura de base betuminosa e pétreia, com fundação estrutural composta por diversas camadas granulares e que não respondem muito bem aos esforços de tração (MARQUES, 2012).

Nos pavimentos flexíveis de concreto asfáltico tem-se a camada de rolamento, que entra diretamente em contato com os pneus dos veículos, e a camada de ligação, também chamada de *binder*; que liga a camada de rolamento a camada de base, que pode ser projetada com índice de vazios maior, utilizando menos ligante asfáltico e reduzindo custos (BERNUCCI et al., 2006).

As tensões e deformações oriundas do tráfego geram conseqüentemente o trincamento por fadiga da camada asfáltica, bem como as ações de temperatura e desgaste natural do pavimento levam, como explica Bernucci (2006), ao trincamento por envelhecimento do ligante asfáltico.

As camadas de revestimento descritas acima são assentes sobre demais camadas dimensionadas e compactadas para receber e transmitir os esforços, aliviando as pressões sobre as outras camadas (BALBO, 2007).

Afim de se obter o melhor desempenho de cada camada, no que envolve compactação, fluência das pressões, drenagem; adota-se geralmente uma diversidade de granulometrias e de materiais, formando então as camadas: base, sub-base, reforço de subleito e subleito.

### 2.1.1 Pavimentos Flexíveis

Como citado anteriormente, pavimentos flexíveis são aqueles constituídos por diversas camadas e em que, obrigatoriamente sua camada de revestimento é constituída por uma mistura de cimento asfáltico e agregados, com boa trabalhabilidade aos esforços de compressão.

A norma DNIT ES 031/2006 (DNIT, 2006) define como concreto asfáltico ou concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), a mistura executada, espalhada e compactada à quente (com temperatura ambiente superior a 10°C), com agregados graúdos como pedra britada; escória e seixos graduados, agregados miúdos como areia natural ou areia de britagem, material de

enchimento (*filler*) que pode ser cal extinta, cinza volante ou cimento Portland, e cimento asfáltico de petróleo (CAP). Opcionalmente, pode-se adicionar a essa mistura melhoradores de adesividade, resistência mecânica, trabalhabilidade e até mesmo fibras de aço ou poliméricas para conferir ao pavimento maior resistência à tração.

Pode também ocorrer misturas a frio (em temperatura ambiente), onde o ligante é a emulsão asfáltica de petróleo (EAP), combinada com agregados e materiais finos. É comumente utilizado em pavimentação de vias com baixo volume de tráfego, operações de manutenção ou como camada intermediária, abaixo do CBUQ (BERNUCCI et al., 2006).

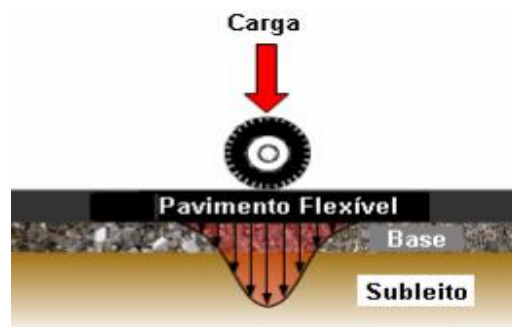
Bernucci et al. (2006), coloca que a execução do revestimento asfáltico pode ser executada de duas maneiras, por penetração ou por mistura. No primeiro caso, a execução ocorre de forma a aplicar uma ou mais camadas do ligante asfáltico, espalhar sobre ela os agregados e compactar essas camadas. Já no processo de revestimento por mistura, os agregados são misturados ao ligante asfáltico e posteriormente são colocados sobre a pista e compactados.

Segundo a mesma autora, cerca de 95% das estradas brasileiras são executadas de concreto asfáltico, isso se deve aos benefícios como baixo custo, facilidade de execução e cultura, impermeabilização; resistência à ácidos, álcalis e sais; flexibilidade de utilização (podendo ser emulsionado e aquecido sem perder suas características); além de proporcionar forte ligação entre os agregados.

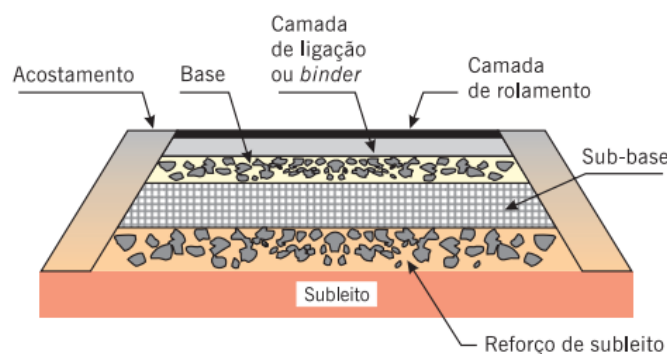
### 2.1.2 Camadas de um Pavimento Flexível

Marques (2014, apud DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES DA UFPR, 2009, p.1), comenta que os pavimentos flexíveis apresentam maior número de camadas para que as tensões oriundas do tráfego se dissipem e cheguem a uma menor seção no subleito, conforme Figura 1.

A ordenação dessas camadas de granulometria e compactação previamente definidas está representada pela Figura 2.



**Figura 1: Distribuição das cargas nas camadas de um pavimento flexível**  
**Fonte: Adaptado de Marques (2014).**



**Figura 2: Corte transversal de pavimento flexível típico**  
**Fonte: Bernucci (2006).**

#### 2.1.2.1 Revestimento

Também pode ser chamado de capa de rolamento. Essa camada superficial, em contato com o ar e diretamente com os pneumáticos é construída especialmente para resistir a esforços horizontais (SENÇO, 2007). Suas demais finalidades são de impermeabilizar o pavimento e evitar sua degradação e evitar a derrapagem dos veículos (SILVA, 2008).

Silva (2008), considera que para rodovias de tráfego pesado podem ser usados os seguintes revestimentos: o Concreto de Cimento Portland (CCP), o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) ou o, *Stone Mastique Asphalt* (SMA)\*, e para tráfego leve o Pré-Misturado a Quente (PMQ). As misturas a frio indicadas, geralmente para tráfegos de médio ou leve porte, são o Pré-Misturado a Frio (PMF) ou Tratamentos Superficiais Simples, Duplos ou Triplos (TSS, TSD, TST).

---

\* Desenvolvido na década de 1960 na Alemanha, a proposta dessa mistura asfáltica é a utilização de cerca de 70 a 80% de agregado graúdo, daí o nome traduzido para o português "Asfalto betuminoso de pedra".

#### 2.1.2.2 Base

É primeira camada abaixo do concreto asfáltico, construída para resistir e distribuir os esforços resultantes das cargas verticais aplicadas pelos veículos (SENÇO, 2007). Essa camada ainda é responsável pela drenagem de águas pluviais que infiltram no pavimento (MARQUES, 2014). É na camada de base onde ocorre a máxima tensão de cisalhamento, por isso é imprescindível uma compactação coerente com o dimensionamento e a aplicação de materiais de jazidas com boa procedência. Pode ser constituída de Brita Graduada Simples (BGS), Brita Graduada Tratada com Cimento (BGTC), Concreto Compactado à Rolo (CCR) ou macadames (SILVA, 2008).

#### 2.1.2.3 Sub-base

Segundo Marques (2014), é uma camada que corrige o leito natural já preparado e configurado por trabalhos de terraplanagem mas que ainda não possui condições estruturais para receber o pavimento. Também pode ser construída a camada de sub-base quando se deseja reduzir a espessura da camada de base, visto que esta é composta por materiais mais nobres, reduzindo o custo final do pavimento. Recomenda-se a utilização de materiais como BGTC, cascalho, macadames hidráulicos ou secos, ou adições de solo com cal ou cimento (SILVA, 2008).

#### 2.1.2.4 Reforço do subleito

Essa camada é destinada a melhorar as qualidades do subleito, aumentando sua capacidade de suporte com a utilização de materiais encontrados em jazidas próximas; além de uniformizar a espessura da sub-base, onde sua espessura pode variar longitudinalmente de acordo com o dimensionamento do pavimento e as cargas de projeto (MARQUES, 2012).

#### 2.1.2.5 Subleito

É a camada natural de fundação do pavimento (SENÇO, 2006).

Marques (2012), indica que essa camada deve ser avaliada até 1,50 m de profundidade, devido ao bulbo de tensões das cargas oriundas do tráfego. Ainda, faz recomendações a respeito do suporte do solo dessa camada. Se o Índice de



Suporte Califórnia (ISC) do subleito for menor que 2%, deve-se substituir totalmente por material de maior resistência. Caso o ISC compreenda valor entre 2% a 20%, substituir parcialmente o material até 1 m de profundidade, se o ISC for superior a 20% esse é um material adequado para utilização como subleito.

## 2.2 MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO

Para que as camadas do pavimento respondam de forma satisfatória às solicitações de tráfego e ao intemperismo, os materiais constituintes como agregados, material de enchimento e ligante asfáltico devem atender aos requisitos estabelecidos por Normas e Especificações aprovadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Porém, tem-se também como material de pavimentação o solo e, por mais que ele não seja constituinte das camadas previstas de um projeto de dimensionamento, atua como suporte da estrutura (SENÇO, 2006).

Com base na norma DNIT ES 031/2006 (DNIT, 2006), podem ser empregados como ligantes os cimento asfáltico CAP - 30/45, CAP – 50/70 ou o CAP – 85/100.

Os agregados comumente usados são pedra britada (em diferentes graduações, de acordo com a especificação de cada camada), seixo rolado ou escória (DNIT, 2006).

### 2.2.1 Agregados

Bernucci et al. (2006), relacionam o desempenho dos agregados às suas propriedades geológicas como: idade geológica, classificação da rocha, composição química e mineralógica, estrutura granular, grau de alteração, resistência à abrasão e a degradação química e adesividade.

Além dos indicadores técnicos de qualidade que devem ser atendidos, vale ressaltar a prescrição normativa de cunho ambiental. Cita a necessidade da licença ambiental, minimização de impactos ambientais no que se refere à extração e transporte dos materiais e criação de bacia de sedimentação no local

de britagem para acomodar material pulverulento em excesso no ambiente (DNIT, 2006).

#### 2.2.1.1 Agregado graúdo

Para agregados graúdos a norma DNIT ES 031/2006 (DNIT, 2006) solicita que se atenda os seguintes itens:

- Índice de abrasão Los Angeles igual ou inferior a 50%, determinado com base na norma DNER-ME 035 (DNER, 1998). Admite-se agregados com valores superiores caso tenham apresentado anteriormente desempenho satisfatório, adotando-se procedimentos descritos na norma DNER – ME 401 (DNER, 1999);
- Índice de forma superior a 0,5, especificado pela norma DNER – ME 086 (DNER, 1994), recomenda-se agregados com forma cúbica ou esférica (BALBO, 2007);
- Durabilidade, com perda inferior a 12%, determinado através da norma DNER – ME 089 (DNER, 1994).

#### 2.2.1.2 Agregado Miúdo

Para agregados miúdos, requer que suas partículas sejam resistentes, livres de material pulverulento, substâncias orgânicas aderidas ou ainda torrões de argila. Sua fração deve apresentar uma porcentagem equivalente de 55% de areia, conforme indica a norma DNER – ME 054 (DNER, 1997).

Quanto ao material de enchimento que, por suas dimensões também é classificado como agregado miúdo, a norma estabelece que seja material mineral inerte, como Cimento Portland; pó de pedra; cal extinta ou cinza volante (DNIT, 2006).

A norma DNER – EM 367 (DNER, 1997), estabelece que o material de enchimento (filler) tenha pelo menos 65% de sua massa passante na peneira de malha quadrada com abertura igual a 0,075 mm.

## 2.2.2 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O Asfalto é um produto de origem natural, presente em depósitos orgânicos; lagos ou rochas; ou derivado do petróleo, constituído de betume; que são substâncias químicas compostas por hidrocarbonetos não voláteis pesados, que são os responsáveis por conferir ao CAP suas propriedades desejadas em pavimentação (BALBO, 2007).

Quimicamente, Balbo (2007, p.111) define a composição do asfalto:

“[...] é composto por hidrocarbonetos alifáticos e hidrocarbonetos aromáticos, além de enxofre e pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio; desempenham grande importância no material as frações de asfaltenos (moléculas que não se dissolvem na presença de heptano ou éter) e de maltenos. Os asfaltenos constituem parte sólida do produto que lhe concede rigidez, além da coloração típica; os maltenos constituem parte oleosa e chamada de veículo, conferindo as propriedades plásticas e de viscosidade do produto”.

Proveniente da destilação do petróleo, o CAP tem propriedades excelentes para uso em pavimentação, como boa adesividade, impermeabilidade e baixa reatividade em contato com materiais químicos, o que não exclui a possibilidade de oxidação a longo prazo, em contato com água e ar. Ainda, o envelhecimento do ligante asfáltico é fortemente influenciado pelo aumento da temperatura e o tempo de exposição à essa temperatura, além da espessura da película de ligante que envolve os grãos; quanto mais fina, mais eficaz o contato das suas partículas com a atmosfera (BERNUCCI et al., 2006).

Balbo (2007), cita ainda como fatores que influenciam na oxidação do CAP, a radiação solar, exposição aos sulfatos, ácidos, combustíveis, graxa e lubrificantes.

Outra consideração é sobre a composição química do CAP, onde estudos apontam que teores de asfaltenos acima de 30% causam perda de elasticidade, tornando o revestimento mais frágil e fissurando com mais facilidade, já se a porcentagem for inferior a 20%, nota-se maior suscetibilidade às mudanças de temperatura, resultando em deformações plásticas nas trilhas de roda. No caso dos maltenos, quando estes sofrem a ação de forças externas respondem alterando sua composição química transformando-se em substâncias mais rígidas, e conseqüentemente mais frágeis e quebradiços; essa última situação pode ser notada em pavimentos ao final de sua vida de serviço (BALBO, 2007).

Bernucci et al. (2006), trazem o comportamento termoviscoelástico do CAP, característica mecânica que tem influência da velocidade, tempo e intensidade de carregamento, além da temperatura a que está submetido; visto que é um material semi-sólido em temperaturas amenas, visco-elástico em temperatura ambiente e líquido em elevadas temperaturas.

Os CAPs podem ser classificados conforme suas diversas características citadas acima, porém a mais difundida é através da sua viscosidade e consistência, onde se executa o ensaio de penetração de uma agulha padrão.

## 2.3 DOSAGEM DO CONCRETO ASFÁLTICO

Dosar um concreto asfáltico; seja ele a quente ou a frio, e suas variações; significa determinar um teor ótimo ou de projeto (%) de ligante para uma faixa granulométrica pré-estabelecida, em função da via onde este será aplicado. O teor de ligante é função da energia de compactação, temperatura, tipo de mistura que o método de dosagem requer (BERNUCCI et al., 2006).

A metodologia adotada para dosagem no Brasil é a desenvolvida por Bruce Marshall, que realiza a compactação através do impacto sobre o corpo-de-prova. As normas brasileiras que regem esse método são a DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall (DNER, 1995) e DNIT 031/06 – ES: Pavimentos flexíveis – Concreto Asfáltico (DNIT, 2006).

Pesquisas bibliográficas apontaram que o valor da massa específica da mistura compactada, para faixa C, varia entre 2,35 a 2,40 g/cm<sup>3</sup>; a utilização desse valor será fundamental nessa pesquisa para o cálculo do custo da camada de revestimento.

## 2.4 ESTUDO DE TRÁFEGO

O objetivo de estudar o tráfego é coletar dados relativos aos elementos fundamentais que o compõe, como motorista; pedestre; veículo; via e meio ambiente e o modo como se comportam no presente e se relacionam e estimar seu comportamento futuro para melhor atendê-los. Esse levantamento visa fazer

um Estudo de Viabilidade, para o caso de implantação de novas vias pavimentadas; Estudo de Capacidade, para verificação das características projetadas com o nível de serviço e visando ampliação da rede; determinação do número equivalente “N”\*, para fins de dimensionamento do pavimento (BRASIL, 2006).

Essa coleta de dados compreende valores numéricos de quantidade de veículos e vias, seus percursos preferidos, velocidade desenvolvida, locais com maior incidência de acidentes, dentre outros. Em outras palavras, “o volume, a velocidade e a densidade são três características fundamentais dos aspectos dinâmicos do tráfego” (BRASIL, 2006, p. 63).

Volume de tráfego são dados correspondentes a quantidade de veículos que trafegam em uma via em um determinado tempo, podendo ser horário, diário, mensal ou anual.

O Volume Médio Diário (VMD) de veículos de circulam por uma via em um ou ambos os sentidos e faixas de rolamento, corresponde ao período de 24 horas, durante um ano. É um número representativo para a utilização da via, além de levantar indicadores para adequações e investimentos e calcular receita de postos de pedágios.

Nesses levantamentos de dados em campo, costuma-se adotar dois métodos, entrevistas ou observação direta. Dentro do método de observação direta, tem-se as Contagens Volumétricas, que tem por objetivo levantar a quantidade, a composição dos veículos que do tráfego e o sentido para o qual percorrem (BRASIL, 2006).

As contagens volumétricas podem ser realizadas manualmente; através de fichas de cadastro, com contadores mecânicos acoplados a pranchetas ou contadores eletrônicos que registram em sua memória os dados ou ainda pelo método do observador móvel; ou por métodos automáticos através de tubos pneumáticos, dispositivos magnéticos, sonoros, radar. É recomendado que esses levantamentos sejam realizados entre as interseções dos trechos e nas interseções, para que possa contabilizar amplamente a origem dos veículos,

---

\* Número equivalente de repetições do Eixo Padrão de 8,2 toneladas, durante o período de projeto (BRASIL, 2006).

prever futuras canalizações, locais propícios de acidentes e outros (BRASIL, 2006).

## 2.5 CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA DA RODOVIA

### 2.5.1 Veículo de Projeto

Segundo o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (BRASIL, 2006), é necessário avaliar todos os tipos de veículos que compõe a frota de um país, agrupando-os em classes conforme a quantidade, tamanho e capacidade.

Os veículos de projeto surgiram com o intuito de facilitar este processo, devido à grande variedade de veículos existentes. Os veículos de projeto então, são veículos representativos padronizados quanto ao peso, dimensões e operacionalidade. Assim, ao se elaborar projetos geométricos e dimensionamentos de rodovias, as demandas calculadas são em função dos veículos de projeto (BRASIL, 2006).

Conforme o Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006), os principais veículos em circulação e suas medidas estão descritos na Figura 3, abaixo. Quanto ao peso e capacidade; as classificações são mais abrangentes, pelo fato da diversidade de eixos de caminhões, capacidades de carga diferentes, quantidade de rebocadores, articulações, além dos veículos leves de passeio ou comerciais e motocicletas; essas especificações podem ser encontradas no Manual oferecido pelo DNIT.

Designação do veículo tipo Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

**Figura 3: Principais dimensões básicas dos Veículos de Projeto**  
Fonte: IPR; DNIT (2006)

### 2.5.2 Velocidade Diretriz

Sem dúvidas, a velocidade é o fator mais variável do contexto rodoviário. Envolve comando humano, potência e peso do veículo, condições ambientais e culturais, e condições da superfície. O IPR (BRASIL, 2006), define velocidade como a relação entre o espaço percorrido e o tempo necessário para percorrê-lo.

Para fins de dimensionamento de projeto, utiliza-se valores de velocidade mínimos oriundos das características físicas operacionais, como citadas acima. Essa velocidade é então definida como Velocidade Diretriz (VD), na qual o usuário pode operar seu veículo com segurança, dentro das limitações geométricas impostas pela via (BRASIL, 2006).

## 2.6 PATOLOGIAS DE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL

Conceber uma obra de pavimentação envolve a união dos fatores carregamento, capacidade de suporte do solo, ações climáticas e geometria suave; aliados a economia e durabilidade (BERNUCCI et al., 2006). Quando, no dimensionamento ou no serviço de uma rodovia, um desses fatores passa a contribuir mais do que o planejado podem ocorrer patologias no revestimento asfáltico.

Também, aliados a essas ações externas atuantes sobre os pavimentos, falhas na execução e à falta de manutenções preventivas e corretivas tem-se outros tipos de patologias; onde cada uma dessas ações provocam alterações específicas sobre as propriedades de cada um dos materiais constituintes, estudados anteriormente. Essas alterações funcionam como uma degradação em série, aumentando o grau de severidade e número de ocorrência, onde uma patologia origina outra com o decorrer do tempo (MAIA, 2012).

É consenso entre especialistas no setor de pavimentação que deve-se elencar *in situ* os defeitos superficiais e suas prováveis causas e relação com

“as condições geométricas, dos taludes e de drenagem; levantamento de dados climáticos, de tráfego, de mapas geológicos, pedológicos ou geotécnicos; levantamento de memórias técnicas e de relatórios de projeto e de controle; e estabelecimento de um cenário global dos defeitos e sua relação com todos os dados observados e levantados” (BERNUCCI et al., 2006, p. 415).

Para guiar os profissionais no levantamento dos defeitos de superfície dos pavimentos, tem-se a norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos (DNIT, 2003), fornecendo definições acerca dos termos utilizados para definir cada tipo de defeito e sua caracterização, como descreve-se a seguir.

### 2.6.1 Fenda

Descontinuidade na superfície do pavimento que conduz a aberturas de maior ou menor porte, sob diversas formas, subdividindo-se em fissuras ou trincas.

#### 2.6.1.1 Fissuras

São fendas de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m; portanto ainda não causam problemas funcionais no revestimento.

#### 2.6.1.2 Trincas

Fenda facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior a da fissura. Quanto à severidade, as trincas classificam-se em TR – 1, quando sua abertura for inferior a 1,00mm; em TR – 2, quando sua abertura for superior a 1,00mm e sem erosão nas bordas; e em TR – 3, caso em que sua abertura for superior a 1,00mm e apresenta erosão nas bordas.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006), indica que as trincas podem ocorrer por fadiga devido às cargas, envelhecimento dos materiais e da estrutura como um todo, por retração térmica ou por reflexão de uma trinca em uma camada inferior até a camada de superfície.

As trincas podem apresentar-se de forma isolada ou interligada.

a) Trinca isolada transversal: sua direção predominante é ortogonal ao eixo da via, sendo denominada curta quando sua extensão é de até 100cm, e denominada longa quando supera 100cm de extensão.

b) Trinca isolada longitudinal: Apresenta direção paralela ao eixo da via, da mesma forma é chamada de curta ao apresentar extensão até 100 cm e de longa quando apresentar extensão superior a 100cm.



c) Trinca isolada de retração: Ocorre devido à variações de temperatura do material de revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida subjacentes ao revestimento trincado.

d) Trinca interligada tipo “couro de jacaré”: Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao couro de um jacaré, podendo apresentar ou não erosão acentuada nas bordas.

e) Trincas interligadas em bloco: Caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo ou não apresentar erosão acentuada nas bordas.

Dessa forma, a Norma resume os defeitos, sua classificação e codificação conforme a Figura 4, abaixo.

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	“Jacaré”	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	“Bloco”	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-		FC-3

**Figura 4: Quadro resumo – Fendas**  
**Fonte: Adaptado da Norma DNIT 005/2003 (DNIT,2003).**

## 2.6.2 Afundamento

É uma deformação permanente, sendo esta uma depressão na superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento. Pode apresentar-se na forma de afundamento plástico ou consolidação.

### 2.6.2.1 Afundamento plástico

Causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Em extensões de até 6m, é denominado afundamento plástico local; em casos que a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento plástico de trilha de roda.

Silva (2008), ainda traz uma correlação entre a velocidade desenvolvida pelo veículo de projeto e o risco de aquaplanagem, conforme a flecha dos afundamentos das trilhas. Ele coloca que, para velocidade igual a 120 km/h a flecha crítica é de 12mm; e para velocidade igual a 80 km/h a flecha crítica é de 15 mm.

#### 2.6.2.2 Afundamento de consolidação

Causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem ocorrer solevamento. Em extensões de até 6m denomina-se afundamento de consolidação local; em casos de extensão superior a 6m e em que esteja localizado ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento de consolidação da trilha de roda.

#### 2.6.3 Ondulação ou Corrugação

Defeito caracterizado por apresentar ondulações transversais na superfície do pavimento. De acordo com Silva (2008), podem ocorrer devido às falhas na execução das camadas de base, baixa resistência da massa asfáltica ou excesso de finos que, submetidos à tensões cisalhantes de aceleração ou frenagem dos veículos acabam se ondulando.

#### 2.6.4 Escorregamento

Nesse caso ocorre o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente, com aparecimento de fendas em formato de meia-lua.

#### 2.6.5 Exsudação

Ocorre quando há excesso de ligante asfáltico na superfície do pavimento.

#### 2.6.6 Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego e caracterizado pela aspereza da superfície.

#### 2.6.7 Panela ou Buraco

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas, inclusive por falta de aderência entre as camadas causando o deslocamento, podendo até alcançar as camadas mais profundas.

#### 2.6.8 Remendo

Nesse caso preenche-se a panela com camadas de pavimento, operação comumente chamada de “tapa-buraco”.

### 2.6.8.1 Remendo profundo

Há a substituição do revestimento e eventualmente de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular.

### 2.6.8.2 Remendo superficial

Correção local da superfície do revestimento com a aplicação de uma camada betuminosa.

A classificação e terminologia dos defeitos como afundamento, ondulação, escorregamento, exsudação, desgaste superficial, panela e remendos está resumida na Figura 5, abaixo.

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

**Figura 5: Quadro resumo – Afundamento, Ondulação, Escorregamento, Exsudação, Desgaste, Painelas e Remendos**

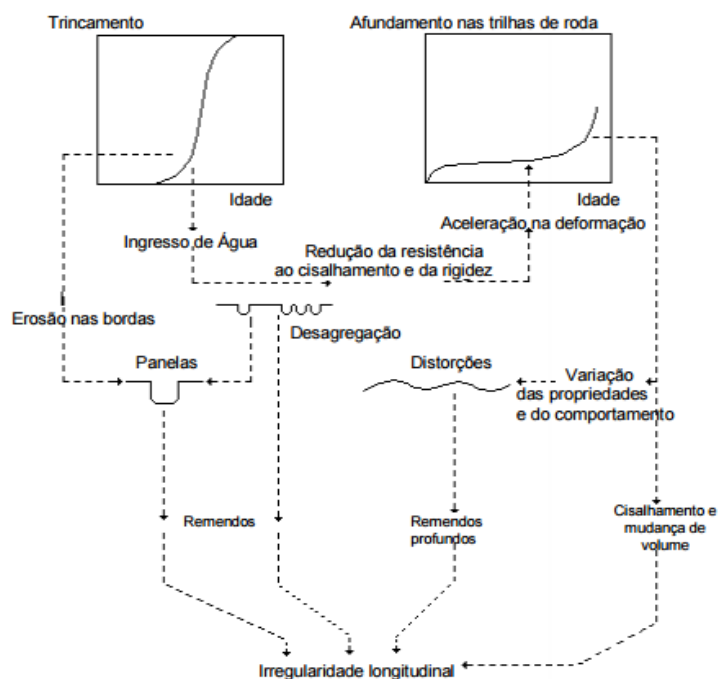
**Fonte: Adaptado da Norma DNIT 005/2003 (DNIT,2003).**

Finalmente, cabe avaliar a interação entre os defeitos e sua progressão ao longo do tempo. Como visto anteriormente, ação de águas pluviais e o intemperismo causam o envelhecimento do ligante asfáltico, tornando a camada de revestimento frágil, originando, com a ação das cargas de tráfego as primeiras trincas; permitindo assim a entrada de água e outros materiais indesejados no pavimento, como sulfatos, óleos e combustíveis. A progressão desse trincamento acarretará em desintegração das bordas, descolamento das placas do pavimento e consequente abertura de painelas (BRASIL, 2006).

Como se observa na Figura 6 abaixo, a irregularidade longitudinal do pavimento é um somatório de todos os defeitos que nela ocorrem, aliados as

ações do tráfego, mudanças de temperatura, ação de água e bombeamento de finos que ocorrem durante a sua vida de serviço (BRASIL, 2006).

Sendo assim, os defeitos apresentados acima são de fundamental influência para as análises de qualidade da superfície do pavimento aplicando-se o método do Índice de Gravidade Global (IGG), que será descrito a seguir.



**Figura 6: Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas**  
**Fonte: Brasil (2006).**

## 2.7 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Fernandes Jr., Oda e Zerbini (2006), colocam a detecção das patologias em estágios iniciais como sendo uma atividade primordial para uma boa manutenção do pavimento. Ou seja, se estas não forem percebidas e tratadas a tempo, podem evoluir e atingir camadas mais profundas e difíceis de trabalhar.

Henrique (2013 apud. SHAHIN, 1994), coloca que a avaliação do pavimento engloba coleta de dados, informações e parâmetros; fazendo um diagnóstico das patologias e fornecendo subsídios para que os engenheiros

adotem uma intervenção de manutenção que atenda às necessidades atuais e futuras da via.

Para monitorar a condição da via no decorrer do tempo existem métodos de avaliação superficial (funcional) e estrutural, como descreve-se a seguir.

## 2.7.1 Métodos de Avaliação de Superfície

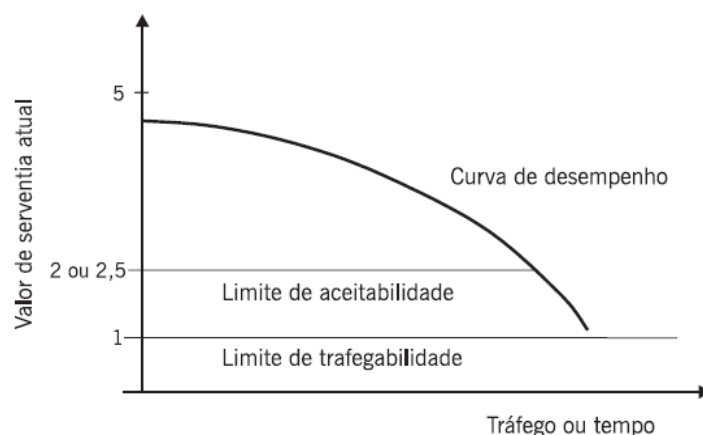
### 2.7.1.1 Método Subjetivo

Avalia o pavimento conforme seu grau de serventia.

#### 2.7.1.1.1 Valor de Serventia Atual (VSA)

Para analisar qual o grau de satisfação dos usuários da via e qual a necessidade de intervenção de manutenções corretivas no pavimento, avalia-se a Serventia. Para Gonçalves (1999), serventia é o nível com que o pavimento atende aos requisitos mínimos de conforto e segurança, percorrido por um veículo em sua velocidade operacional em um determinado ano da vida útil, em quaisquer condições de tráfego. O valor de serventia representa uma média, variando em uma escala de 0 (para pavimentos de péssimo conforto) até 5 (pavimentos de excelente conforto), onde os usuários respondem a questionários o seu grau de satisfação.

Esse método, inicialmente desenvolvido pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e denominado *Present Serviceability Rating* (PSR); é regulamentado pela norma brasileira DNIT 009/2003-PRO (DNIT, 2003), determinando o Valor de Serventia Atual (VSA).



**Figura 7: Variação da Serventia com o tráfego ou com o tempo decorrido de utilização da via**

**Fonte: Bernucci et al. (2006)**

Sobre a Figura 7 acima, a AASHTO recomenda o limite de aceitabilidade igual a 2,5 para rodovias de alto volume de tráfego e 2,0 para as de médio ou baixo volume de tráfego (BERNUCCI et al., 2006).

Exemplificando, se um pavimento de uma rodovia de médio volume de tráfego atingiu VSA igual a 2,0, ele ainda é aceitável para uso mesmo possuindo patologias que afetem o conforto ao rolamento e a segurança; porém esse pavimento só será trafegável até que seu VSA seja igual 1, abaixo desse valor torna-se praticamente impossível dirigir pela via com segurança aos usuários quanto para o veículo.

No que se refere a trabalhos de manutenção, atividades que visam manter e/ou restabelecer as condições estruturais e funcionais da via, recomenda-se para VSA entre 5 e o grau de aceitabilidade, deve-se realizar manutenções preventivas, de modo a manter o nível de serviço da via. Quando o VSA atingir o grau de aceitabilidade deve-se realizar uma manutenção corretiva e para VSA igual ou menor que 1, a solução recomendada é a reconstrução total ou parcial das camadas do pavimento (BERNUCCI et al., 2006).

#### 2.7.1.2 Método Objetivo

##### 2.7.1.2.1 Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI)

Fernandes Jr., Oda e Zerbini (2006, p. 11), definem irregularidade longitudinal como sendo o “desvio de pontos da superfície do pavimento em relação a um plano de referência e medida ao longo da trajetória dos veículos”. Que, consequentemente afeta a serventia o pavimento.

O IRI pode ser considerada a grandeza física de maior representatividade para o custo operacional dos veículos, conforto e segurança ao rolamento, velocidade e tempo de percurso (BRASIL, 2006).

Os equipamentos utilizados para medição da IRI são os perfilômetros, por exemplo o perfilômetro Chloe, recomendado pela AASHTO; perfilômetro inercial a laser; perfilógrafos; acelerômetros em veículos ou medidores integradores tipo resposta (FERNANDES JR.; ODA; ZERBINI, 2006).

#### 2.7.1.2.2 Índice de Condição do Pavimento (PCI)

O método do PCI – *Pavement Condition Index* – conhecido no Brasil por Índice de Condição do Pavimento foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América em 1979, com objetivo inicial de uso para pavimentos aeroportuários (HENRIQUE, 2013).

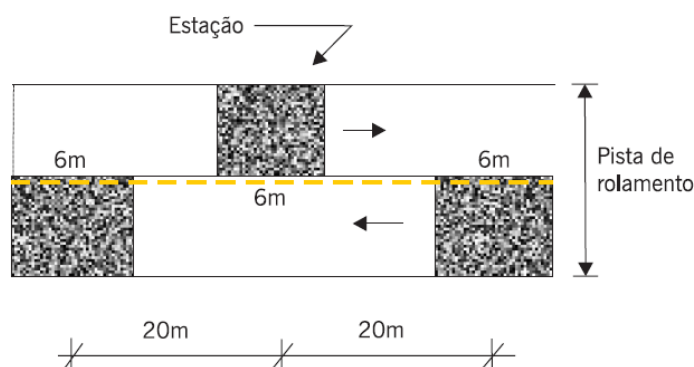
Gonçalves (1999), indica a utilização desse método para pavimentos de concreto cimento e para caracterização de defeitos nos pavimentos em geral.

#### 2.7.1.2.3 Índice de Gravidade Global (IGG)

Esse método de avaliação é derivado do método canadense *Servity Index*, e adaptado aos pavimentos brasileiros, regulamentado pela norma DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento (BRASIL, 2006).

Esse levantamento é realizado *in situ* de forma amostral prefixada pelo DNIT, onde as estações de avaliação em rodovias de pista simples devem localizar-se a cada 20 m, alternados em relação ao eixo da pista de rolamento, ou seja, a uma distância de 40 m em cada faixa. Nas rodovias de pista dupla, devem se localizar a cada 20 m, estando na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista (DNIT, 2003).

As superfícies de avaliação correspondem então a demarcação de 3 m a vante e 3 m a ré de cada uma das estacas demarcadas anteriormente, onde a área total de avaliação terá extensão de 6m e largura da faixa de rolamento (BERNUCCI et al., 2006). A Figura 8 abaixo esclarece como realizar a demarcação da pista para levantamento dos defeitos através do método IGG.



**Figura 8: Exemplo de demarcação da pista para levantamento IGG**  
**Fonte: Bernucci et al. (2006).**

Em cada uma das áreas demarcadas, o avaliador deverá apontar em tabelas especiais (Anexos 2 e 3), a ocorrência dos defeitos, somados à flecha das trilhas de roda interna e externa (medidas com auxílio de treliça metálica de base 1,20 m, dotada de régua móvel centralizada e graduada em mm), e suas respectivas frequências absoluta e relativa.

Após, deve-se calcular o Índice de Gravidade Individual (IGI), dado pela multiplicação da frequência relativa do defeito e um fator de ponderação que varia para cada tipo de defeito, prescrito pela Tabela 1 da norma DNIT 006/2003 – PRO. Finalmente, o IGG será o somatório do IGI.

A norma então classifica a qualidade do pavimento em função do IGG obtido conforme Tabela 1, abaixo. Vale ressaltar que a classificação através do método IGG é um critério complementar para avaliação funcional de pavimentos, não eliminando a necessidade de análises estruturais em pavimentos para diagnósticos e prescrições de intervenções (BERNUCCI et al., 2006).

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

**Tabela 1: Conceito de qualidade do pavimento em função do IGG**  
**Fonte: DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003).**

### 2.7.2 Métodos de Avaliação da Estrutura

Relaciona-se à capacidade de suporte do pavimento, função do efeito do tráfego sobre a via, onde avalia-se a resistência propriamente dita e o módulo de elasticidade das camadas por meio de ensaios destrutivos ou por meio de técnicas tipo solicitação-resposta (HENRIQUE, 2013).

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006), coloca como indicativo de comprometimento estrutural do pavimento ocorrência de trincamento por fadiga em mais de 20% da área e flechas nas trilhas de roda superiores a 1,2 cm. Acima desses valores, deve-se estudar a implementação de uma camada de reforço.



#### 2.7.2.1 Método Destrutivo

Consiste na abertura de trincheiras ou poços de sondagem permitindo colher amostras (indeformadas ou não) das diversas camadas para realização de ensaios laboratoriais (HENRIQUE, 2013).

Os ensaios comumente realizados são determinação do CBR, limites de Atterberg\*, teor de umidade, espessura e uniformidade das camadas, tipo de material, granulometria, permeabilidade, teor de asfalto, intrusão do material de subleito nas camadas superiores, módulo resiliente, resistência à tração e compressão, comportamento à fadiga e deformações sob cargas cíclicas (BRASIL, 2006).

As desvantagens desse método são inúmeras, o que justificam sua baixa utilização, como por exemplo a extração de material originando um “defeito” na pista; interrupção do tráfego por tempo significativo; custo elevado e mão de obra especializada para realização de ensaios e interpretação de resultados, que representa apenas pontos específicos da via. Dessa forma, indica-se sua aplicação para auxílio na adequação estrutural (BRASIL, 2006).

Porém, apesar das desvantagens citadas, este é o método que melhor irá revelar a situação estrutural do pavimento, por coletar as amostras e verificar suas características em laboratório.

#### 2.7.2.2 Método Semidestrutivo

De acordo com Bernucci et al (2006), esse método consiste em aberturas menores no pavimento, com utilização de equipamento de aferição estrutural portátil, como o Cone Dinâmico de Penetração (DCP).

#### 2.7.2.3 Métodos Não Destrutivos

A deflexão de um pavimento pode ser definida como a sua resposta à aplicação de uma carga pontual ou distribuída. Essa deflexão, também chamada de flecha, se dissipará entre as camadas do pavimento, diminuindo com a profundidade e a distância do ponto de aplicação (BRASIL, 2006).

---

\* Limites de consistência do solo, determinados pelos índices de Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Limite de Contração (LC).

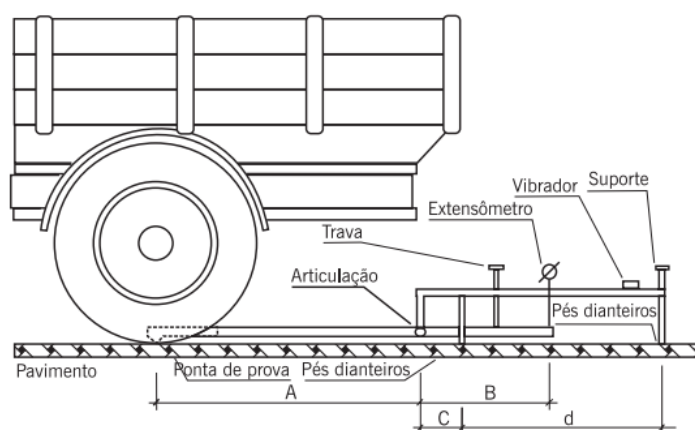
Dessa forma surgem os equipamentos para avaliação estrutural não destrutivos, avaliando a deflexão recuperável máxima do revestimento ao se aplicar determinada carga. Os equipamentos mais utilizados são as vigas de deflexão, como a Viga *Benkelman* e Defletógrafo *La Croix*; equipamentos dinâmicos de vibração, como o *Dynaflect*; e os dinâmicos de impacto, representado pelo *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Ambos equipamentos permitem aferir a deflexão máxima, o raio de curvatura e a bacia de deformação correspondente a carga aplicada.

#### 2.7.2.3.1 Viga Belkelman

A viga Benkelman foi desenvolvida por volta de 1950 na Califórnia, chegando ao Brasil em 1962 (BERNUCCI et al., 2006 apud CARNEIRO, 1965). As normas regulamentadoras são a DNER-ME 24/94 – Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman; DNER-PRO 175/94 – Aferição de viga Benkelman e DNER-ME 061/94 – Pavimento – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman.

A viga apoia-se sobre três pés, um traseiro e dois dianteiros; e é constituída por um braço de prova rotulado na parte frontal. A ponta do braço de prova é a que toca o pavimento nos pontos de ensaio e na outra extremidade tem acoplado um extensômetro, conforme a Figura 9 abaixo.



**Figura 9: Posicionamento da viga Benkelman**  
**Fonte: Bernucci (et al., 2006).**

Para realização do ensaio necessita-se de um caminhão de eixo traseiro simples de roda dupla e carregado com 8,2 toneladas para a aplicação da carga.

A ponta de prova da viga Benkelman deverá ser colocada no eixo traseiro direito entre os pneus do caminhão. Aqui se faz a leitura inicial no extensômetro, chamada  $L_0$ . O caminhão deverá se deslocar cerca de 5 m a 10 m em baixa velocidade e quando recuperar sua condição original, se faz a segunda leitura,  $L_f$  (BRASIL, 2006).

Esse procedimento deverá ser realizado para o trecho em estudo, sendo a deflexão resultado da diferença entre as leituras no extensômetro e multiplicada por uma constante da viga; dada pela relação entre a maior e a menor parte do braço de prova (BRASIL, 2006).

A Figura 10, abaixo é um exemplo da viga acoplada no caminhão em ensaios em campo.



**Figura 10: Medições com viga Benkelman em campo**  
**Fonte: adaptado de Bernucci (et al., 2006).**

#### 2.7.2.3.2 *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

O FWD é um dos equipamentos para medição de deflexão mais atuais no mercado, foi desenvolvido na década de 1980 e começou a ser utilizado no Brasil em 1994 (BERNUCCI et al., 2006 apud DNER, 1998); e, além das deflexões o equipamento fornece ainda dados como raio de curvatura e bacia de deflexões do pavimento. O método de execução é prescrito pelas normas DNER-PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo FWD (DNER, 1996), e ASTM-D 4695.

Seu sistema de funcionamento consiste no “impacto de um peso suspenso a determinada altura, que cai sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento no ponto de leitura da deflexão máxima” (BERNUCCI et al., 2006, p.448).

O equipamento é automatizado, sendo rebocado por veículo utilitário que carrega o sistema de dados ligados a um computador, conectado aos sensores instalados na parte rebocada (deflectômetro), conforme Figura 11, abaixo.

Suas principais vantagens estão no fato da precisão das leituras (não influenciado pelo operador), simulação de tráfego real (devido a aplicação de cargas dinâmicas) e maior produtividade (BRASIL, 2006). Porém, suas desvantagens estão relacionadas ao custo e a dificuldade de calibração do equipamento, que ainda não há empresas especializadas no Brasil (BERNUCCI et al., 2006).



**Figura 11: Vista geral do FWD Dynatest e detalhe do prato de aplicação de carga e barra de sensores**

**Fonte: Bernucci (et al., 2006).**

De acordo com Bernucci (et al., 2006), a ordem de grandeza das deflexões medidas com FWD são influenciadas pelas características estruturais do pavimento, tipo de revestimento, nível de defeitos e condições climáticas; apresentando valores na faixa de 30 a 50 ( $\times 10^{-2}$ mm) em pavimentos com revestimento de concreto asfáltico e base granular de boa resistência, e em torno de 80( $\times 10^{-2}$ mm) para pavimentos com apenas tratamento superficial.

A norma vigente no Brasil para dimensionamento de recuperação de rodovias, a DNER 011/79: Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis (DNER, 1979), solicita que as medidas de deflexão do pavimento sejam realizadas com a Viga Benkelman ou outro equipamento normalizado pelo DNER/DNIT desde que se apliquem correlações para transformar a deflexão obtida pelo equipamento (nesse caso o FWD) em deflexões de Viga Benkelman (DNER, 1979).

Existem diversas correlações propostas por Engenheiros da área, variando o local de ensaio e também aprimorando os coeficientes e ajustes. Neste trabalho será utilizada a correlação proposta por Fabrício (2013) e recomendada pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006), conforme Equação 1 e 2, respectivamente apresentadas a seguir.

- i) Para deflexão FWD característica menor ou igual a  $85 \times 10^{-2} \text{mm}$ :

$$D_{VB} = 20,645(D_{FWD} - 19)^{0,351} \quad \text{Equação 1}$$

- ii) Para deflexão FWD característica maior que  $85 \times 10^{-2} \text{mm}$ :

$$D_{VB} = 8,964(D_{FWD} - 60)^{0,715} \quad \text{Equação 2}$$

## 2.8 Atividades Preliminares

Com o objetivo de preparar o pavimento existente para receber a camada de reforço, prevenir a propagação do trincamento existente e reparar parte dos defeitos apresentados pode-se optar pela execução de algumas das seguintes atividades (BRASIL, 2006):

- Limpeza da pista;
- Pintura de ligação;
- Selagem das trincas;
- Aplicação de lama asfáltica;
- Remendos superficiais ou profundos;
- Reperfilagem: processo onde se aquece o revestimento escarificando-o, para adquirir forma regular, ou também atividade de tapa-buraco com o objetivo de nivelar a pista;
- Fresagem a frio: ocorre o corte e a retirada de uma ou mais camadas do pavimento danificado;
- Obras de arte para melhoria da drenagem, etc.

### 3 METODOLOGIA

Para a elaboração deste trabalho de conclusão de curso, foi necessário estabelecer um roteiro para desenvolvimento das atividades.

No primeiro momento, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, conceituando pavimentação e suas principais influências; posteriormente a análise dos projetos antigos, e valores de deflexões do pavimento coletados por empresas do setor, como a Prosul S/A e o DNIT, tratando-se de uma pesquisa documental; sendo assim pode ser caracterizada como pesquisa exploratória, de acordo com Gil (2002).

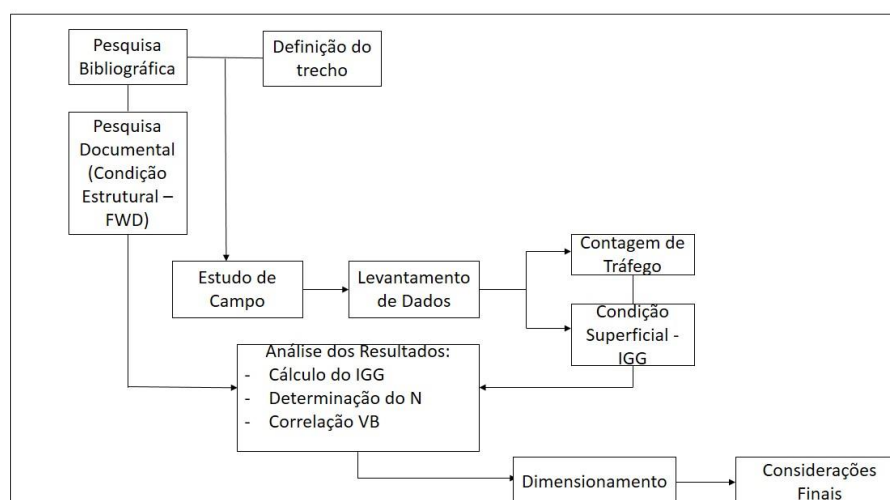
Conforme o mesmo autor, uma pesquisa de caráter descritivo expõe as características marcantes de uma população ou fenômeno. Por isso, essa pesquisa também pode ser definida como descritiva, uma vez que relata as condições atuais do pavimento e do tráfego da rodovia BR-163 no trecho entre São Miguel do Oeste – SC e Dionísio Cerqueira – SC. Gil (2002), coloca ainda que nesse tipo de pesquisa há uma correlação entre as variáveis, o que é fato neste trabalho, já que no estudo dos defeitos será apontado sua relação com possíveis causas oriundas do tráfego, estruturas de base ou ações climáticas.

Outra característica marcante da pesquisas descritiva é a padronização da coleta de dados, realizadas aqui de forma sistemática indicadas pela norma DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (DNIT, 2003), para avaliação do IGG do pavimento; e pelo Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006, p. 104) conforme tabelas nos Anexos 1, 2 e 3.

Em resumo, essa pesquisa trata-se de um estudo de caso, onde, de acordo com Gil (2002), trata-se de um estudo aprofundado e detalhado de um ou poucos objetos ou fenômenos.

O objeto de estudo deste trabalho trata-se de um trecho da rodovia BR-163, compreendido entre os municípios de São Miguel do Oeste – SC, do Km 84 + 120 e Dionísio Cerqueira – SC, até o Km 125 + 080; onde se intersecciona com a BR-280 na divisa com o estado do Paraná. O trecho avaliado situa-se na região extremo oeste catarinense, podendo ser melhor compreendido na Figura 12 abaixo (SNV, 2015).

Para resumir as etapas de desenvolvimento deste trabalho apresenta-se um diagrama na Figura 13.



### 3.1 Pesquisa de Tráfego

Para realizar o levantamento do volume de tráfego, o procedimento de coleta de dados será por meio de observação direta, onde o trânsito na rodovia não será perturbado. O modelo de contagem adotado será classificatório, onde



o volume será registrado para várias classes de veículos, em ambos os sentidos da via (BRASIL, 2006).

O Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006), recomenda que os postos de contagens de tráfego se localizem nas interseções e em pontos entre as interseções. Dessa forma, adotou-se como postos de contagens nesta pesquisa de tráfego:

- a) Sede da Polícia Rodoviária Federal, localizado no trecho entre os municípios de São Miguel do Oeste-SC e Guaraciaba-SC;
- b) Trevo do município de São José do Cedro-SC, caracterizando uma interseção, que pode desviar o tráfego para o município, canalizar o tráfego na BR-163 ou direcionar o tráfego para o município de Princesa-SC.

Estes postos foram selecionados por fins didáticos, atendendo principalmente ao quesito de segurança para a estadia.

Para fins de projeto de dimensionamento, o dado a ser utilizado é o VMD, média dos volumes dos 365 dias do ano, durante 24 horas. A contagem será manual, feita pela autora do trabalho. Para projetos de reabilitação de rodovias, o recomendado é que sejam feitas contagens manuais classificatórias durante 7 dias, por 24 horas.

Para a realização do trabalho as contagens serão realizadas as 7h as 19h, durante 3 dias na semana em cada posto. Será realizada uma expansão horária para se determinar o volume durante 24 horas, feita conforme indicação do Manual e multiplicados para chegar ao VMD (BRASIL, 2006, p.199). Os dias adotados são Segunda-feira, Quinta-feira e Sexta-feira.

Finalmente, a determinação das solicitações oriundas do tráfego será através da determinação do número de passagens do eixo padrão “N” equivalente a 8,2 tf, durante o período de projeto para 10 anos (BRASIL, 2006).

Sendo assim, o procedimento de cálculo está explícito a seguir pelas equações, e resumido na Tabela 2.

$$N = \sum_{a=1}^{a=p} Na$$

Onde: Na = Número equivalente de aplicações do Eixo-Padrão no ano a;  
a= ano no período de projeto;



$p$  = número de anos do período de projeto.

Em que

$$Na = \sum_{i=1}^{i=k} V_m * FV_i * 365 * p$$

Onde:  $V_m$  = Volume médio de veículos da categoria  $i$ , durante o período de projeto;

$i$  = categoria do veículo, variando de 1 a  $k$ ;

$FV_i$  = fator de veículo da categoria  $i$ .

$$FV_i = \sum_{j=1}^{j=m} FC_j$$

Onde:  $FC_j$  = fator de equivalência de carga correspondente ao eixo  $j$  do veículo  $i$ ;

$J$  = tipo de eixo, variando de 1 a  $m$ ;

$M$  = número de eixos do veículo  $i$ .

O  $FC$  deve ser calculado com base nas indicações da AASHTO, para aplicação do método da norma DNER PRO: 011/79. Os fatores de equivalência de carga foram calculados conforme o indicado no Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006, p. 244). Como pode ser observado na Tabela 2, o Fator de Veículo para automóveis e utilitários pode ser considerado desprezível, visto que apresentam baixo dano ao pavimento devido seu peso ser mais baixo que os demais.

Outro fator a se levar em consideração no cálculo do  $N$  é o aumento da frota de veículos. Definiu-se, com base no aumento da frota dos últimos 10 anos, que a taxa de crescimento para efeito de estudo será de 5% a.a. (CNT, 2015).

### 3.2 Avaliação da Superfície: Índice de Gravidade Global (IGG)

Para a avaliação da superfície do pavimento da rodovia BR-163 selecionou-se estações de forma representativa de defeitos, assegurando segurança e pontos com menor fluxo de veículos no dia e horário, para que se pudesse verificar a pista sem prejudicar o trânsito. As estações foram inventariadas conforme a Figura 8, anteriormente apresentada.

A norma DNIT 006/2003 – PRO solicita que para a pesquisa de campo tenha-se em mãos uma trena com 20 m, giz, marcadores, treliça metálica, e os formulários para registro (DNIT, 2003).

Porém, como não se tem posse dessa treliça padronizada, adaptou-se em uma base de madeira de 1,20 de comprimento e 0,10 m de altura. Dessa forma, as extremidades em madeira são colocadas na parte externa da trilha de roda e seu afundamento medido no centro da base de madeira como mostrado na Figura 14.

Os demais defeitos presentes em cada área demarcada devem ser apontados na planilha e ambos multiplicados pelo fator de ponderação conforme indicação da norma DNIT 006/2003 – PRO, como pode ser observado na Tabela 3, apresentada acima.



**Figura 14: Treliça para medição das flechas de trilha de roda**  
**Fonte: Autoria Própria (2017).**

O próximo passo é calcular a frequência relativa de aparecimento de cada classe de defeitos. Posteriormente calcula-se o IGI, que é o Índice de Gravidade Individual, multiplicando a frequência relativa (fr) a cada defeito pelo seu fator de ponderação (fp), fornecido pela norma DNIT 006/2003 – PRO.

$$IGI = fr \times fp$$

O Índice de Gravidade Global – IGG é o somatório dos IGI.

$$IGG = \sum IGI$$

### 3.2.1 Segurança

Para a realização das atividades em campo para o levantamento do IGG serão utilizados cones, bandeira vermelha e apitos para sinalizar aos motoristas que trafegam pela rodovia que há a necessidade de reduzir a velocidade. Vale lembrar que essa é uma medida de segurança tanto para a realização do levantamento quanto para os motoristas, mas que não fará com que estes tenham de interromper ou desviar o percurso.

### 3.3 Avaliação Estrutural: *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

A avaliação estrutural de pavimentos por meio do equipamento FWD determina a deflexão do pavimento ao ser aplicada uma carga dinâmica.

Como o levantamento dessas deflexões pela autora do projeto é inviável, visto que a UTFPR-PB não dispõe de equipamentos para essas aferições e seu alto custo para compra; a solução encontrada foi a utilização dos dados de deflexão medidos e fornecidos gentilmente (com declaração de uso para atividades acadêmicas, no Anexo 5) pela empresa Prosul S/A em parceria com o DNIT.

### 3.4 Dimensionamento

O dimensionamento foi realizado de acordo com a norma DNER PRO 011/79: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis (DNER, 1979); e também com base na bibliografia.

A norma prescreve a utilização da Viga Benkelman para medida das deflexões ou a aplicação de correlações entre ela e o FWD. Para isso, as correlações utilizadas são as das Equações 1 e 2 acima, uma vez que os dados da rodovia foram coletados com o FWD.

Assim, após efetuada a transformação das deflexões, calcula-se a deflexão característica da amostra ( $D_c$ ), para  $n \geq 20$ , conforme indicações da norma.

Em seguida, deve-se calcular a Deflexão de Projeto ( $D_p$ ), que é resultado da multiplicação entre a deflexão característica e o fator de correção sazonal ( $F_s$ ).

$$D_p = D_c * F_s$$

Para que o pavimento não sofra as influências do tráfego, apresentando patologias superficiais e estruturais, a deflexão oriunda das solicitações deve sempre ser menor do que um dado valor de deflexão admissível ( $D_{adm}$ ), que é função do número  $N$ , conforme a Equação 3.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 * \log N \quad \text{Equação 3}$$

A tomada de decisão em relação à intervenção necessária ao pavimento não é padronizada à todos os tipos existentes, devido todos os fatores que influenciam na sua capacidade de suporte. Essa etapa é explicitada nos Resultados e Discussões, item 4, onde se avaliam os dados obtidos.

### 3.5 Estimativa de Custo

Para obras rodoviárias federais, o custo da obra é estimado com base na tabela de composições unitárias SICRO2 – Sistema de Custos Rodoviários, disponibilizada no site do DNIT, e adotada conforme o Estado da federação que se localiza a rodovia. Assim, para os serviços projetados neste trabalho, foi feito

o levantamento da quantidade de cada atividade a ser executada e multiplicado o valor pelo custo unitário indicado na SICRO2.

O objetivo deste trabalho é avaliar o custo dos itens principais do projeto de reforço, ou seja, fresagem do pavimento, pintura de ligação, camada de revestimento em CBUQ e pintura da sinalização horizontal; não sendo contemplados os custos de serviços complementares, como limpeza de acostamento; mobilização da equipe; manutenção das obras de arte, como galerias e sarjetas; nem o custo de usinagem da massa asfáltica.

Para o Estado de Santa Catarina, a última atualização da tabela SICRO2 foi realizada em novembro de 2016, e esta será a utilizada neste trabalho, levando-se em conta os custos sem desoneração.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em seguida, apresenta-se os resultados obtidos através dos ensaios de campo e consequentemente as características do pavimento da rodovia BR-163 no trecho estudado, conforme descrito na Metodologia e no Referencial Teórico. Além disso será apresentado os critérios envolvidos para a adoção da intervenção para reabilitação da via.

### 4.1 Pesquisa de Tráfego e Cálculo do número equivalente de passagens do Eixo-Padrão – N

O estudo de tráfego diário realizado apontou um VMD de 4944 veículos passantes, considerando as duas faixas de tráfego. O gráfico abaixo demonstra a composição do tráfego, com relação aos tipos de veículos.

Sua avaliação mostra que, após o alto volume de automóveis, tem-se o de caminhões da classe 2C e camionetes, seguindo dos caminhões 3C e 3S3. As outras classes têm frequência menos significativa para o trecho.



**Gráfico 1: Composição média diária do tráfego**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

O Volume de tráfego da faixa mais solicitada da via corresponde a 55% do VMD.

Aplicando os conceitos descritos na Metodologia, o cálculo do número de solicitações equivalente ao eixo-padrão N, de 8,2tf é apresentado a seguir, na Tabela 2.

Tipo de veículo	Vi dia	Vp	Vm	FV(AASHTO)	Na
Autos	1720	2580	2150	0	0,00E+00
Camionetes	192	288	240	0	0,00E+00
ônibus 2C	15	22,5	18,75	0,748	5,12E+04
ônibus 3C	16	24	20	1,001	7,31E+04
2C	325	487,5	406,25	1,791	2,66E+06
3C	152	228	190	3,369	2,34E+06
4C	5	7,5	6,25	1,709	3,90E+04
2S2	34	51	42,5	4,186	6,49E+05
2S3	26	39	32,5	4,103	4,87E+05
3S2	11	16,5	13,75	2,769	1,39E+05
3S3	137	205,5	171,25	2,687	1,68E+06
+ 6 eixos	86	129	107,5	3,083	1,21E+06
<b><math>\Sigma Na = N</math></b>					<b>9,32E+06</b>

**Tabela 2: Cálculo do equivalente de passagens do eixo-padrão – N**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Dessa forma,  $N = 9,32 * 10^6$ .

#### 4.2 Condição da Superfície: Índice de Gravidade Global – IGG

A classificação da qualidade do pavimento através do IGG é apresentada na Tabela 1 e a medida de intervenção a ser adotada será descrita em seguida.

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual (IGI)
1	Trincas Isoladas FI, TTC, TTL,TLC, TLL, TRR	21	36,21	0,2	7,24
2	(FC-2) J, TB	20	34,48	0,5	17,24
3	(FC-3) JE, TBE	12	20,69	0,8	16,55
4	ALP, ATP, ALC, ATC	11	18,97	0,9	17,07
5	O, P, E	19	32,76	1	32,76
6	EX	2	3,45	0,5	1,72
7	D	31	53,45	0,3	16,03
8	R	27	46,55	0,6	27,93
9	Média aritmética dos valores medios das TRI e TRE em mm	TRI 23,25 TRE 24,33	41,03	1,33	54,58
10	Média aritmética das variâncias de TRI e TER	TRI 6,7 TER 6,64	11,50	1	11,50
Nº total de estações inventariadas		58			
<b>Índice de Gravidade Global (IGG)</b>					<b>202,63</b>
<b>Conceito</b>					<b>Péssimo</b>

**Tabela 3: Cálculo do Índice de Gravidade Global – IGG**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Retomando o indicado pela norma DNIT 006/03 – PRO, através do IGG calculado para o pavimento e de acordo com a Tabela 1, o trecho é classificado como péssimo, por apresentar índice maior que 160.

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

**Tabela 4: Conceito de qualidade do pavimento em função do IGG**  
**Fonte: DNIT 006/2003 – PRO (DNIT, 2003).**

A análise superficial do pavimento classificando-o como péssimo, está condizente com o apresentado pela pesquisa CNT de rodovias (CNT, 2016).

A Figura 15, abaixo, demonstra a existência de deformações permanentes nas trilhas de roda e a existência de ondulações e/ou escorregamentos, bem como a presença de panelas.





**Figura 15: Pista com ondulações, afundamentos de trilha de roda acentuados e painelas**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Na Figura 16, a intenção é mostrar a severidade das ondulações da pista, sendo o desnível apresentado do tamanho de uma caneta.



**Figura 16: Ondulação em um trecho da via**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**



**Figura 17: Pista com afundamentos de trilha de roda acentuados e desgaste superficial**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

Na Figura 17, no trecho próximo ao trevo do município de Guarujá do Sul, tem-se afundamentos de trilha de rodas e pavimento com notória Irregularidade Longitudinal e desgaste.



**Figura 18: Pista com desagregação e trincas**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**



As Figuras 18, 19 e 20, apresentam detalhe das trincas tipo jacaré, panelas e desgaste apresentados.



**Figura 19: Pista com presença de trincas em bloco e tipo jacaré**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**



**Figura 20: Presença de panelas, desgaste e ondulação**  
**Fonte: Autoria própria (2017).**

#### 4.3 Condição Estrutural: *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Os ensaios de FWD na BR-163 ocorreram em fevereiro de 2016, afim de atualização do projeto de restauração elaborado em 2008. Neste ensaio a carga dinâmica aplicada foi de 40 KN, por meio de um disco de apoio com 300 mm de diâmetro, como pode ser verificado no Anexo 4.

#### 4.4 Dimensionamento

Conforme o roteiro de cálculo descrito na metodologia, a deflexão característica da via é de:

$$D_c = 90,82(10^{-2})mm$$

Para o cálculo da Deflexão de Projeto ( $D_p$ ), adotou-se o fator de correção sazonal ( $F_s$ ) igual a 1, por se tratar de solo argiloso e sensível à umidade na estação chuvosa, dessa forma:

$$D_p = 90,82(10^{-2})mm$$

Como o número  $N$  calculado para o trecho foi de  $9,32 \cdot 10^6$ , e de acordo com a Equação 3, a Deflexão Admissível é dada por:

$$D_{adm} = 10^{(3,01 - 0,176 \cdot \log N)}$$

Portanto:  $D_{adm} = 60,73 (10^{-2})mm$

A norma DNER PRO: 011/79 indica fatores que levam à conclusão do tipo de atividade a ser realizada, em função das deflexões do pavimento existente. Para este estudo de caso chegou-se a hipótese de intervenção II, que é melhor descrita na Tabela 4.

Hipótese	Dados Deflectométricos Obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3D_{adm}$ Regular	Não	Deflectométrico	Reforço

**Tabela 5: Critério adotado para avaliação estrutural**  
Fonte: Adaptado de DNER-PRO 011/79 (DNER, 1979).

Dessa forma, o reforço será dimensionado pelo critério deflectométrico descrito pela norma. A espessura da camada de reforço é calculada através da Equação 4.

$$h = K * \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: K = fator de redução de deflexão, próprio do material a ser utilizado no reforço; nesse caso K=40, por se tratar de reforço em concreto betuminoso.

$$h = 40 * \log \frac{90,82}{60,73}$$

Assim, a espessura calculada para o reforço é de:

$$h = 7,00 \text{ cm}$$

#### 4.5 Estimativa de Custo

Dimensionada a camada de reforço, agora pode-se estimar o custo de sua execução, sendo o trecho um total de 41km.

Inicialmente, será necessário fresar o pavimento existente para reduzir as deformações apresentadas e prepará-lo para receber a nova camada. Seu custo é dado em m³ de pavimento, contabilizando a extensão do trecho e multiplicando-a pela largura total da pista e pela profundidade de corte.

Posteriormente, caso tenha a necessidade, deve ser realizada a atividade de tapa-buracos, para nivelar as panelas que não tenham sido corrigidas pela fresagem. Para estimar a quantidade em m³ de serviços de tapa-buraco, considerou-se que o trecho analisado (10%) apresentou frequência de 18 panelas, que em 100% terá frequência de 180 panelas. Esse valor, multiplicado pela área e pela profundidade média das panelas inventariadas, resultará na quantidade aproximada de m³ de serviços de tapa-buraco.

Finalizadas as atividades de nivelamento da superfície existente, executa-se uma pintura de ligação, a fim de melhorar a aderência entre a camada existente e a nova camada de rolamento; que é calculada multiplicando-se a extensão pela largura da via.

O custo da nova camada de rolamento, chamada de reforço, é dado pela multiplicação da extensão pela largura e pela espessura de reforço acima calculada. Este valor deve ainda ser multiplicado pela massa específica do concreto compacto, adotado como 2,38 t/m³. Ressalta-se que o custo do CBUQ apresentado não contempla o custo unitário de usinagem.

Finalmente, se faz necessário a pintura da sinalização horizontal na via, expressa em m², dado pela multiplicação entre a extensão e a largura da pista.

A Tabela 5 apresenta os códigos da SICRO2 e suas respectivas atividades.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
5 S 02 990 11	Fresagem cont. do revest. betuminoso
3 S 08 100 00	Tapa-buraco
5 S 02 400 00	Pintura de ligação
5 S 02 540 51	CBUQ - capa de rolamento AC/BC
3 S 08 403 00	Sinalização horizontal

**Tabela 6: Códigos e Serviços – SICRO2**

Fonte: Adaptado de DNIT SICRO2 (DNIT, 2016).

Em resumo, a Tabela 6 demonstra a estimativa de custo para execução de reforço na rodovia BR-163, entre os municípios catarinenses de São Miguel do Oeste e Dionísio Cerqueira.

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>UNID.</b>	<b>MAT. + M. OBRA(R\$)</b>	<b>QUANT.</b>	<b>TOTAL(R\$)</b>
Fresagem cont. do revest. betuminoso	m <sup>3</sup>	152,64	14.760,00	2.252.966,40
Tapa-buraco	m <sup>3</sup>	347,45	9,00	3.127,05
Pintura de ligação	m <sup>2</sup>	0,69	295.200,00	202.034,90
CBUQ - capa de rolamento AC/BC	t	189,56	49.180,32	9.322.621,46
Sinalização horizontal	m <sup>2</sup>	52,93	295.200,00	15.624.936,00
Custo total estimado R\$				27.405.685,80

**Tabela 7: Estimativa de custo**

Fonte: Autoria própria (2017).

Finalmente, estima-se que o custo por Km de rodovia seja de R\$668.431,36.

## 5 CONCLUSÃO

O propósito deste Trabalho de Conclusão de Curso foi de avaliar o trecho da rodovia BR-163, que interliga os municípios de São Miguel do Oeste - SC à Dionísio Cerqueira - SC, e propor uma medida de recuperação do seu pavimento. Isso se fez devido o notório índice de patologias existentes há alguns anos, onde as medidas corretivas de conservação de pavimentos não se mostram mais suficientes para garantir segurança, estabilidade e economia aos usuários da via.

Para propor uma alternativa de recuperação da qualidade do pavimento, foi necessário estudar o tráfego atuante, que se mostrou elevado para a região, com cerca de 5000 veículos ao dia, conforme a classificação do DNIT se enquadra na Classe I, tipo B, por se tratar de rodovia de pista predominantemente simples, com  $VMH > 200$  e  $VMD > 1400$ .

Posteriormente, durante a pesquisa bibliográfica acerca dos procedimentos de recuperação de pavimentos flexíveis, a metodologia apresentada pela norma DNER – PRO 011/79: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis (DNER, 1979), se mostrou adequada para o caso desta rodovia por ser relativamente simples. Para a aplicação da metodologia apresentada na norma para a tomada de decisão necessita-se de estudo de tráfego para determinação do N, análise estrutural pela VB, e caracterização da superfície através do IGG, não requerendo a retirada de amostras das diversas camadas do pavimento.

Porém, como o ano de ensaio foi em 2016, e não se sabe a condição atual do pavimento, se este se encontra em fase elástica ou de fadiga, por isso, a confiabilidade para aplicação do método do DNER – PRO 011/79 pode ser duvidosa, uma vez que esse método foi desenvolvido para a aplicação de pavimentos ainda na fase elástica.

A avaliação da qualidade estrutural do pavimento, realizada através do ensaio com FWD (com aplicação de correlação para converter os valores de deflexão para VB), apresentou valores de deflexão preocupantes, como foi

demonstrado na Tabela 4. Ou seja, as deflexões reais do pavimento durante o ensaio ( $D_c$ ), apresentaram valores superiores à deflexão admissível da estrutura do pavimento ( $D_{adm}$ ), demonstrando que a resistência do pavimento está falha. Essas deflexões evidenciam que o motivo das patologias funcionais e estruturais advém do tráfego elevado para um pavimento que provavelmente já passou da sua vida de serviço, ou que não foi dimensionado para atender a demanda de tráfego.

Vale ressaltar também que, apesar da prescrição da norma para utilização do IGG como indicador da qualidade funcional do pavimento, o procedimento possui como fatores limitantes, falseando a condição real do pavimento, o fato de não se considerar a extensão nem a severidade dos defeitos, apenas a sua ocorrência.

A tomada de decisão oriunda da norma recomendou a execução de um reforço sobre a camada existente, isso porque apesar das deflexões apresentadas serem superiores à admissível, esse pavimento possui uma resistência residual que pode ser aproveitada para suportar, juntamente com o reforço dimensionado, a demanda de tráfego dos próximos 10 anos.

O dimensionamento realizado apontou que a camada de reforço deverá possuir uma espessura mínima de 7 cm, o que parece satisfatório, visto que ao analisar a camada de revestimento do pavimento existente durante os levantamentos de campo, este possui cerca de 3 cm.

Recomenda-se que a camada de reforço em CBUQ faixa C, seja aplicada em todo o trecho, após a realização de fresagem continua e serviços de tapaburaco localizados, com a devida pintura de ligação entre as camadas.

O custo estimado para o pavimento, relativamente alto, como apresentado na Tabela 6, mais uma vez prova que ao se tratar de pavimentos, a solução mais econômica são as medidas de manutenção preventivas e corretivas, pois em um dado momento da vida útil, quando não realizadas essas manutenções, as atividades de reabilitação são extremas e de alto custo.

Como sugestão para a continuidade da pesquisa propõe-se:

- Estimar o volume do material fresado e viabilizar sua utilização como agregado no CBUQ da camada de reforço ou recomposição das camadas de base;
- Estudar a viabilidade da execução de pavimento rígido;



- Comparar o dimensionamento aqui obtido com o dimensionamento do projeto de ampliação da rodovia realizado em 2008.

## REFERÊNCIAS

ALBANO, João F. **Efeitos dos Excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos**. 2005. 232 f. **Tese (Doutorado em Engenharia Civil)** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. Disponível em: <  
<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4498/000457228.pdf>> Acesso em: 06 nov. 2016.

BALBO, José T. **Pavimentação asfáltica: Materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi B. et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ABEDA, 2006. Disponível em: <  
[http://www.proasfalto.com.br/07\\_download.htm](http://www.proasfalto.com.br/07_download.htm)>. Acesso em: 09 ago. 2016

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Sistema de Custos Rodoviários: SICRO2**. Rio de Janeiro, 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2015**: Relatório Gerencial. 19 ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2015.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016:** Relatório Gerencial. 20 ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2016. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf)> Acesso em: 06 nov. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). **DNIT 031/2006 – ES:** Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **DNIT 005/2003 – TER:** Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **DNIT 006/2003 – PRO:** Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **Nomenclatura das rodovias federais.** Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/rodovias-federais/nomenclatura-das-rodovias-federais>>. Acesso em: 02 out. 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER – PRO 273/96:** Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “*Falling Weight Deflectometer* (FWD)”. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 035/98:** Agregados - Determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 089/94:** Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 401/99:** Agregados – Determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall. Rio de Janeiro, 1999.

\_\_\_\_\_. **DNER – EM 367/97:** Material de enchimento para misturas betuminosas. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER – ME 054/97:** Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **DNER – PRO 011/79:** Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, 1979.

FABRÍCIO, João V. F. Correlação “Deflexão Benkelman vs. Deflexão FWD”: Riscos, cuidados e confiabilidade entre duas grandezas. **Revista Pavimentação**, Rio de Janeiro n. 28: abril – junho. 2013.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Luiz H. C.; ALBERNAZ, Cláudio A. V.; FERNANDES JÚNIOR, José L. Equivalência operacional entre equipamentos utilizados para avaliação estrutural de pavimentos. **Revista Pavimentação**, Rio de Janeiro n. 31: janeiro – junho. 2014.

GONÇALVES, Fernando J. P. **Diagnóstico e manutenção de pavimentos: Ferramentas Auxiliares**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2007.

FERNANDES JR, José L; ODA, Sandra; ZERBINI, Luiz F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. São Carlos: Ed. USP, 2006.

HENRIQUE, Yuri F. Método de avaliação de pavimentos aeroportuários – Aplicação a um aeródromo militar. 2013. 123 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)** – Curso superior de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: < [monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006465.pdf](http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006465.pdf) > Acesso em: 03 nov. 2016.

KNOEMA. **México – Estradas pavimentadas**. Disponível em: <<http://pt.knoema.com/atlas/M%C3%A9xico/Estradas-pavimentadas> > Acesso em: 06 nov. 2016.

MAIA, Iva M. C. Caracterização de patologias em pavimentos rodoviários. 2012. 77 f. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68091/1/000154859.pdf> > Acesso em: 10 out. 2016.

MARQUES, Gabriele B. Análise de pavimento flexível: Estudo de um trecho crítico na rodovia ERS-421. 2014. 82 f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)** – Curso superior de Engenharia Civil da UNIVATES. Disponível

em:<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/578/1/2014GabrieleBornMarques.pdf> > Acesso em: 20 set. 2016.

MARQUES, Geraldo L. O. Pavimentação. **Notas de Aula**. 2012. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.Geraldo.pdf>> Acesso em: 21 set. 2016.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Pavimentação de Vias**. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/op/default.php?reg=3&p\\_secao=21](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/op/default.php?reg=3&p_secao=21)> Acesso em: 17 set. 2016.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. Vol. 1. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, Paulo F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 - Ficha para Contagem Volumétrica

[illegible]

CONTADOR

OBSERVAÇÕES

## ANEXO 2 - Ficha para Levantamento de Defeitos através do IGG

[illegible]



ANEXO 3 - Ficha para cálculo do IGG

RODovia:		FAMILIA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					Data:		Folha:	
TRECHO:							Estação ou Quilómetro		Estação ou Quilómetro	
SUB-TRECHO:		REVESTIMENTO TIPO:								
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta corrigida	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual		Observações		
1	Trincheiras FI, TTC, TTL, TUC, TLL, TRR				0,2					
2	(FC - 2) J, TB				0,5					
3	(FC - 3) JE, TBE				0,8					
4	ALP, ATP, ALC, ATC				0,9					
5	O, P, E				1,0					
6	EX				0,5					
7	D				0,3					
8	R				0,6					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A ( ) 1 B ( )					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREV =	TRIV =	FV =	2 A ( ) 2 B ( )					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG					Corrigido		
1A) IGI = $\bar{F}$ x 40 quando $\bar{F}$ ≤ 30		2A) IGI = $\bar{FV}$ quando $\bar{FV}$ ≤ 50 2B) IGI = 50 quando $\bar{FV}$ > 50					Operador			
1B) IGI = 40 quando $\bar{F}$ > 30							Cálculo			
							Verificação			

**ANEXO 4 - Dados de deflexão obtidos com FWD**  
**(Os valores apresentados abaixo são um resumo de todo o trecho)**



Lado	D0	D20	D30	D45	D65	D90	D120	DFwd K	DVb K
LD	52	37,7	25,3	16,6	10,4	5,4	3,8	71,35	82,82
LE	43,3	29,4	19,9	11,3	6,4	2,9	2,1	62,65	77,70
LD	35,8	25,4	17,6	11,3	7,1	2,3	0,8	55,15	72,73
LE	40,9	28,9	20,4	12,2	7,5	3,8	2,6	60,25	76,18
LD	47	34,3	23	15,1	10,4	4,4	2,7	66,35	79,96
LE	53,3	38,8	27,6	19	14	7,3	4,6	72,65	83,54
LD	49,7	36	21,8	11,8	7	3,7	2,5	69,05	81,53
LE	55,5	38,4	25,2	16	10,4	5,5	3,3	74,85	84,73
LD	44,3	33,7	25,9	17,1	11,4	5,2	2,6	63,65	78,32
LE	53,2	35,5	24	16,8	11,6	6,7	4,5	72,55	83,48
LD	45,1	33,6	23,8	16,3	11	5,7	3,6	64,45	78,81
LE	59,8	42,3	30,2	21	14,4	7,3	4,4	79,15	86,96
LD	48,4	36,7	26,2	18	12,2	6,8	4,9	67,75	80,78
LE	70,2	51,8	35,8	23,4	15,6	7,3	4,4	89,55	100,91
LD	57,5	42,8	29,5	19,7	12,9	6,2	4	76,85	85,78
LE	38,5	30,5	23,7	17,8	12,9	7,2	4,6	57,85	74,59
LD	35,5	22,3	14	7,8	4,5	1,8	1	54,85	72,52
LE	58,5	42,2	29,7	20,4	14,2	7,5	4,1	77,85	86,30
LD	38,3	25,2	14,5	6,2	2,2	0,3	0,2	57,65	74,46
LE	43,5	28,1	18,5	12,2	8,3	4,3	2,4	62,85	77,83
LD	39,1	25,2	13,3	8,1	5,5	2,5	1,1	58,45	74,99
LE	58,7	40,5	26,9	16	9,8	4,6	2,7	78,05	86,40
LD	47,8	33	21,9	13,4	8,1	3,5	2,1	67,15	80,43
LE	60,2	31,9	17,9	12,3	8,9	4,8	2,8	79,55	87,16
LD	47,7	33,6	21,8	13,8	8,7	4,3	2,6	67,05	80,37
LE	35,2	27,2	19,5	14	9,8	6	4,1	54,55	72,30
LD	44,6	32,1	21,3	13,3	8	2,9	1,7	63,95	78,51
LE	51,6	33,8	23,3	14,1	7,9	1,6	0,1	70,95	82,60
LD	46	33,5	24,1	14,9	7,9	2,2	1	65,35	79,36
LE								19,35	
LD	41,7	33,6	26,4	19,4	14,2	8	5,3	61,05	76,69
LE	36,5	21,2	12,8	6,8	3,8	2	1,6	55,85	73,22
LD	56,5	39,4	29,5	20,7	14,8	8,6	5,4	75,85	85,26
LE	49,9	33,4	20,4	12,3	8,4	4,9	3,6	69,25	81,64
LD	54,5	28,2	18	11,7	7,5	4,1	2,7	73,85	84,19
LE	38,3	23	13,7	7,4	4,5	2,2	1,3	57,65	74,46
LD	30	18,2	10	4,6	2,4	1,4	1,2	49,35	68,40
LE	38,3	24,5	14,8	7,5	3,9	1,9	1,4	57,65	74,46

LD	37,5	21,1	9,9	1,9	0,1	0,1	0	56,85	73,91
LE	34,1	17,5	7,1	1	0,2	0,3	0,1	53,45	71,51
LD	47,2	30,2	15,6	5,7	2,4	1	0,4	66,55	80,07
LE	39,6	22,3	11,8	5,2	2,6	1,5	1,4	58,95	75,33
LD	34,4	21,8	13,1	7	3,7	1,4	1	53,75	71,73
LE	42	23,6	13,4	7,7	4,7	2,1	1,5	61,35	76,88
LD	43,9	33,8	25	17,3	11,9	5,9	3,5	63,25	78,08
LE	53,7	33,4	19,9	10,3	6	2,6	1,5	73,05	83,76
LD	44,2	34,8	27,1	20,6	14,8	7,6	4,5	63,55	78,26
LE	78,4	56,4	38,5	26	17,6	9	5	97,75	95,59
LD	75,6	58,3	44,2	31,1	21,7	10,5	5,2	94,95	94,38
LE	55,4	30,9	17,1	9	4,5	1,6	0,9	74,75	84,67
LD	49,6	25,6	12,1	4,6	1,5	0,2	0	68,95	81,47
LE	55,6	36,4	23,6	14,5	9,2	4,6	2,5	74,95	84,78
LD	43,9	28,8	17,1	9,5	5,1	2,1	1,4	63,25	78,08
LE	50,6	25,2	12,8	6,2	3,2	1,4	0,8	69,95	82,04
LD	51,6	31,5	19,3	9	3,9	0,9	0,7	70,95	82,60
LE	31	17,9	10,4	5,9	3,6	1,7	1,2	50,35	69,18
LD	57,9	38,3	25,2	15	8	1,7	0,2	77,25	85,99
LE	44,4	26,8	15,1	6,9	2,5	0,6	0,4	63,75	78,39
LD	45	30,6	21,1	14	9,1	3,8	1,4	64,35	78,75
LE	26,8	16,7	8,9	4	1,6	0,3	0,2	46,15	65,77
LD	56,2	41,6	30,1	20,5	13,4	6,2	3	75,55	85,10
LE	62,4	34,2	20,4	11,9	6,4	0,9	0,4	81,75	88,26
LD	60,2	41	26,7	16,7	10,3	3,6	0,9	79,55	87,16
LE	54	35,6	21	10,8	5,1	1,7	1	73,35	83,92
LD	49,9	33,6	20,7	10,4	5	2,1	1,5	69,25	81,64
LE	46,7	31,4	21,5	14,3	9,7	5,2	3,4	66,05	79,78
LD	45,2	28,7	17,9	10,1	5,4	1,9	1,3	64,55	78,88
LE	40,6	24,3	12,9	5,6	2,5	0,3	0,4	59,95	75,98
LD	47,4	34,6	23,6	14,4	8,6	3,8	2,2	66,75	80,19
LE	62,4	42,8	27,8	15,5	8	1,8	0,2	81,75	88,26
LD	52,4	40,5	31	22,8	16,1	8,1	4,3	71,75	83,04
LE	64	46,5	32,2	19,8	11,8	4,1	1,6	83,35	89,05
LD	38,1	27,4	19,7	12,8	8	3,5	1,9	57,45	74,32
LE	47,7	36,8	26,5	17,4	10,4	3,5	1,2	67,05	80,37
LD	40,8	27,9	18,9	12,2	7,3	2,8	1,3	60,15	76,11
LE	61,7	44,6	30,8	20,5	12,9	4,9	2	81,05	87,92
LD	38,2	27,3	20,5	13,5	8,2	3,1	1,2	57,55	74,39
LE	63,2	42	29,1	18,4	10,7	3,9	1,6	82,55	88,66
LD	58,6	43,3	31,6	21	12,6	3,7	1,3	77,95	86,35
LE	65,3	43,8	29,9	20,3	13,1	6	3,1	84,65	89,67
LD	51,2	35,9	25,6	17,3	11,2	5,1	2,6	70,55	82,38
LE	58,6	39,1	25,4	15	8,7	4	2,4	77,95	86,35
LD	54,1	43,7	34,3	26	18,6	9,7	5,4	73,45	83,97

LE	58,5	42	29,5	18,7	11,8	4,3	1,8	77,85	86,30
LD	52,3	38,7	28,1	18,8	11,6	4,3	2,1	71,65	82,99
LE	65	46,1	33,3	22,4	14,9	7,6	4,1	84,35	89,53
LD	47,2	34,5	24,8	17,4	11,2	4,8	2,2	66,55	80,07
LE	74,1	42,3	27,9	18	10,6	3,6	1	93,45	93,72
LD	41,3	27,8	19,3	12,2	7,3	2,8	1,4	60,65	76,44
LE	44,9	29,8	21,1	13,9	9,4	4,6	2,5	64,25	78,69
LD	43	31,3	22,7	15,2	9,2	3,3	1,5	62,35	77,52
LE	62,3	40,5	26,2	15,3	8,6	3,2	1,5	81,65	88,21
LD	31,8	20,7	11,1	6,1	2,8	0,2	0,3	51,15	69,80
LE	34,6	21,9	12,1	5,6	2,6	0,8	0,4	53,95	71,87
LD	27,8	18,7	12,6	7,1	3,2	0,3	0,1	47,15	66,62
LE	35,9	22,5	12,7	5,5	2,3	0,3	0,1	55,25	72,80
LD	34,2	22,5	14,2	8	5,1	2,1	1,1	53,55	71,58
LE	63,8	47,2	32,5	21,4	14,1	6,6	3,5	83,15	88,95
LE	47,2	38,6	29,2	21,3	14,9	8,5	5,8	66,55	80,07
LD	42	32,8	25,1	17,3	11,5	6,6	4,7	61,35	76,88
LE	44,1	33,7	25,3	18,2	13,2	7,6	5	63,45	78,20
LD	36,6	28,6	22,5	16,6	12	7	4,9	55,95	73,29
LE	48,6	40,6	30,9	22,3	16,2	9,8	7,2	67,95	80,89
LD	49,1	40,4	31,2	24,2	17,9	10,7	7,7	68,45	81,18
LE	31,3	25,7	20	15	11	6,8	4,8	50,65	69,41
LD	33,8	25,4	19,4	15,3	11,7	7,3	5,3	53,15	71,29
LE	46,1	37,6	29,5	22,1	15,9	8,8	6,1	65,45	79,42
LD	32,6	25,9	20,9	16,5	12,6	8	5,8	51,95	70,40
LE	39,2	32,8	26,1	20,8	16,3	10,8	7,7	58,55	75,06
LD	34,4	27,7	21	15,3	10,9	6,3	4,2	53,75	71,73
LE	50,8	40,2	30,2	21,7	15,2	8,2	5,1	70,15	82,15
LD	38,1	29,6	23	17	12,3	7,1	4,7	57,45	74,32
LE	28,7	23,1	17,7	12,7	9	5,1	3,5	48,05	67,36
LD	39,3	30,7	22,3	15,8	11,6	7,4	5,3	58,65	75,13
LE	30,7	26,6	21,9	16,9	12,9	8,5	6,1	50,05	68,95
LD	33,5	27,8	22,2	17,4	14	9,7	7,2	52,85	71,07
LE	51,2	41,2	32,7	25,4	19,4	12,3	9,1	70,55	82,38
LD	39,5	30,3	23	16	10,9	6,3	4,5	58,85	75,26
LE	53,2	38,2	25,6	15,3	9,8	5,4	3,9	72,55	83,48
LD	57,5	43,9	31,2	20,3	13,9	7,6	5,1	76,85	85,78
LE	45,8	34,3	24,3	17,5	12,4	7,2	4,9	65,15	79,24
LD	51,2	37,9	27,1	18	11,8	6,5	4,3	70,55	82,38
LE	27,4	21,9	16,7	11,8	8,4	5,1	3,7	46,75	66,28
LD	38,6	31,3	25,1	18,7	13,4	7,9	5,6	57,95	74,66
LE	30,9	24,1	18,2	13	9,7	6,8	5,5	50,25	69,10
LD	40,1	30	21,3	14,5	10,2	6,1	4,5	59,45	75,66
LE	48,2	36,6	25,2	16,1	10,5	6,2	4,2	67,55	80,66
LD	47	32,6	21,9	14,2	9,2	4,8	3,2	66,35	79,96

**Após as distribuições dos valores para que se encontrem no intervalo de confiança, obteve-se Média =  $76,42 * 10^{-2}$ , Desvio padrão =  $14,39 * 10^{-2}$  e Coeficiente de variação = 0,1883.**

**ANEXO 5 – Autorização para fins de atividades acadêmicas (enviado e autorizado via email)**

	<b>Ministério da Educação</b> <b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</b> <b>Campus de Pato Branco</b>	 <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small>
---	--	--

À  
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT  
Eng. Sérgio Luiz Miketa  
Unidade Local de São Miguel do Oeste - SC

REQUERIMENTO

A Coordenação do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Pato Branco – PR, representada pela acadêmica ISABELA CAROLINE GAGLIOTTO GALVAN vem requerer desta unidade do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT apoio para realização de estudos sobre a Rodovia BR-163, para fins de trabalho de conclusão de curso.

O apoio será no sentido do fornecimento de dados referentes à rodovia em questão.

Para tanto, solicitamos dentro das possibilidades, o fornecimento dos seguintes dados do trecho:

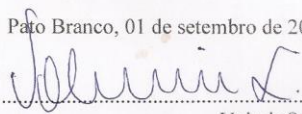
- a) Dados do índice de Gravidade Global - IGG;
- b) Dados do levantamento das deflexões - FWD ou Viga Benlkeman;
- c) Dados do Levantamento da Irregularidade Longitudinal - IRI;
- d) Dados de levantamento de estudo de tráfego;
- e) Outros dados disponíveis apropriados para caracterização da rodovia.

O professor orientador será o Prof. Msc. Jairo Trombetta, desta coordenação.

Certos de vossa pronta atenção desde já, ficamos gratos e nos colocamos a disposição para qualquer esclarecimento que se fizer necessário.

Atenciosamente,

Pato Branco, 01 de setembro de 2016.

  
Volmir Sabbi  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-UTFPR PB

Prof. Dr. Volmir Sabbi  
SIAPE nº 383923  
Coordenador do Curso Superior de  
Engenharia Civil  
UTFPR - Campus Pato Branco



