

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Camila Moreira Burtet

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DA RODOVIA NOS CUSTOS
OPERACIONAIS PARA ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA
ENTRE A RSC-392 E BR-158**

Santa Maria, RS
2019

Camila Moreira Burtet

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DA RODOVIA NOS CUSTOS OPERACIONAIS
PARA ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA ENTRE A RSC-392 E
BR-158**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira

Santa Maria, RS
2019

Camila Moreira Burtet

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DA RODOVIA NOS CUSTOS OPERACIONAIS
PARA ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA ENTRE A RSC-392 E
BR-158**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheira Civil**.

Aprovada em 06/12/2019.

Deividi da Silva Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)

Mirela Schramm Tonetto, Eng. Civil

Renan Gustavo Scherer, Msc.

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me acompanhado nesta trajetória.

Agradeço aos meus pais Luiz e Rosaine, meus maiores exemplos, e aos meus irmãos Leonardo e Isadora pelo amor, incentivo e apoio incondicional sempre. Vocês são minha segurança em todos os momentos da vida. A vocês, minha eterna gratidão.

A todos os professores que me ensinaram tanto na graduação, em especial ao Professor Deividi da Silva Pereira pela orientação, conselhos, confiança e apoio durante o período de realização deste trabalho.

Aos colegas do Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária – GEPPASV, Fernando Zucchi e Fernando Boeira, pelo apoio nos ensaios e levantamentos de dados, ao Renan Scherer pela ajuda na escrita, e em especial ao Lucas Bueno pelos ensinamentos relacionados ao software HDM-4 utilizado neste trabalho e pela disponibilidade em contribuir.

Ao meu tio Jaime Burtet pela companhia nos dias de contagem de tráfego, e aos meus avós Lucinda, Lori, Ornélio e Ananísio, que entenderam minha ausência e sempre me apoiam nas minhas escolhas.

As minhas colegas Jaqueline Becker, Kauana Berton e Helena Stragliotto pela companhia e amizade que criamos nestes cinco anos e que foram essenciais para deixar mais leves os dias difíceis da graduação. Vocês foram muito importantes neste período e quero levar pra vida. Também aos colegas João Pedro Bocchi, colega de estágio, e Henrique Kramer, pela parceria e apoio.

As minhas amigas do coração, Clarissa Terra e Allássia Garcia, por serem exatamente quem são e pela amizade sem palavras que temos.

Ao meu namorado e melhor amigo Luiz Cláudio Bonilla, por acreditar mais em mim do que eu mesma, por ser meu companheiro em todos os momentos, pela felicidade em comemorar as minhas vitórias, me motivar quando algo dá errado e me ajudar sempre. Me sinto muito feliz em te ter ao meu lado e compartilhar os dias.

Gostaria de dedicar esse trabalho a todos aqueles que não foram citados em especial, mas que, de uma forma ou outra, fizeram parte da minha graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria. Aos professores, servidores, colegas e amigos, meu obrigada.

RESUMO

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DA RODOVIA NOS CUSTOS OPERACIONAIS PARA ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA ENTRE A RSC-392 E BR-158

AUTORA: Camila Moreira Burtet
ORIENTADOR: Deividi da Silva Pereira

O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência que as condições da via têm na composição dos custos operacionais aos usuários da rodovia RSC-392, trecho entre a cidade de Tupanciretã e a BR-158, compreendendo o escoamento da produção agrícola e o transporte de pessoas, através da utilização do software HDM-4. Para este estudo, foi realizada a escolha do trecho em função da importância que este tem para a economia da região, uma vez que a cidade é grande produtora de grãos. A análise das condições do pavimento foi efetuada a partir da realização do Levantamento Visual Contínuo, Afundamento da Trilha de Rodas e Irregularidade Longitudinal, medidos a partir de perfilômetro inercial a laser, e contagem volumétrica direcional e classificatória de tráfego. A simulação foi executada no software com a entrada dos dados obtidos e processados, fixando-se um cenário de fatores que compõem o modelo do programa, como tipo de fluxo do tráfego, classe da rodovia, composição e volume de tráfego, tipo e condição do pavimento, dentre outros. A intenção desta simulação foi comparar o quanto índices como o IRI influenciam nos custos, utilizando dois cenários: o primeiro consistindo em não fazer manutenções/intervenções no período de projeto definido, e o segundo realizando intervenções periódicas. Os resultados obtidos mostraram que esta via, se mantido seu padrão de conservação, pode resultar em economias de cerca de R\$80.000/km/ano aos usuários, demonstrando que as condições do pavimento influenciam e a manutenção das rodovias possibilita maiores benefícios à sociedade.

Palavras-chave: gerência de pavimentos; custos operacionais dos usuários; HDM-4; IRI.

ABSTRACT

INFLUENCE OF ROAD CONDITIONS ON OPERATING COSTS FOR FLOORING AGRICULTURAL PRODUCTION BETWEEN RSC-392 AND BR-158

AUTHOR: Camila Moreira Burtet
ADVISOR: Deividi da Silva Pereira

This paper aims to study the influence of road conditions on the composition of operating costs for users of the RSC -392 highway, between Tupanciretã and BR-158, including the flow of agricultural production and the transportation of people through the use of HDM-4 software. For this study, the stretch was chosen because of its importance for the region's economy, since the city is a major grain producer. The pavement conditions were analyzed by Continuous Visual Survey, Wheel Track Sinking and Longitudinal Irregularity, measured by laser inertial profilometer, and directional and classificatory traffic volumetric counting. The simulation was performed in the software with the input of the obtained and processed data, setting a scenario of factors that make up the program model, such as traffic flow type, highway class, traffic composition and volume, type and condition of the program. pavement, among others. The purpose of this simulation was to compare how indices such as IRI influence costs, using two scenarios: the first consisting of not doing maintenance / interventions during the defined project period, and the second performing periodic interventions. The results obtained showed that this road, if maintained its conservation pattern, can result in savings of about R\$80.000/km/year to users, demonstrating that pavement conditions influence and the maintenance of highways allows greater benefits to society.

Keywords: pavement management; user operating costs; HDM-4; IRI.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de superfície do pavimento em termos de IRI	23
Tabela 2 – Condições de superfície do pavimento em termos de IRI medido por sensores sem contato	23
Tabela 3 – Frequência de defeitos	28
Tabela 4 – Conceitos do ICPF	28
Tabela 5 – Pesos para cálculo	29
Tabela 6 – IES – Índice do Estado da Superfície do pavimento.....	30
Tabela 7 – Tráfego Diário Médio	47
Tabela 8 – Fatores de equivalência de carga da USACE	48
Tabela 9 – Definição dos eixos predominantes no trecho	48
Tabela 10 – Cargas máximas legais dos eixos comerciais adotados na composição do tráfego	49
Tabela 11 – Cálculo do Fator de Carga do trecho.....	50
Tabela 12 – Cálculo do Número N	51
Tabela 13 – Preços inseridos no HDM-4 para a frota de veículos	54
Tabela 14 – Configuração padrão dos trechos no HDM-4	56
Tabela 15 – Número estrutural corrigido	57
Tabela 16 – Valores de IRI médio (m/km) pelo programa <i>CiberShell</i>	61
Tabela 17 – Valores de ATR	63
Tabela 18 – LVC Lado Direito – RS-392	65
Tabela 19 – LVC Lado Esquerdo – RS-392	65
Tabela 20 – Análise econômica em um cenário de 30 anos, por quilômetro	70
Tabela 21 - Valores dos custos para os usuários em ambos os cenários, para todo o trecho (20,0 km)	70

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de relação entre custos operacionais dos veículos e IRI	16
Figura 2 – Efeito das condições da rodovia nos custos operacionais dos veículos ..	17
Figura 3 – Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação	20
Figura 4 – Perfilômetro inercial a laser da <i>Cibermétrica</i>	22
Figura 5 – Esquema de funcionamento interno de um módulo de medição a laser por triangulação.....	22
Figura 6 - Afundamento nas trilhas de roda	24
Figura 7 – Trelça para medição das flechas da trilha de rodas	26
Figura 8 – Conceito de análise do ciclo de vida do pavimento no HDM-4	38
Figura 9 – Fluxograma de um SGP com alternativas das estratégias de M&R.....	42
Figura 10 – Parcelas que compõem o custo total de uma via	42
Figura 11 – Fluxograma simplificado da metodologia do presente estudo.....	43
Figura 12 - Localização de Tupanciretã e da RS-392	44
Figura 13 – Estrutura original do pavimento – projeto.....	45
Figura 14 – Ficha Horária de Contagem de Tráfego	47
Figura 15 – Tela de análise dos dados recebidos pelo perfilômetro a laser (<i>CiberLogger</i>)	52
Figura 16 – Tela de processamento de dados (software <i>CiberShell</i>).....	52
Figura 17 - Dados dos veículos analisados na contagem	53
Figura 18 - Interface de criação da frota de veículos	53
Figura 19 – Interface de criação da rede rodoviária analisada no HDM-4	55
Figura 20 – Interface dos dados do trecho (definição)	55
Figura 21 – Interface de ajuste dos parâmetros de calibração do modelo no HDM-4.....	57
Figura 22 - Valores de IRI Médio por km.....	61
Figura 23 – Classificação do trecho analisado pelo critério do IRI	62
Figura 24 – Valores médios de ATR	63
Figura 25 - Valores de IGGE	64
Figura 26 – Exsudação e fissuras FC-2 na entrada da RS-392	66
Figura 27 – Exsudação	66
Figura 28 – Painelas	66
Figura 29 – Fissuras e bombeamento de finos	66
Figura 30 – Escorregamento e fissuras.....	67
Figura 31 - Condição do pavimento próximo aos trilhos na entrada de Tupanciretã.	68
Figura 32 - Condição do pavimento próximo ao trevo junto à BR-158	68
Figura 33 - Projeção futura de valores de IRI (m/km) em dois cenários de conservação, obtida através do HDM-4	69
Figura 34 - Comparativo dos custos para os usuários nos dois cenários de manutenção em uma projeção de 30 anos	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of Highway and Transportation Officials</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATR	Afundamento em Trilha de Rodas
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPGP	Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos
CREMA	Contratos de Restauração e Manutenção
CRRRI	<i>Central Road Research Institute</i>
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ESRD	Eixos Simples de Rodas Duplas
ESRS	Eixos Simples de Rodas Simples
ETD	Eixo Tandem Duplo
ETT	Eixo Tandem Triplo
FEC	Fator de Equivalência de Carga
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FV	Fator de Veículo
GEIPOT	Grupo Executivo de Integração da Política de Transporte
GEPPASV	Grupo de Estudos em Pavimentação e Segurança Viária
HCM	<i>Highways Design and Maintenance Standards Model</i>
HDM	<i>Highway Development and Management</i>
HDM-4	<i>Highway Development and Management system</i>
ICPF	Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e semi-rígidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IES	Índice do Estado da Superfície do pavimento
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IPVA	Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores
IRI	<i>International Roughness Index</i>
JE	Trincas do tipo “couro de jacaré” com Erosão
LVC	Levantamento Visual Contínuo
M&R	Manutenção e Reabilitação
N _{USACE}	Número de repetições do eixo padrão calculadas com uso dos fatores de equivalência de carga da USACE
PICR	Pesquisa do Interrelacionamento dos Custos Rodoviários
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PRO	Procedimento
QI	Quociente de Irregularidade
RS	Rio Grande do Sul
RTIM	<i>Road Transport Investment Model</i>
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SNC	Número Estrutural Corrigido
TER	Terminologia

TRRL	Transport and Road Research Laboratory
TSS	Tratamento Superficial Simples
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
VDM	Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	CUSTOS OPERACIONAIS	13
2.1.1	Custos diretos e indiretos	14
2.1.2	Custos fixos e variáveis	14
2.1.3	Custos relacionados aos usuários	15
2.2	AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	17
2.2.1	IRI – Irregularidade Longitudinal	19
2.2.2	ATR – Afundamento da Trilha de Rodas	23
2.2.3	Levantamento Visual Contínuo – LVC	27
2.2.4	Número Estrutural	30
2.3	GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	33
2.4	HDM 4	35
2.4.1	Modelos	39
2.4.2	Dados de entrada	40
2.4.3	Análises econômicas	41
3	METODOLOGIA	43
3.1	DESCRIÇÃO DO TRECHO ANALISADO	44
3.2	CONTAGENS DE TRÁFEGO	46
3.3	AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL E AFUNDAMENTO EM TRILHA DE RODAS	51
3.4	ANÁLISE ECONÔMICA COM O SOFTWARE HDM-4	53
4	RESULTADOS E ANÁLISES	60
4.1	LEVANTAMENTOS DE CAMPO	60
4.1.1	Irregularidade Longitudinal	60
4.1.2	Afundamento em Trilha de Rodas	62
4.1.3	Levantamento Visual Contínuo	64
4.2	ANÁLISE ECONÔMICA COM O HDM-4	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
5.1	CONCLUSÕES	73
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXOS	80
	ANEXO A – QUADRO RESUMO DOS DEFEITOS DE PAVIMENTOS DO ANEXO A DA NORMA DNIT 008/2003 – PRO	80
	ANEXO B – FORMULÁRIO PARA O LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO DO ANEXO B DA NORMA DNIT 008/2003 – PRO	81
	ANEXO C – QUADRO DE CÁLCULO DO IGGE DO ANEXO C DA NORMA DA NORMA DNIT 008/2003 – PRO	82
	ANEXO D – QUADRO RESUMO DO ANEXO D DA NORMA DNIT 008/2003 – PRO	83

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é a base da economia do Rio Grande do Sul, tendo a soja como seu principal produto agrícola. Na safra 2018/2019, o estado teve uma produção de 19,18 milhões de toneladas, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2019). O escoamento desses grãos é feito, em sua maioria, através do modal rodoviário, com mais de 60% do transporte de cargas pelas estradas, segundo pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2019). A cidade de Tupanciretã é responsável por uma parcela significativa desta produção, sendo conhecida como a “Capital Gaúcha da Soja”, com uma produção de área ocupada pelo grão de 149,1 mil hectares colhendo, na safra 2018/2019, o equivalente a 477,91 mil toneladas (IBGE, 2019). O transporte dos grãos produzidos na região é feito principalmente pela RSC-392, trecho entre Tupanciretã e a BR-158, sendo de grande importância para a safra regional e estadual, uma vez que é a principal rota para o Porto de Rio Grande, destino final de grande parte da produção.

Com as grandes cargas atuantes no pavimento, a sua manutenção e qualidade são de grande importância para a economia, influenciando diretamente nas condições e nos custos de escoamento da safra. Uma rodovia em más condições fará com que o transporte tenha um custo maior, maior consumo de combustível, maior tempo de frete, impactando, também, na perda de grãos no trajeto que sai da lavoura até chegar ao porto, comparado com uma estrada em boas condições.

Sabendo da importância de Tupanciretã no âmbito da produção de grãos, é de grande preocupação a condição das vias por onde esta produção agrícola será escoada. Esse motivo justifica fazer do trecho entre a RSC-392 e a BR-158 um objeto de estudo de caso, a fim de analisar o quanto as condições de uma rodovia podem impactar e influenciar nos custos operacionais finais para o usuário.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o estado atual da rodovia RSC-392 e a influência que as condições do pavimento têm nos custos operacionais aos usuários da via.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar os defeitos presentes, a frequência em que aparecem e em que nível de severidade estes encontram-se, a fim de classificar a rodovia segundo padrões de manutenção de órgãos responsáveis, como DAER e DNIT;
- b) Avaliar a irregularidade longitudinal do pavimento e o afundamento da trilha de rodas;
- c) Analisar e comparar como os defeitos evoluirão em um tempo determinado de projeto, analisados em cenários diferentes de conservação;
- d) Avaliar o impacto econômico que a manutenção e conservação da rodovia proporcionam aos usuários desta.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 1 é apresentada a contextualização do assunto e tema que será desenvolvido ao longo do estudo, demonstrando sua importância e seus objetivos. O Capítulo 2 é composto pela revisão bibliográfica, a qual representa uma revisão da literatura de conceitos pertinentes para melhor compreensão do trabalho, contextualizando estes com as normas relacionadas. Este capítulo faz um apanhado sobre os custos operacionais aos usuários e fatores da rodovia que influenciam em sua composição, os quais fazem parte da avaliação do pavimento. Mostra também o conceito de gerência de pavimentos e encerra-se com a apresentação do software HDM-4, programa utilizado para a gerência citada.

No Capítulo 3, Metodologia, estão englobados os métodos e ensaios adotados ao longo da pesquisa e necessários para obter os dados desejados, assim como os procedimentos efetuados no software. O Capítulo 4 é composto pelos resultados obtidos, demonstrados a partir de tabelas e figuras. Estes resultados são produto da análise dos dados coletados através dos procedimentos demonstrados no Capítulo 3. O Capítulo 5 apresenta as conclusões encontradas no trabalho, além de apresentar algumas sugestões para futuras pesquisas, a fim de complementar o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo irá contextualizar e introduzir os temas que serão apresentados e discutidos no desenvolver desta pesquisa. A definição de custo explica como eles se comportam, se são fixos ou variáveis, e quais itens entram na composição dos custos operacionais aos usuários. Estes custos sofrem influência em relação aos defeitos presentes na rodovia, uma vez que, se a rodovia está em mau estado de conservação, o veículo gera mais despesas. A avaliação do pavimento compreende diversos ensaios e observações, que serão descritas no decorrer deste capítulo. O HDM-4 é um software de gerência de pavimentos, ou seja, ele recebe as informações atuais do pavimento e converte em relatórios de custos, desenvolvendo assim o presente trabalho.

2.1 CUSTOS OPERACIONAIS

Segundo Caixeta-Filho e Martins (2001), a função básica dos transportes é proporcionar um aumento na disponibilidade de bens ao permitirem o acesso a produtos que, se não fosse por eles, não estariam disponíveis para um grande grupo de pessoas, ou o estariam a disposição apenas a um preço elevado. Logo, possuem uma função econômica de interligar sociedades as quais produzem bens diferentes entre si.

Com a grande extensão territorial do Brasil e crescimento da demanda de transporte, os investimentos em diferentes modais tiveram que ser analisados com o passar dos anos, sendo o modal rodoviário o mais utilizado para escoamento da produção brasileira: 75,9% das cargas são transportadas via rodovias, de acordo com a pesquisa Custos Logísticos no Brasil, da Fundação Dom Cabral (2017).

A fim de entender como são calculados os valores de fretes rodoviários, devem ser considerados os conceitos relacionados aos custos operacionais do transporte, como a diferenciação entre custo, gasto e despesa e o que cada um dos itens representa na composição do custo final. Segundo Martins (2003), gastos são os sacrifícios financeiros (desembolsos) que a empresa arca a fim de obter um produto ou um serviço, independentemente se este produto ou serviço será recebido no momento do pagamento ou não.

Com relação ao conceito de despesa, esta pode ser definida como os gastos destinados a obter receita, como, por exemplo, no caso dos fretes, comissão de vendedores, representantes, publicidade da empresa, entre outros. A empresa separa uma parte da renda para estas atividades, as quais se converterão em receita novamente no futuro.

Por sua vez, os custos estão diretamente relacionados ao processo produtivo em si, à execução efetiva de um serviço. Os custos são classificados em diretos e indiretos e em fixos e variáveis e serão apresentados na sequência.

2.1.1 Custos diretos e indiretos

Custos diretos são aqueles que podem ser diretamente associados a cada tipo de objeto, pela sua fácil identificação e aferição no momento de sua ocorrência (FARIA e COSTA, 2007), ou seja, é o custo que pode ser atrelado de forma direta ao produto, sendo facilmente mensurável e de forma objetiva. Como exemplo têm-se as comissões por vendas, o custo de aquisição de pneus ou máquinas, entre outros.

Por outro lado, os custos indiretos são mais difíceis de mensurar, pois, conforme Faria e Costa (2007), ao contrário do custo direto, este não está diretamente atrelado a um determinado produto. Para identificá-lo e calculá-lo, deve ser feito um rateio entre os diversos serviços.

2.1.2 Custos fixos e variáveis

Os custos fixos e variáveis são os que ocorrem em função do seu comportamento diante do volume de atividade.

Os custos fixos são os “custos que não se alteram a curto prazo e são incorridos ainda que a empresa deixe de operar, por exemplo, durante um feriado ou uma greve” (BOWERSOX e CLOSS, 2010, p. 306), ou seja, eles não se alteram com o volume de produção ou serviços realizados. Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, na Resolução Nº 5.820, de 30 de maio de 2018, as parcelas que compõem os custos fixos de operação do veículo são: reposição do veículo ou depreciação, reposição do equipamento/implemento, remuneração mensal do capital empatado no veículo, custos da mão de obra dos motoristas,

tributos incidentes sobre o veículo (IPVA, licenciamento, taxa de vistoria de tacógrafo) e custo de risco de acidente e roubo de veículo.

Já os custos variáveis são proporcionais às atividades produtivas que, no caso da atividade do transporte rodoviário, é referente à utilização do veículo, ou seja, à quilometragem percorrida (FARIA e COSTA, 2007). A ANTT (2018) classifica como custos variáveis: manutenção (mão-de-obra, peças, acessórios e material de manutenção), combustível, lubrificantes, lavagem e graxas e pneus e recauchutagens. Segundo Faria e Costa (2007), conhecê-los auxilia nas decisões de curto prazo, como saber o que alterar em face de fatores limitantes de mercado e de condições operacionais.

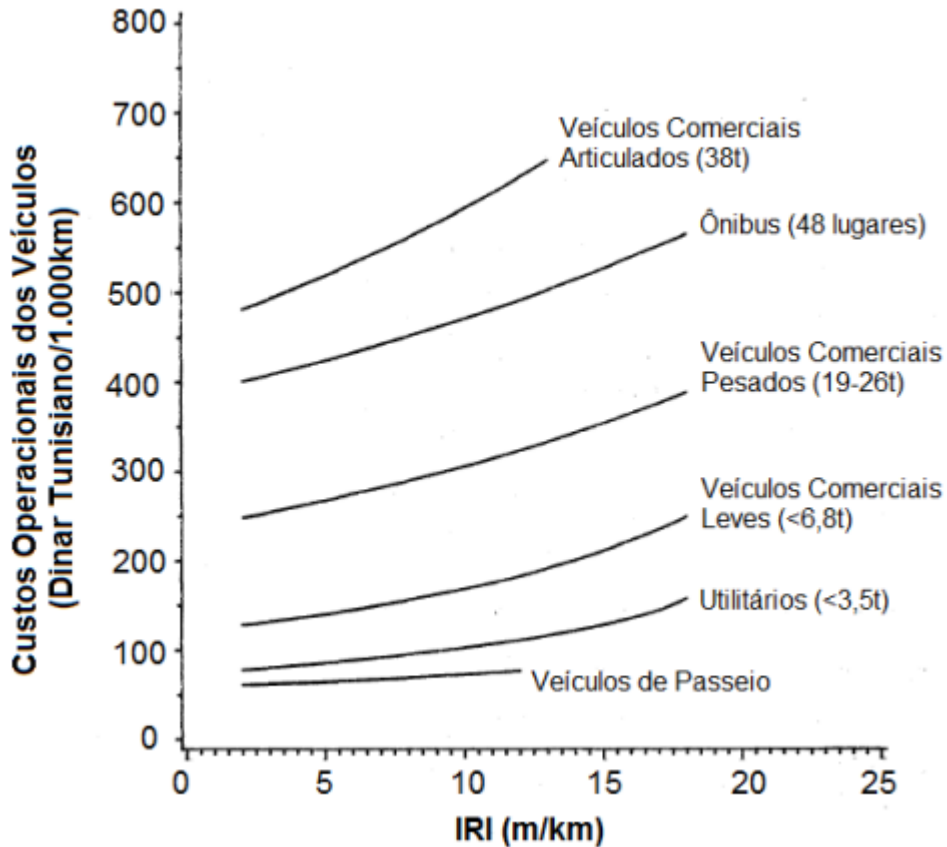
2.1.3 Custos relacionados aos usuários

De acordo com Kerali (2000), os efeitos sobre os usuários pela condição da rodovia, assim como os padrões de projeto que foram adotados na concepção da mesma, são definidos em termos de custos de usuários rodoviários, efeitos sociais e ambientais. Estes dois últimos são difíceis de quantificá-los monetariamente segundo o autor, e incluem as emissões dos veículos, o ruído do tráfego, o consumo de energia, entre outros impactos para a população atendida pela rodovia.

Por outro lado, os custos para os usuários rodoviários compreendem os custos de operação do veículo (combustível, pneus, óleo, peças sobressalentes, depreciação do veículo, entre outros), custos de tempo de viagem (para passageiros e para carga, relacionado à condição e tráfego da rodovia) e custos de acidentes rodoviários (perda de vidas, danos aos usuários da rodovia, danos a veículos e outros objetos na estrada). Essa parcela dos custos pode ser quantificada, assim como são amplamente discutidas.

Segundo Watanada *et al.* (1987), em estudos da década de 1970 e 1990, os custos operacionais aumentam a uma taxa de cerca de dois a quatro por cento por unidade de Irregularidade Longitudinal - IRI (m/km), com pequenas diferenças que variam entre os diferentes tipos de veículos (a Irregularidade Longitudinal será apresentada e discutida no item 2.2.1). À medida com que são avaliados veículos comerciais de maior carga, percebe-se o aumento acentuado da relação direta entre custos operacionais e irregularidade. A Figura 1 ilustra esse comportamento, o qual foi baseado em análise econômica feita na Tunísia, em 1983.

Figura 1 – Exemplo de relação entre custos operacionais dos veículos e IRI



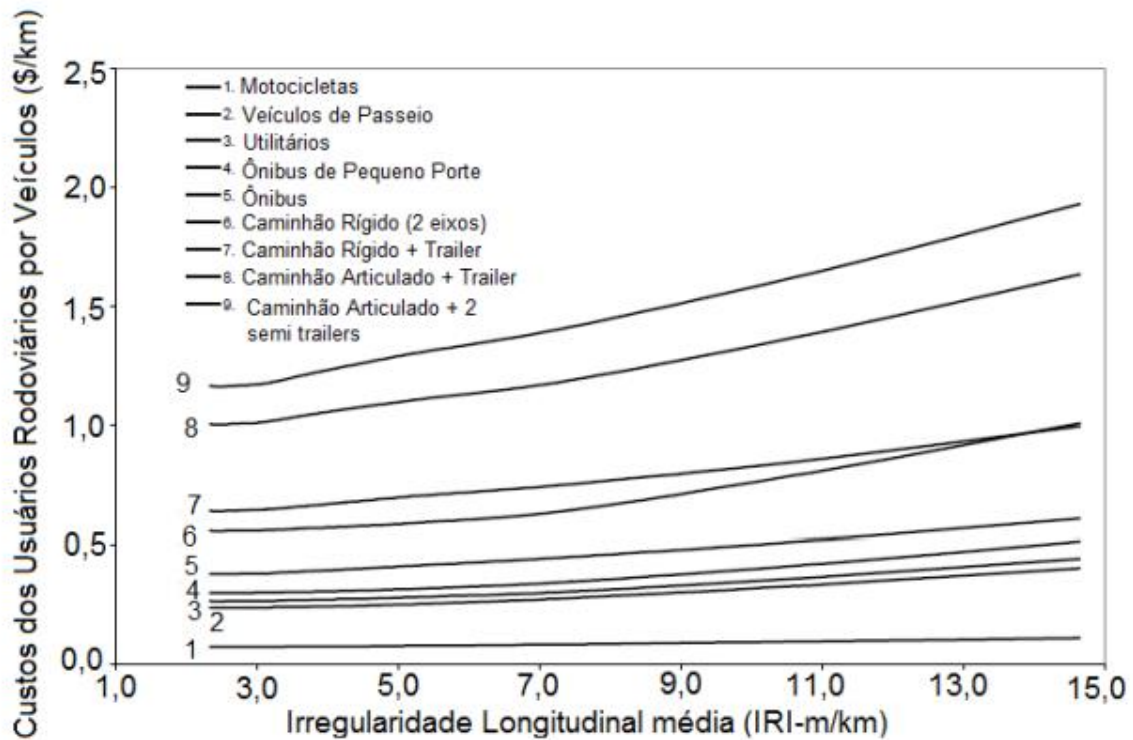
Fonte: Adaptado de Paterson (1987).

Como na Figura 1 os dados foram representados na moeda local do estudo (Dinar Tunisiano) e esta não é uma moeda usual, o gráfico foi reinterpretado e convertido pelo programa HDM-4 e a unidade dos resultados foi alterada para o Dólar Americano, e o intervalo da análise, que na figura citada era de 1.000 km, na nova interpretação é a cada km. O gráfico com as unidades convertidas, adaptado por Kerali (2000), está demonstrado na Figura 2.

Com relação a como as irregularidades no pavimento afetam os custos, no que se referem aos danos causados aos pneus dos veículos, Barnes e Langworthy (2003) concluíram que o custo adicional por milha (determinado em centavos de dólar por milha), para uma irregularidade considerada alta pelos autores (cerca de 2,7 m/km) em relação à uma irregularidade baixa (cerca de 1,2 m/km), resulta em custo percentual adicional de 22%, 20% e 25% (respectivamente para veículos de

passeio, utilitários e caminhões de pequeno porte), em fatores de substituição de pneus desgastados.

Figura 2 – Efeito das condições da rodovia nos custos operacionais dos veículos



Fonte: Adaptado de Kerali (2000).

Em termos de consumo de combustível, o trabalho mecânico dissipado dentro do sistema de suspensão, quando os veículos trafegam em rodovias com superfície desigual, provoca um consumo excessivo de energia e, conseqüentemente, de combustível, segundo Jiao e Bienvenu (2016).

2.2 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

De acordo com Bernucci *et al.* (2010), um pavimento tem seu desempenho avaliado em relação à capacidade de suporte das camadas e do subleito e à demanda a ele solicitada conforme o tipo de tráfego, analisada em projeto, para um certo período de vida útil (período de análise). Quando o pavimento não oferece mais conforto, segurança e economia ao rolamento aos usuários, este deve ser

avaliado em função dos defeitos que estão ocorrendo no mesmo, através de ensaios e análises das suas irregularidades, uma vez que um trecho que não oferece mais as melhores condições aos usuários acarreta também em prejuízos aos veículos, aumento no consumo de combustível, manutenções, entre outros. Logo, é de extrema importância avaliar as condições do pavimento a fim de oferecer economia nos custos de transporte.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT define os termos técnicos empregados em defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos, denominando os danos na superfície dos pavimentos asfálticos de acordo com suas características, a fim de classificá-los com uma terminologia normatizada (DNIT 005/2003 – TER). Esses defeitos podem aparecer precocemente, no começo da vida útil do pavimento ou a médio e longo prazo. Avaliar o pavimento conforme os defeitos nele presentes têm por finalidade fazer o diagnóstico adequado do nível de deterioração e desgaste para o tratamento, a fim de apontar alternativas de restauração e intervenções possíveis e indicadas.

Segundo Bernucci *et al.* (2010), as causas podem ser diversas, tais como: erros de projeto, inadequações ou erros na dosagem, seleção e produção de materiais; erros na etapa construtiva, de execução; e, por fim, erro na escolha e execução das intervenções de conservação e manutenção. Assim, conhecer essas causas, segundo Balbo (2007), constitui informações úteis ao engenheiro, a fim de entender os problemas que se manifestam em pavimentos tendo, assim, influencia nas técnicas que serão empregadas para serviços de manutenção.

Os erros na etapa de projeto acontecem, principalmente, em função da análise do tráfego ao qual o trecho será solicitado, pela dificuldade em medir esse dado e prever o crescimento do mesmo ao longo do período de projeto, de acordo com Bernucci *et al.* (2010). Um fator que também tem grande influência é a questão do excesso de carga, o qual não é possível prever e não é controlado comumente a partir do uso de balanças. Outros erros decorrentes de um projeto são em relação ao dimensionamento estrutural, como incompatibilidade estrutural entre as camadas (escolher materiais e espessuras que não condizem com o necessário ao tráfego), problemas no sistema de drenagem, escolha de materiais não disponíveis próximo à obra, fazendo com que a equipe tenha que fazer substituições não coerentes, entre outros (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Quanto aos erros na etapa construtiva, pode-se citar a execução de camadas mais espessas que as definidas em projeto, compactação malfeita ou inadequada, erros na imprimação ou pintura de ligação, falta de cuidado na temperatura de compactação de misturas asfálticas, e vários outros fatores (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Na escolha da técnica de manutenção ou conservação, podem ser utilizadas alternativas que causem mais problemas ainda ao pavimento, como, por exemplo, fazer uma restauração utilizando revestimentos permeáveis em superfícies trincadas, causando a entrada de água que irá percolar para outras camadas, aumentando, assim, a fissura já existente e diminuindo a resistência.

2.2.1 IRI – Irregularidade Longitudinal

A irregularidade longitudinal, de acordo com o DNER PRO 164/94, conceitua-se como “o desvio da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via”. De acordo com a norma ASTM E 867–82 (1982 *apud* Barella, 2008), são os “desvios de uma superfície com dimensões características que afetam a dinâmica do veículo, a qualidade da condução, as cargas dinâmicas e a drenagem”. Ou seja, a irregularidade longitudinal afeta a funcionalidade de um pavimento, uma vez que vai contra aos objetivos para o qual ele foi projetado, como proporcionar um rolamento rápido, seguro, confortável aos usuários e econômico.

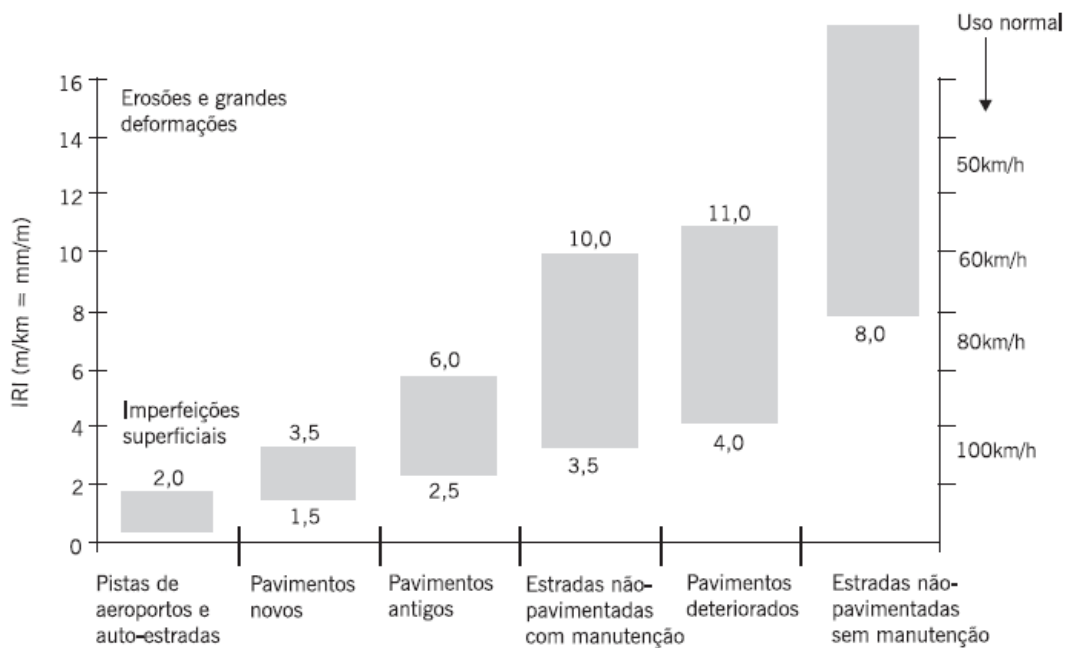
De acordo com Sayers e Karamihas (1998 *apud* BERNUCCI *et al.*, 2010), a irregularidade longitudinal é medida ao longo de uma linha imaginária, paralela ao eixo da estrada (mesmo sentido no qual os veículos trafegam) e, em geral, coincidente com as regiões de trilhas de rodas, locais onde as rodas passam com mais frequência.

A irregularidade afeta a rapidez do rolamento, pois, ao trafegar sobre um trecho irregular, o usuário necessita diminuir a velocidade. Logo, a segurança também é prejudicada, uma vez que diminui a estabilidade do veículo, e, como a drenagem é afetada também, pode causar hidroplanagem, obrigando o motorista a fazer desvios que muitas vezes não seriam indicados.

No Brasil, a escala padrão de irregularidade adotada é o Quociente de Irregularidade (QI), expresso em contagens/km, encontrado através do cálculo a

partir do nivelamento topográfico de um trecho, obtendo-se cotas com espaçamento de 0,5 m em cada trilha de rodas (DNER, 1986). Internacionalmente, o índice mais utilizado é o *International Roughness Index* – IRI, em português Índice de Irregularidade Internacional, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto, segundo Sayers e Karamihas (1996). A Figura 3 demonstra as faixas de variação do IRI dependendo da situação.

Figura 3 – Diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação



Fonte: Sayers e Karamihas, 1998 *apud* Bernucci *et al.* (2010).

Os equipamentos ou processos de medidas de irregularidade longitudinal são classificados, segundo Sayers e Karamihas (1998 *apud* BERNUCCI *et al.*, 2010), em:

a) Avaliação direta: a partir de equipamentos de classe I, como nível e mira, Dipstick, perfilômetro do TRL, e classe II, como perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, entre outros;

b) Avaliação indireta: equipamentos de classe III do tipo-resposta às distorções do pavimento, como TRL Bump Integrator, Maysmeter, Merlin, entre outros.

Os equipamentos mais difundidos internacionalmente e também no Brasil para medição do quociente de irregularidade - QI são os integradores do tipo

resposta, que se baseiam na reação da suspensão dos veículos às irregularidades existentes (DNIT, 2006a). No Brasil, para utilização e calibração de equipamentos tipo resposta, existem métodos de medição e calibração normalizados pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER nas Normas DNER-ES 173/86, DNER-PRO 164/94 e DNER-PRO 182/94.

O perfilômetro inercial a laser (Figura 4), equipamento utilizado neste trabalho, é um dos meios de se medir as irregularidades longitudinais no pavimento. Trata-se de um instrumento dotado de cinco sensores distribuídos ao longo de uma barra de suporte, de forma que a toda a largura da faixa de rolamento seja abrangida pelas leituras: é composto por um sensor central, dois nas laterais externas e outros dois distribuídos entre o sensor central e o externo.

Os módulos de medição a laser utilizados no perfilômetro funcionam por triangulação. A Figura 5 demonstra como este tipo de sensor opera. Um feixe laser de média potência é apontado perpendicularmente ao pavimento, que tem sua posição registrada por um sensor especial, para o qual o reflexo do laser na pista é direcionado (BARELLA, 2008).

Barella (2008) descreve que cada um dos módulos de distância laser tem as suas medições e sua transmissão de dados de cada medida controlada por um sistema eletrônico microcontrolado de acordo com as solicitações de um gerenciador. Esse microcontrolador verifica, a altas frequências, todos os pontos do sensor, determinando o dado de maior intensidade da luz refletida pelo laser na superfície avaliada, originando assim o resultado da medida analisada.

O perfil vertical é determinado baseado nos dados de deslocamentos medidos pelo laser e calculados pelas integrações das acelerações verticais. Feito isso, opera-se uma adição ou subtração de uma medida pela outra, em cada um dos módulos, conforme a posição revelada pelos acelerômetros (BARELLA, 2008).

O ponto principal do perfilômetro inercial a laser é o uso deste acelerômetro, que mede as acelerações verticais do eixo do veículo, as quais são processadas por algoritmos e transformadas em uma referência inercial que define a altura instantânea do sensor fixado ao veículo. A altura do solo em relação a essa referência é dada pela distância entre o acelerômetro e a superfície sob o sensor, medida sem contato, através do laser. Outro dado analisado é a distância longitudinal, cuja medida é retirada do velocímetro do veículo. Esses dados são

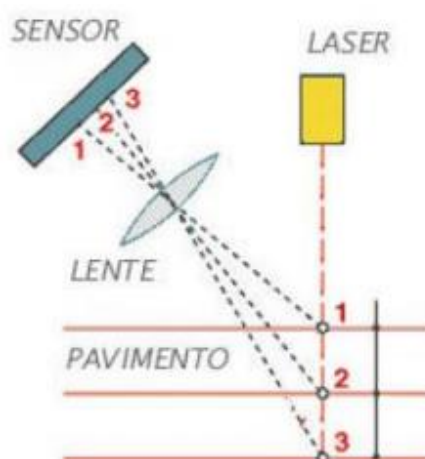
transmitidos ao computador, no qual os sensores estão conectados. O perfilômetro inercial a laser é capaz de escanear milhares de pontos por unidade de tempo.

Figura 4 – Perfilômetro inercial a laser da *Cibermétrica*



Fonte: Autora (2019).

Figura 5 – Esquema de funcionamento interno de um módulo de medição a laser por triangulação



Fonte: Barella (2008).

Os níveis relativos às condições do pavimento, avaliados em termos de irregularidade, são recomendados segundo o Manual de Restauração (DNIT, 2006a), como exposto na Tabela 1 e Tabela 2, que demonstram os valores representativos de IRI para análise das rodovias federais brasileiras, medidos com sensores sem contato (equipamentos com módulos lasers).

Tabela 1 – Condições de superfície do pavimento em termos de IRI

Conceito	IRI (m/km)
Ótimo	$0,00 < IRI \leq 1,90$
Bom	$1,90 < IRI \leq 2,70$
Regular	$2,70 < IRI \leq 3,50$
Ruim	$3,50 < IRI \leq 4,60$
Péssimo	$IRI > 4,60$

Fonte: Adaptado de DNIT (2006b).

Tabela 2 – Condições de superfície do pavimento em termos de IRI medido por sensores sem contato

Conceito	IRI (m/km)
Ótimo	$0,00 < IRI \leq 2,50$
Bom	$2,50 < IRI \leq 3,00$
Regular	$3,00 < IRI \leq 4,00$
Ruim	$4,50 < IRI \leq 5,50$
Péssimo	$IRI > 5,50$

Fonte: Adaptado de DNIT (2011).

2.2.2 ATR – Afundamento da Trilha de Rodas

Nos pavimentos com revestimento asfáltico, um dos defeitos mais frequentes é a deformação permanente em trilha de rodas (Figura 6), a qual, segundo Joliet e Malot (2000), é quando acontece simultaneamente a deformação viscosa do ligante asfáltico e a deformação plástica da estrutura mineral da mistura asfáltica.

O DNIT divide o afundamento em duas classes: afundamento plástico e afundamento por consolidação (DNIT, 2003a). O primeiro é relacionado à “fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito”. Quando se fala em camada do pavimento estamos falando de camada asfáltica, ou seja, relacionado ao comportamento visco-elástico do ligante asfáltico, e o defeito associado a ele pode ser causado por falha na dosagem da mistura asfáltica ou na seleção do revestimento asfáltico (BERNUCCI *et al.*, 2010). Já o segundo é causado devido à “consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito” (DNIT, 2003a). Segundo Bernucci *et al.* (2010), pode ocorrer quando há densificação ou ruptura por cisalhamento de camadas subjacentes ao revestimento, entre outros motivos. A principal diferença entre os dois está na existência de compensação volumétrica lateral, a qual ocorre somente no afundamento plástico.

Figura 6 - Afundamento nas trilhas de roda



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

Conforme em Moura (2010), os perigos associados ao afundamento são que os sulcos, que são os principais efeitos do afundamento, podem causar hidroplanagem devido ao acúmulo de água nestes, e os mesmos afetam a dirigibilidade ao gerar um canal de condução do veículo.

Entre os fatores que podem influenciar nesse tipo de defeito estão a temperatura ambiente, a dosagem de ligante asfáltico, distribuição granulométrica, época do ano, má compactação das camadas e também as alterações no carregamento ao qual o pavimento está sendo solicitado.

A época do ano tem impacto no comportamento tanto do revestimento asfáltico como das camadas granulares. Nos meses mais quentes, as altas temperaturas influenciam na deformação permanente do revestimento asfáltico, alterando a viscosidade do ligante asfáltico, logo, da mistura asfáltica em si. Nas camadas granulares, um fator que afeta seu comportamento são as épocas de chuva (NASCIMENTO, 2008).

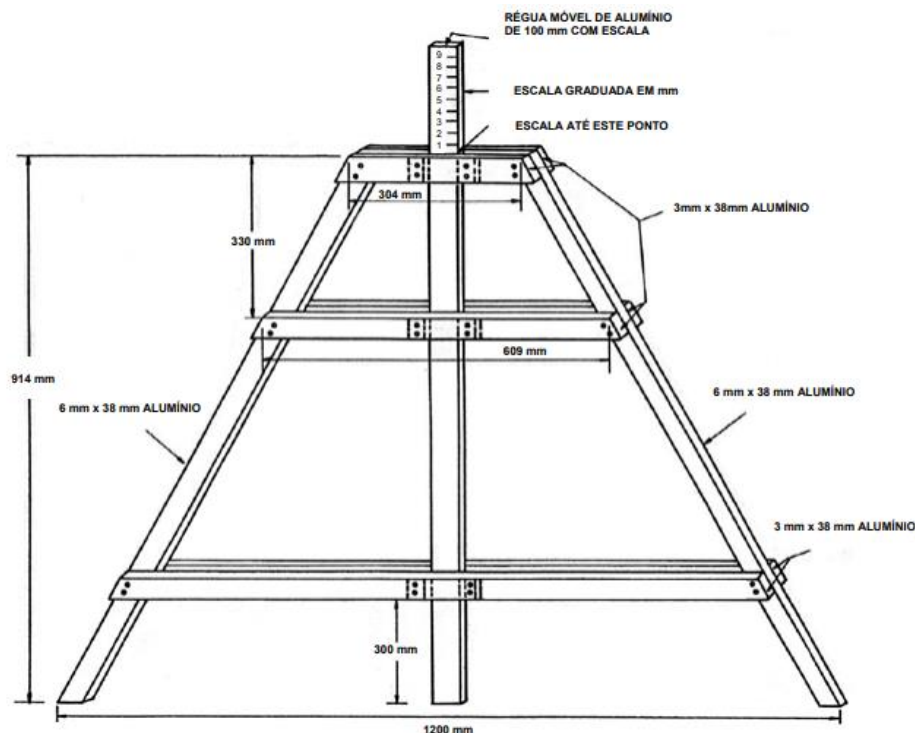
Com relação à granulometria, os agregados mais adequados para serem usados nas misturas asfálticas são os de formato aproximadamente cúbicos, e não chatos ou alongados. Partículas mais arredondadas não proporcionam o intertravamento e atrito interno necessários, fatores que resultam em maior estabilidade mecânica, características que, por sua vez, são presentes nas partículas mais angulares, segundo Nascimento (2008). Cuidados na etapa da seleção da distribuição granulométrica são de extrema importância, uma vez que esta afeta as principais características das misturas asfálticas, como atrito, durabilidade, rigidez, estabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à umidade e a fadiga (ROBERTS *et al.*, 1996).

Com relação ao ligante asfáltico, fatores como viscosidade, teor de asfalto e modificação (seja com aditivos, borracha, ou outros materiais) podem afetar o desempenho da mistura (positivamente ou negativamente). Segundo Mahboub e Little (1998), quando o asfalto é menos viscoso torna a mistura betuminosa menos rígida, o que faz com que esta seja mais suscetível a deformações irreversíveis (afundamento da trilha de rodas). A questão dos ligantes modificados pode afetar de ambas as maneiras o comportamento frente aos defeitos. Enquanto alguns aditivos contribuem em reduzir a deformação permanente quando em temperaturas elevadas, podem também prejudicar a durabilidade quando se fala em trincamento por fadiga (NASCIMENTO, 2008). Sobre o teor de asfalto, seu excesso pode causar problemas de estabilidade, atuando como lubrificante entre as partículas, enquanto baixos teores do mesmo podem prejudicar o pavimento quanto à fadiga.

Um método para analisar e medir a flecha na trilha de rodas na via é através da treliça metálica, a qual é a medida em milímetros, da deformação permanente no sulco formado nas trilhas de rodas externa (TRE) e da interna (TRI), equivalente ao ponto de máximo rebaixamento, sob o centro de uma régua de 1,20m, conforme a Figura 7.

O ATR pode também ser medido a partir dos sensores de um perfilômetro inercial, através de seus lasers diagonais, ou seja, ao mesmo tempo em que este está medindo o perfil longitudinal, como já citado, ele pode medir também o perfil transversal do pavimento. Os dados de dois dos sensores do aparelho são utilizados para obter o valor médio de afundamento da trilha de rodas.

Figura 7 – Treliça para medição das flechas da trilha de rodas



Fonte: DNIT (2003b).

Comparando os dois métodos, pela treliça metálica e pelo perfilômetro, o segundo não obtém dados tão exatos como o primeiro, visto que, como o perfilômetro tem seus dados através de módulos a laser, por vezes o sensor não está no ponto de afundamento máximo. Porém o método da treliça, para trechos muito extensos se torna pouco produtivo e até inviável, sendo perigoso para quem está fazendo o ensaio, uma vez que, se o tráfego não for fechado, o técnico de campo ficaria exposto ao movimento dos veículos. Concluindo, para trechos menores o método da treliça é válido, porém para trechos longos o perfilômetro é o mais indicado (BARELLA, 2008).

2.2.3 Levantamento Visual Contínuo – LVC

A fim de fazer uma análise dos defeitos presentes no pavimento, uma das avaliações normatizadas é o Levantamento Visual Contínuo, o qual tem seus procedimentos de execução apresentados na norma DNIT 008/2003 – PRO – “Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento” e que consiste em uma avaliação da condição da superfície do pavimento por técnicos com conhecimento acerca dos defeitos.

Segundo o resumo da norma citada (DNIT, 2003c):

Fixa as condições exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos pelo processo de Levantamento Visual Contínuo determinando-se o ICPF – Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis, ao mesmo tempo em que proporciona também os elementos necessários para o cálculo do IGGE – Índice de Gravidade Global Expedito e do IES – Índice do Estado de Superfície do Pavimento.

O procedimento se baseia no preenchimento de uma planilha, por no mínimo dois técnicos, compondo essa equipe também o motorista do veículo, o qual deve operar o automóvel a uma velocidade média aproximada de 40 km/h (não ultrapassando 60 km/h). Devem ser evitados dias chuvosos, com neblina ou pouca luz natural (início ou fim de dia). A rodovia deve ser percorrida em um único sentido, continuamente, em uma rodovia de 2 faixas de tráfego. Se a mesma possuir 2 pistas de cada lado, cada pista deverá ser analisada separadamente (DNIT, 2003c).

A extensão mínima de cada trecho deverá ser de 1 km, não ultrapassando 6 km. O objetivo deste levantamento é a coleta de dados a fim de verificar o grau de deterioração do pavimento para que o sistema de gerência de pavimentos saiba analisar e indicar a intervenção indicada e priorizar os trechos que devem receber maiores investimentos (BENEVIDES, 2006).

Segundo o DNIT (2003c), a avaliação é feita de acordo com a frequência com a qual cada defeito aparece, podendo ser alta, média ou baixa, e sendo classificados de forma diferente: panelas e remendos são analisados quanto a quantidade em que estão presentes, enquanto os demais defeitos são verificados quanto à porcentagem do trecho em que há a existência destes (Tabela 3).

A partir da coleta desses dados em uma planilha específica (ANEXO B), é possível definir os índices ICPF - Índice da Condição do Pavimento Flexível - e IGGE - Índice de Gravidade Global Expedito -, os quais se baseiam nas observações feitas pelos técnicos responsáveis pelo levantamento. O ICPF é um índice de 0 a 5 com faixas de intervalo de 1 ponto entre cada conceito, sendo 0 – 1 como péssimo e de 4 – 5 como ótimo. A descrição de cada conceito indica o modo de intervenção necessário para o trecho, como mostra a Tabela 4.

Tabela 3 – Frequência de defeitos

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

Fonte: DNIT (2003c).

Tabela 4 – Conceitos do ICPF

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 – 4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas.	4 – 3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO – Pavimento trincado, com “panelas” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 – 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS – Defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas – remendos superficiais ou profundos.	2 – 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO – Defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas – infiltração de água e descompactação da base.	1 – 0

Fonte: DNIT (2003c).

O IGGE é determinado através de uma equação, tendo pesos diferentes para cada defeito com relação à sua gravidade no trecho. A Equação (1) considera a frequência de ocorrência dos defeitos em conjuntos, separados em trincas, deformações e panelas e remendos, e os relaciona com o peso de cada um (DNIT 2003c).

$$IGGE = (P_t \times F_t) + (P_{oap} \times F_{oap}) + (P_{pr} \times F_{pr}) \quad (1)$$

Onde:

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

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

F_{pr}, P_{pr} = Frequência (quantidade por km) e Peso do conjunto de panelas e remendos.

Os pesos utilizados para cálculo são classificados nos conjuntos já explicitados (Tabela 5).

Tabela 5 – Pesos para cálculo

GRAVIDADE	P_t	P_{oap}	P_{pr}
3	0,65	1,00	1,00
2	0,45	0,70	0,80
1	0,30	0,60	0,70

Fonte: DNIT (2003c).

Os cálculos do IGGE poderão ser realizados empregando-se a planilha demonstrada no ANEXO C, e os resultados obtidos colocados no Quadro Resumo (ANEXO D), a fim de conseguir uma visão ampla e detalhada de cada subtrecho analisado.

A última etapa do Levantamento Visual Contínuo é obter o conceito do Estado da Superfície do Pavimento através do Índice do Estado da Superfície do pavimento - IES, o qual relaciona os valores encontrados no ICPF e no IGGE, e que varia de 0 a 10, sendo 0 como conceito “ótimo”, e 10 como “péssimo”, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – IES – Índice do Estado da Superfície do pavimento

DESCRIÇÃO	IES	CÓDIGO	CONCEITO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	ÓTIMO
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	BOM
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	REGULAR
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	RUIM
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	PÉSSIMO
$IGGE > 90$	10		

Fonte: DNIT (2003c).

Após a análise da combinação dos índices IGGE e ICPF, os dados obtidos no IES são apresentados juntamente no Quadro Resumo (ANEXO D), a fim de possibilitar um estudo do nível de severidade dos defeitos presentes nos subtrechos e ter uma visão geral das condições do trecho estudado para, assim, auxiliar na tomada de decisão de quais intervenções deverão ser efetuadas e com qual prioridade. Na mesma planilha, devem ser inseridas informações do trecho, data na qual o levantamento foi feito, assim como qualquer observação feita nos subtrechos.

2.2.4 Número Estrutural

O número estrutural (SN), segundo a AASHTO (1993), é um número que expressa a resistência estrutural de um pavimento, que é exigida para uma dada combinação de condição de suporte de subleito, tráfego total no horizonte de projeto, nível terminal de serventia admitido e condições ambientais. Este número foi criado a partir da pista experimental da AASHTO, e publicado por Liddle pela primeira vez, em 1962, sendo determinado através de coeficientes de camadas (características de cada material), espessura das camadas e coeficientes de drenagem - Equação (2). Segundo Ullidtz (1998), o número estrutural está relacionado ao processo de degradação de um pavimento flexível, por exemplo, um pavimento com número estrutural igual a 2,5 (considerado fraco) possui deterioração baixa, porém, com o tempo e envelhecimento deste, a taxa de deterioração acelera-

se. O contrário acontece em pavimentos considerados fortes (número estrutural igual a 5,0).

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots + a_i D_i m_i \quad (2)$$

Em que:

a_i = coeficiente da i -ésima camada do pavimento;

D_i = espessura (em polegadas) da i -ésima camada do pavimento;

m_i = coeficiente de drenagem da i -ésima camada do pavimento.

Na proposição feita pela AASHTO, a contribuição de cada camada para a resistência do pavimento é obtida através de coeficientes estruturais das camadas (a_i), utilizando seus módulos de resiliência para seus cálculos (AASHTO, 1993).

O guia de projeto da AASHTO (1993) apresenta duas equações (Equação (3) e (4)) para o cálculo dos coeficientes das camadas de base granular (a_2) e de sub-base granular (a_3), as quais são utilizadas quando os módulos de resiliência das camadas citadas são conhecidos.

$$a_2 = 0,249 (\log E_2) - 0,977 \quad (3)$$

$$a_3 = 0,227 (\log E_3) - 0,839 \quad (4)$$

Em que:

E_2 = Módulo de Resiliência da base;

E_3 = Módulo de Resiliência da sub-base.

Segundo Ullidtz (1998), a determinação das correlações entre os coeficientes das camadas (a_i em cm^{-1}) e os módulos de resiliência dos materiais (E_i em MPa) deu-se pelas equações a seguir (5, 6 e 7), as quais utilizam módulo de referência de 3000 MPa para concreto asfáltico e de 160 MPa para base e sub-base de materiais granulares.

Para concretos asfálticos:

$$a_1 = 0,40 \times \log\left(\frac{E_i}{3000 \text{ MPa}}\right) + 0,44, \text{ com } 0,20 \leq a_1 \leq 0,44 \quad (5)$$

Para bases granulares:

$$a_2 = 0,25 \times \log\left(\frac{E_2}{160 \text{ MPa}}\right) + 0,11, \text{ com } 0,06 \leq a_2 \leq 0,20 \quad (6)$$

Para sub-bases granulares:

$$a_3 = 0,23 \times \log\left(\frac{E_3}{160 \text{ MPa}}\right) + 0,15, \text{ com } 0,06 \leq a_3 \leq 0,20 \quad (7)$$

Para bases tratadas com betume:

$$a_2 = 0,30 \times \log\left(\frac{E_2}{3000 \text{ MPa}}\right) + 0,33, \text{ com } 0,10 \leq a_2 \leq 0,30 \quad (8)$$

Para bases tratadas com cimento:

$$a_2 = 0,52 \times \log\left(\frac{E_2}{3000 \text{ MPa}}\right) + 0,08, \text{ com } 0,10 \leq a_2 \leq 0,28 \quad (9)$$

A utilização do número estrutural é limitada, uma vez que o cálculo para sua obtenção não considera os métodos de cálculo das particularidades de configuração do pavimento, como, por exemplo, a posição de camadas rígidas e mais deformáveis (ALBUQUERQUE, 2007). Esse número deveria ser corrigido através da consideração da deformabilidade do subleito do pavimento, para a Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários (PICR) e estudos do HDM, situações estas onde o número estrutural foi avaliado como a medida mais significativa de resistência da estrutura do pavimento nas relações de previsão do desempenho (DNR-PRO 159/85). Com a correção citada, este parâmetro passou a ser chamado de Número Estrutural Corrigido (SNC).

Segundo Queiroz (1981) e Paterson (1987), o SNC é calculado incluindo os dados de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e módulo de resiliência da camada de

revestimento asfáltico de solos obtidos em corpos-de-prova imersos em água, simulando situações críticas de drenagem, a fim de padronizar os valores de SNC para todas as variações das condições climáticas brasileiras. A Equação (10) mostra como o SNC é obtido:

$$SNC = 0,0394 \sum a_i * h_i + 3,15 * \log CBR - 0,85(\log CBR)^2 - 1,43 \quad (10)$$

Em que:

SNC = número estrutural corrigido;

a_i = coeficiente estrutural da base e/ou revestimento (vide Queiroz, 1981);

h_i = espessura base e/ou revestimento (mm);

CBR = Índice Suporte Califórnia in-situ do subleito (%).

2.3 GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

Para que o pavimento esteja sempre atendendo aos critérios de conforto, segurança e economia ao usuário é indicado que exista o chamado Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), que, segundo Haas *et al.* (1994), é um conjunto de ferramentas e atividades integradas que incluem obtenção inicial de dados para planejamento, programação, construção, manutenção e reabilitação ao longo do tempo. O SGP auxilia na tomada de decisão sobre que estratégias adotar em um dado período de tempo, analisando o estado do pavimento, visando menores custos aos órgãos que mantêm o trecho e aos usuários da rodovia.

A preocupação com a manutenção e gerenciamento das vias teve início nos Estados Unidos, entre as décadas de 1950 e 1960, quando foi realizado pela AASHTO - *American Association of State Highways Officials* o *AASHTO Road Test*, um estudo em várias pistas experimentais com o objetivo de avaliar o desempenho de vários tipos de estruturas de pavimentos.

O primeiro guia sobre gerência de pavimentos foi publicado em 1985, pela AASHTO, que era válido em todo o território americano. Isso impulsionou a *Federal Highway Administration - FHWA* a estabelecer que todos os estados norte americanos deveriam implantar um SGP em suas rodovias caso desejassem obter recursos do governo para obras nessa área, de modo que, em 1994, 58 das 60

agências viárias dos Estados Unidos já haviam implantado um SGP (ALBUQUERQUE, 2007).

O principal responsável por difundir pelo mundo o conceito de Sistemas de Gerência de Pavimentos foi o Banco Mundial, através do programa *Highway Development and Management - HDM*, o qual requeria a aplicação da metodologia para a obtenção de investimentos para a infraestrutura rodoviária (no próximo tópico será conceituado de forma mais abrangente o HDM, seu histórico e funcionamento).

No Brasil, já vinham sendo desenvolvidos no Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER estudos e trabalhos relacionados ao modelo HDM e ao SGP na década de 1970, mas foi somente a partir de 1982 que a implantação do Sistema de Gerência de Pavimentos se daria, por iniciativa do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), o qual decidiu formalizar a criação da Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos (CPGP), tendo na equipe ainda representantes dos demais setores técnicos do DNER (DNIT, 2011).

Segundo Visconti (2000), no período de 1985/1986 começou-se a aplicar os resultados dos levantamentos de campo no sistema HDM-III, a fim de se obter alternativas de manutenção para os trechos da rede federal pavimentada e, assim, analisar a mais economicamente viável. Esse sistema foi adotado até meados de 1999, quando a Divisão de Apoio Tecnológico do IPR concluiu estudos que demonstravam que os levantamentos das condições dos pavimentos realizados não apresentavam vantagens com o modelo HDM-III, podendo-se obter esses mesmos dados apenas com o Levantamento Visual Contínuo, podendo destinar recursos para coleta de outros dados, como volume de tráfego, deflexão e quociente de irregularidade, dados de entrada a serem utilizados no novo sistema HDM-4.

Fernandes Jr. *et al.* (1999) levantou algumas das questões a serem resolvidas em um SGP, auxiliando assim o gestor na tomada de decisões, são elas:

O que precisa ser feito em uma determinada rede de pavimentos? (seleção da estratégia ótima); Como devem ser executados os serviços? (definição das atividades de Manutenção e Reabilitação para cada seção); Quando serão necessárias intervenções para evitar a ruptura e prolongar a vida em serviço do pavimento?; Onde se localizam os projetos prioritários? (pensar nas características de tráfego).

Segundo Lima *et al.*, 2006, as etapas para o desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos, de um modo geral, são:

- a) *Inventário*: coleta e organização dos dados necessários para a correta implementação e para o bom desempenho do sistema, que podem ser descrição e identificação das seções (nome da rua, tipo de pavimento, etc.), características geométricas (comprimento, largura, número de faixas etc.), histórico de construção, manutenção e reabilitação e custos associados, características e dados de tráfego (capacidade da via, tráfego diário médio etc.);
- b) *Avaliação da condição do pavimento*: a avaliação da condição atual das seções pode ser efetuada apenas por levantamento de defeitos no campo, ou seja, quantificar o tipo, a severidade e a extensão de cada uma das formas de deterioração normalmente encontradas na superfície do pavimento da rede a ser analisada;
- c) *Priorização*: adequação das necessidades aos recursos disponíveis;
- d) *Programação das atividades de M&R de pavimentos*: analisam-se, em nível de rede, diferentes estratégias de manutenção e reabilitação, como por exemplo, não fazer nada, manutenção corretiva, manutenção preventiva, recapeamento e reconstrução. Feita a análise em nível de rede, passa-se à análise em nível de projeto, que consiste na definição das atividades de manutenção conforme o tipo de deterioração apresentado e, quando for o caso, no dimensionamento dos reforços e da reconstrução;
- e) *Implementação*: funcionamento efetivo do sistema, utilização da estratégia selecionada e realimentação a partir das análises dos resultados obtidos).

2.4 HDM 4

Os primeiros passos para a criação de um modelo de avaliação de projeto rodoviário foram feitos em 1968 pelo Banco Mundial. Em conjunto com o *Transport and Road Research Laboratory* (TRRL) e *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*- LCPC, foi obtida a base de dados para o primeiro modelo. O *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) foi contratado para realizar um levantamento bibliográfico e construir um modelo com a base de dados e informações disponíveis. O Modelo de Custo Rodoviários, em inglês *Highway Cost Model* - HCM, foi o resultado produzido pelo MIT (MOAVENZADEH *et al.*, 1971) e foi

um avanço considerável em relação a outros modelos usados para as interações entre os custos de construção, manutenção e os custos operacionais do veículo (KERALLI, 2000).

O HCM destacou as áreas as quais eram necessárias maiores pesquisas para fornecer um modelo mais apropriado para países em desenvolvimento com relações adicionais para esse ambiente. Em seguida, a TRRL, em colaboração com o Banco Mundial, realizou um campo de estudo no Quênia para investigar a deterioração de estradas pavimentadas e não pavimentadas, bem como os fatores que afetavam os custos operacionais dos veículos em um país desenvolvido. Os resultados deste estudo foram utilizados pela TRRL para produzir a primeira versão protótipo do *Road Transport Investment Model* (RTIM), para os países em desenvolvimento (ABAYNAYAKA; MOROSIUK e HIDE, 1977). O Banco Mundial, em 1976, financiou novos desenvolvimentos do HCM pelo MIT, que resultaram na primeira versão do modelo *Highways Design and Maintenance Standards Model - HDM* (HARRAL *et al.*, 1979).

Mais trabalhos foram realizados em vários países para ampliar o escopo geográfico dos modelos RTIM e HDM. Um deles foi feito no Caribe pelo TRRL, a fim de investigar os efeitos da geometria da estrada nos custos operacionais do veículo (MOROSIUK e ABAYNAYAKA, 1982; HIDE, 1982). Outro foi realizado na Índia pelo *Central Road Research Institute - CRR*, onde foram estudados os problemas operacionais particulares de estradas indianas em termos de pavimentos estreitos e grandes proporções de transporte não motorizado (CRR, 1982). Houve também um estudo no Brasil, através da extinta Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes - GEIPOT e financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, o qual estendeu a validade de todas as relações do modelo (GEIPOT, 1976). Este trabalho resultou na Pesquisa do Interrelacionamento dos Custos Rodoviários - PICR, a qual teve como objetivo a obtenção das informações necessárias para a quantificação dos custos totais da modalidade rodoviária (FERNANDES JR., 1994), os quais representam os custos de infraestrutura somados aos custos de operação da frota, sendo a primeira parcela desembolsada pelo governo e a segunda pelos usuários. O Banco Mundial desenvolveu o modelo HDM-III, incorporando os resultados de todos os estudos anteriores (WATANATADA *et al.*, 1987).

Na metade dos anos 90, as relações técnicas contidas nos modelos existentes estavam ultrapassadas. Mesmo que muitos dos modelos de deterioração do pavimento ainda fossem relevantes, existiam outros índices que deveriam ser incorporados, como maior variedade de tipos e estruturas de pavimentos e condições de utilização, aspectos relacionados a acidentes, efeitos de climas mais frios, efeitos ambientais e efeitos de congestionamentos. Para melhorar o modelo, um projeto internacional coordenado pelo PIARC (World Road Association), o ISOHDM (*International Study of Highway Development and Management*), foi conduzido a fim de estender o alcance do modelo HDM-III, obtendo-se o HDM-4 (*Highway Development and Management*), um programa de análise técnico-econômica (KERALI *et al.*, 2000).

O HDM-4 é um modelo computacional que analisa e integra as funções de planejamento, programação, preparação e operações. Ele compara estimativas de custos, fazendo avaliações das alternativas de construção, manutenção e intervenções inseridas no programa a fim de chegar a um sistema de para gerência de rodovias. Os dados finais fornecidos pelo programa possibilitam uma análise de sensibilidade quanto aos parâmetros mais relevantes, como custos unitários, composição do tráfego, características da rede viária, entre outros.

Esse modelo computacional é baseado no conceito de análise do ciclo de vida do pavimento, que é normalmente de 15 a 40 anos. Esse conceito é aplicado para prever o comportamento da rodovia em relação à deterioração do pavimento, efeitos das intervenções, efeitos sobre os usuários e efeitos socioeconômicos e ambientais. A deterioração do pavimento tem relação direta com o carregamento gerado pelo tráfego, sistemas de drenagem inadequados e condições climáticas.

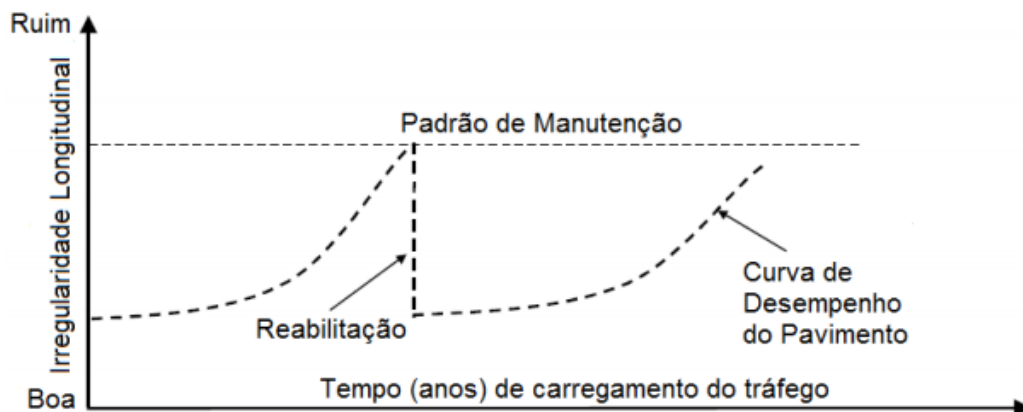
Segundo Kerali (2000), a taxa de deterioração de um pavimento é diretamente afetada pelos padrões de manutenção aplicados a fim de reparar defeitos na superfície do mesmo (como trincas, fissuras, panelas, entre outros) ou preservar a integridade estrutural do pavimento, como a execução de tratamentos superficiais, por exemplo, permitindo que a estrada suporte o tráfego de acordo com o projeto. A condição em longo prazo de um pavimento está diretamente associada a estas intervenções.

A Figura 8 ilustra a tendência prevista no desempenho do pavimento representada pela qualidade de pilotagem que é frequentemente medida em termos do IRI. Quando um padrão de manutenção é definido, ele impõe um limite ao nível

de deterioração que um pavimento pode atingir. Conseqüentemente, além dos custos de capital da construção de estradas, os custos totais incorridos pelas agências rodoviárias dependerão dos padrões de manutenção e melhoria aplicados às redes rodoviárias.

Os impactos da condição da estrada são medidos em termos de custos do usuário da estrada, e outros efeitos sociais e ambientais. Os custos do usuário do trecho incluem os custos de operação do veículo (combustível, pneus, óleo, peças, depreciação e utilização de veículos, etc.), os custos do tempo de viagem – para passageiros e carga, e os custos para a economia dos acidentes rodoviários (isto é, perda de vidas, da estrada, danos nos veículos e outros objetos na estrada).

Figura 8 – Conceito de análise do ciclo de vida do pavimento no HDM-4



Fonte: Kerali (2000).

Os benefícios econômicos dos investimentos rodoviários são então determinados pela comparação dos fluxos de custos totais para várias obras rodoviárias e alternativas de construção contra uma alternativa de caso base (sem projeto ou mínimo), geralmente representando o padrão mínimo de manutenção de rotina. O HDM-4 foi projetado para fazer estimativas comparativas de custo e análises econômicas de diferentes opções de investimento. Ele estima os custos de um grande número de alternativas ano a ano para um período de análise definido pelo usuário. Todos os custos futuros são descontados para o ano base especificado. Para fazer essas comparações, são necessárias especificações detalhadas de programas de investimento, padrões de projeto e alternativas de

manutenção, juntamente com custos unitários, volumes de tráfego projetados e condições ambientais (KERALI, 2000).

2.4.1 Modelos

Segundo Kerali (2000), a estrutura geral do HDM-4 é baseada nas três ferramentas de análise (Estratégia, Programa e Projeto), que operam em dados definidos em um dos quatro gerenciadores de dados: rede rodoviária (*road network*), que define as características físicas das seções da estrada em uma rede ou sub-rede a ser analisada; frota de veículos (*vehicle fleet*), que define as características da frota de veículos que operam na rede rodoviária a ser analisada; obras rodoviárias (*road works*), que define padrões de manutenção e melhoria, juntamente com seus custos unitários, que serão aplicados aos diferentes trechos rodoviários a serem analisados e configuração HDM (*HDM configuration*), que define os dados padrões a serem usados nos aplicativos. Um conjunto de dados padrão é fornecido quando o HDM-4 é instalado pela primeira vez, mas os usuários devem modificá-los e calibrá-los a fim de se adequar ao objeto de estudo local.

A análise técnica dentro do HDM-4 é realizada usando quatro conjuntos de modelos: *RD* (deterioração da estrada): prevê a deterioração do pavimento para estradas betuminosas, de concreto e não vedadas; *WE* (efeitos de obras): simula os efeitos das obras na condição do pavimento e determina os custos correspondentes; *RUE* (efeitos do usuário da estrada): determina os custos de operação do veículo, acidentes rodoviários e tempo de viagem; *SEE* (efeitos sociais e ambientais): determina os efeitos das emissões do veículo e do consumo de energia (KERALI, 2000).

O modelo simula, para cada seção rodoviária, ano a ano, a condição da estrada e os recursos utilizados para manutenção em cada estratégia, bem como as velocidades dos veículos e os recursos físicos consumidos pela operação do veículo. Após as quantidades físicas envolvidas na construção, estimam-se as obras rodoviárias e a operação do veículo, os preços especificados pelo usuário e os custos unitários são aplicados para determinar os custos financeiros e econômicos. Os benefícios relativos são então calculados para diferentes alternativas, seguidas pelos cálculos de valor presente e taxa de retorno.

Analisando a discussão feita por Watanatada *et al.* (1987), percebe-se que a evolução da irregularidade é influenciada mais significativamente por quatro componentes: passagem do tráfego, número estrutural, condição de superfície relacionada ao trincamento e presença de painéis, além da combinação de idade e fatores ambientais. De acordo com Kerali (2000), o modelo HDM-3 foi um marco na utilização de ferramentas de previsão em avaliações técnicas e econômicas de projetos de investimento rodoviário, visando analisar estratégias e padrões de atuação.

2.4.2 Dados de entrada

Segundo Visconti (2000), os principais dados de entrada no HDM-4, os quais são relacionados aos segmentos administrados pelo DNIT, são:

- Padrão de tráfego (frequente, fluxo livre, interurbano ou sazonal);
- Zona climática (com suas respectivas características, como temperatura e pluviosidade);
- Classe da rodovia (troncal, principal ou local);
- Classe da superfície (betuminosa, concreto de cimento Portland ou não pavimentada);
- Materiais do pavimento (concreto asfáltico com base granular, tratamento superficial com base estabilizada, por exemplo);
- Extensão do segmento;
- Largura da rodovia e do acostamento;
- Número de faixas;
- Volume de tráfego diário motorizado e não motorizado;
- Dados de geometria (subidas mais descidas em m/km, curvatura média horizontal);
- Limite de velocidade;
- Altitude média da região;
- Tipos de drenagem;
- Material da camada de rolamento;
- Espessura do revestimento mais recente;
- Espessura do revestimento anterior;

- Ano da última reconstrução ou da construção;
- Ano da última reabilitação;
- Ano do último recapeamento;
- Ano da última manutenção
- Dados estruturais (Número estrutural corrigido pelo CBR do subleito);
- Índice de irregularidade superficial – IRI;
- Área total de trincas, em porcentagem;
- Área de desgaste, em porcentagem;
- Número de buracos (panelas) por km;
- Erosão de borda, em m²/km;
- Afundamento de trilha de rodas, em mm;
- Resistência ao atrito;
- Estado da drenagem
- Composição do tráfego e características técnicas e econômicas dos veículos, incluindo custos operacionais;
- Previsão de crescimento da frota.

2.4.3 Análises econômicas

A proposta da análise dos investimentos nas obras rodoviárias é a de selecionar os projetos com maior retorno econômico, uma vez que a decisão de investir na rodovia já foi tomada, como mostra a Figura 9. Esse retorno é relacionado, principalmente, com a economia dos usuários, a qual é associada aos custos operacionais e de tempo de viagem.

Quando a intervenção é feita no momento mais adequado, isso gera redução de custos para ambas as partes, tanto de construção e manutenção como para os usuários, como mostra a Figura 10.

Os relatórios finais gerados pelo HDM-4 demonstram, por exemplo, a previsão de progressão da irregularidade durante o período de análise, os recursos necessários para implementar a estratégia no período e os benefícios econômicos para a sociedade daí decorrentes. Exemplos dos valores apresentados nestes relatórios são: valor presente do custo total de transportes para a sociedade; valor presente do custo para colocar em prática a estratégia para o órgão rodoviário; valor

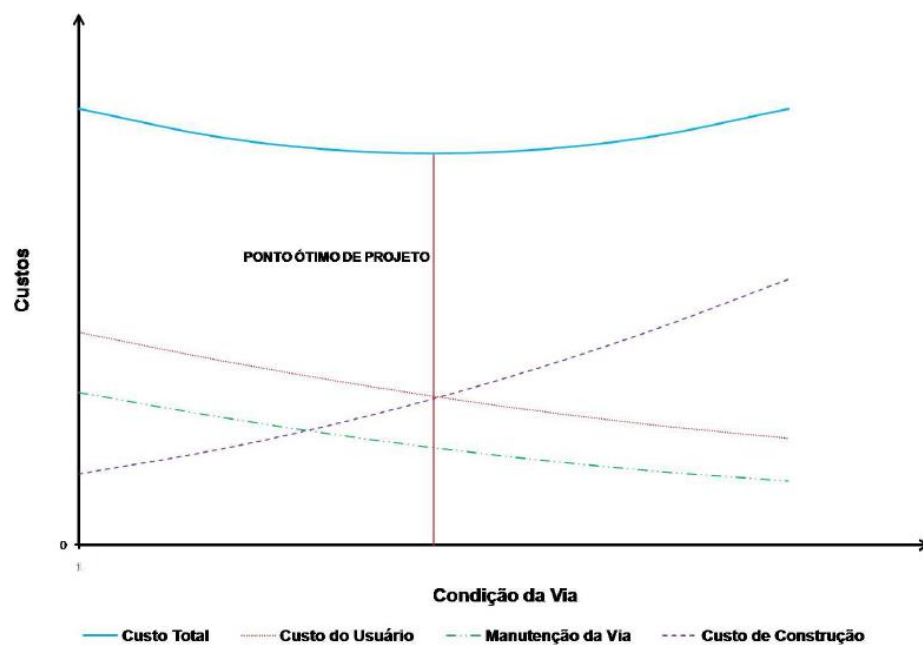
presente do custo para os usuários (subdividido em custo de operação e de tempo de viagem); valor presente do benefício líquido; taxa interna de retorno (expressa em porcentagem), entre outros.

Figura 9 – Fluxograma de um SGP com alternativas das estratégias de M&R



Fonte: DNIT (2011).

Figura 10 – Parcelas que compõem o custo total de uma via

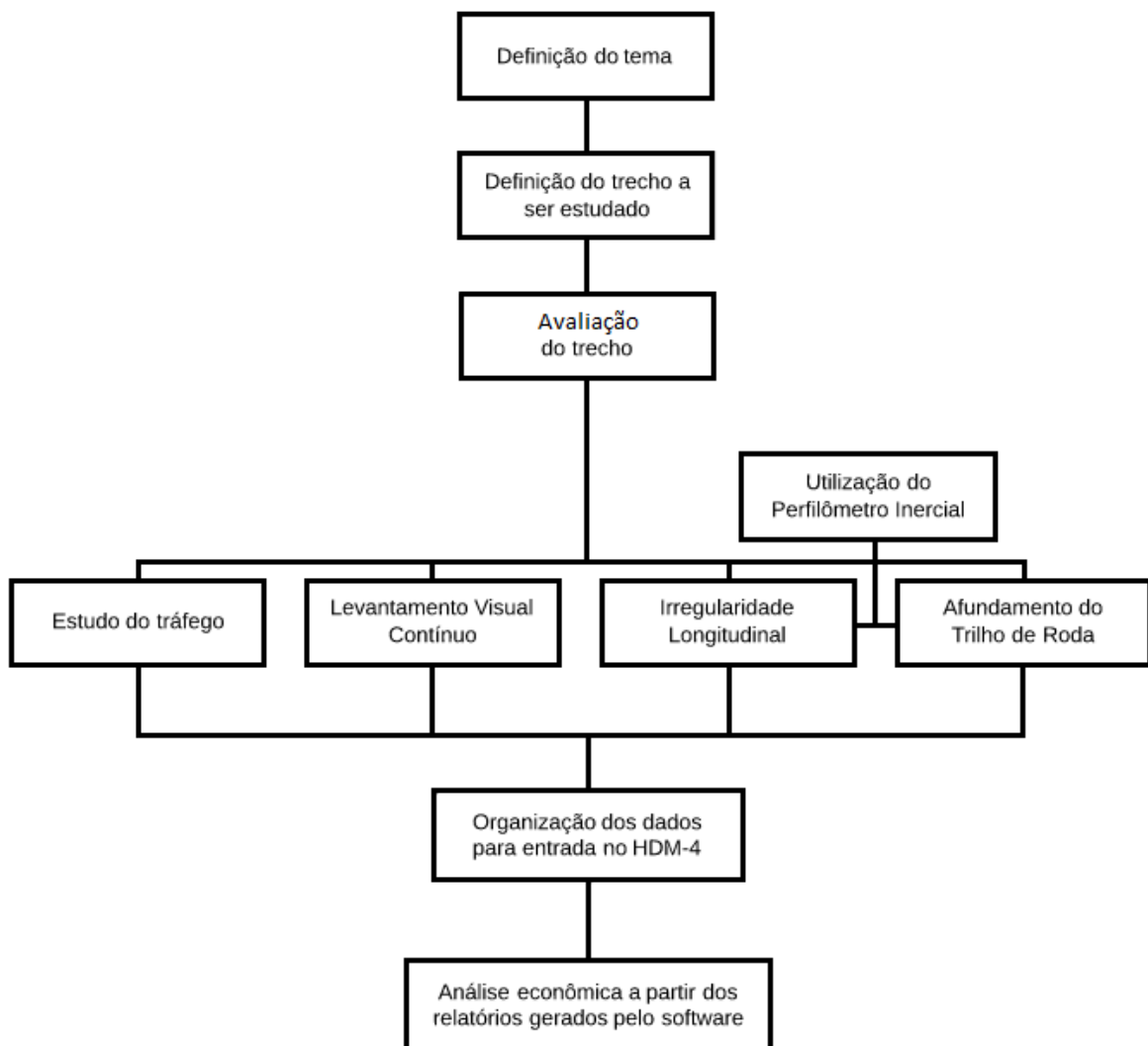


Fonte: Paterson (1991) *apud* Nunes (2012).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho tem como caráter ser uma pesquisa exploratória, sendo assim desdobrada em pesquisa de campo e estudo de caso, e tem seu fluxograma apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma simplificado da metodologia do presente estudo

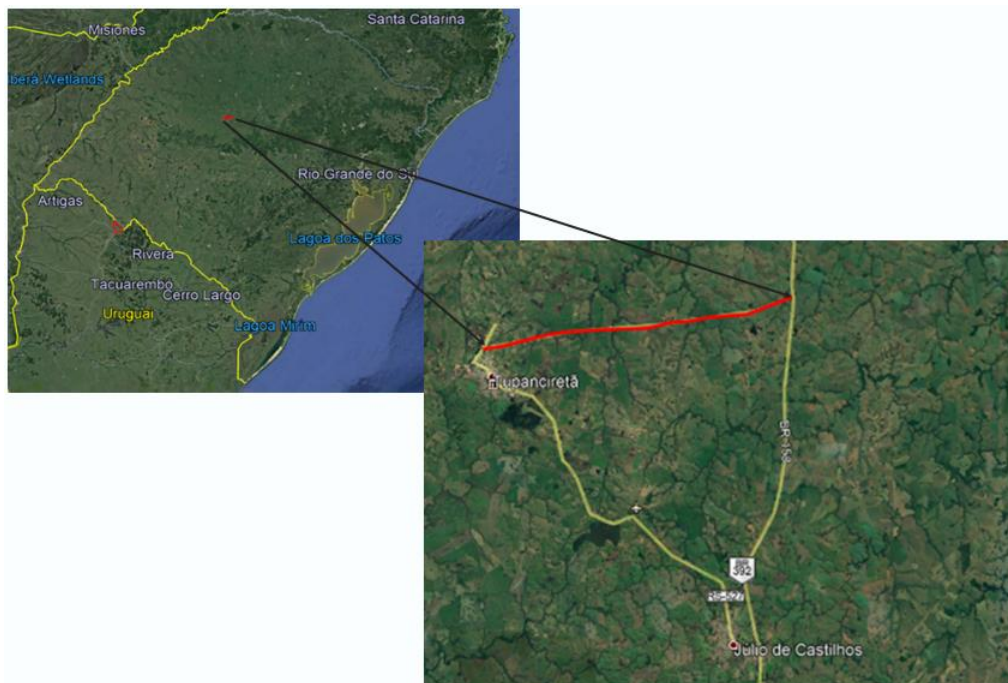


Fonte: Autora (2019).

3.1 DESCRIÇÃO DO TRECHO ANALISADO

Conforme o fluxograma mostrado na Figura 11, primeiramente foi definido o trecho a ser estudado, tendo base em sua importância para a economia da região. A rodovia compreendida entre a cidade de Tupanciretã, uma das maiores produtoras de soja do estado do Rio Grande do Sul, e a BR-158, localiza-se na região central do estado e tem uma extensão de cerca de 20 km, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Localização de Tupanciretã e da RS-392

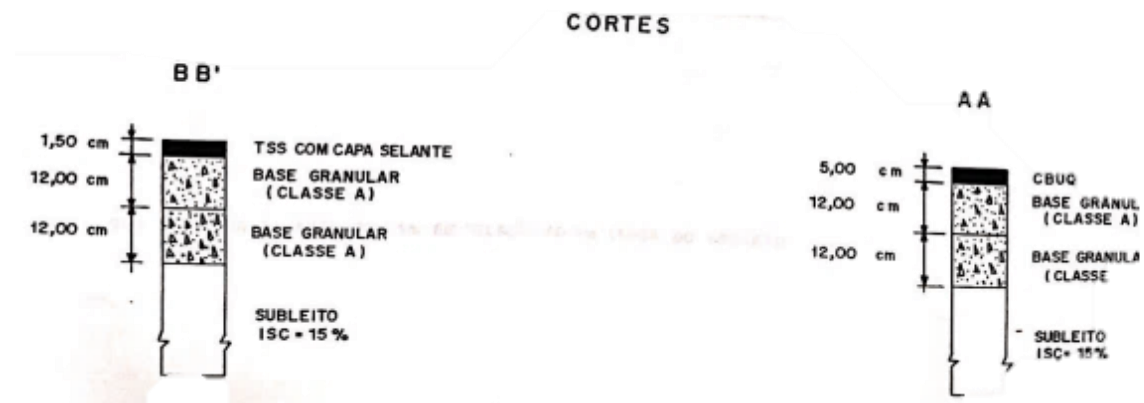


Fonte: Google Maps (2019).

A RS-392 foi construída em 1996, tendo sua estrutura original demonstrada na Figura 13, conforme informações do DAER (Cruz Alta). Seu subleito possui CBR (California Bearing Ratio ou ISC – Índice de Suporte Califórnia) de 15%, base granular classe A com 24 cm de espessura, sendo executada em duas camadas de 12 cm cada, e uma camada de revestimento de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) de 5 cm na pista (Corte AA'), e, no acostamento, uma camada de 1,50 cm de TSS (tratamento superficial simples) com capa selante (Corte BB'). É composta por duas pistas de 3,50 m de largura cada, e os acostamentos com 1,00 m de largura nas laterais.

O Valor Diário Médio - VDM de projeto, para o ano de abertura (1996) era de 488 veículos, com previsão de 10 anos de vida útil e um VDM ao final desse período de 656 veículos (2006), e um valor $N_{USACE} = 3,26 \times 10^6$ (número de repetições de carga do eixo padrão a que o pavimento estaria sujeito anualmente).

Figura 13 – Estrutura original do pavimento – projeto



Fonte: DAER (1996).

A intervenção mais recente no trecho foi realizada em 2017, sendo executadas atividades de conserva da rodovia através de remendos localizados e microrrevestimento asfáltico, segundo informações obtidas em contato com o DAER/Cruz Alta.

Quanto ao clima local, o RS, devido a sua posição geográfica (paralelo 30°) representa sua paisagem de condições climáticas da zona tropical à temperada, e clima mesotérmico úmido sem estação seca.

A área do município de Tupanciretã, segundo a classificação estabelecida, enquadra-se na área de clima mesotérmico estação seca. As precipitações pluviométricas ficam em torno de 1.500 a 1.800mm, e as temperaturas máximas oscilam em média entre 23° e 25° e as mínimas entre 11° e 14°. As anormalidades climáticas que ocorrem no município e demais municípios do RS, estão associados ao fenômeno “El Nino”, desencadeando alto índice pluviométrico no Estado, inclusive em Tupanciretã.

3.2 CONTAGENS DE TRÁFEGO

A fim de determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam pela via num determinado período de tempo são efetuadas contagens volumétricas. No presente trabalho foram realizadas duas contagens, em dois dias distintos (9 e 12 de abril de 2019), época da safra da soja na região, a fim de verificar o volume de veículos que utilizariam a via em uma das épocas mais movimentadas do ano. O motivo de terem sido feitas duas contagens se deu pelo fato de, no final de semana anterior ao dia 9 (terça-feira), ter chovido e isso poderia ser um fator que afetaria o escoamento da produção. A segunda contagem foi realizada a fim de analisar se a chuva realmente afetaria esse escoamento.





















As contagens foram feitas seguindo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006b), de forma manual e com o auxílio de planilhas com a classificação dos veículos (Figura 14), com intervalos de 1 hora durante 16 horas (começando às 6:00 e finalizando às 22:00).

Foram adotados os valores do segundo dia de contagem, por terem sido obtidos valores maiores de tráfego. Foi feita uma contagem para cada pista (uma para cada sentido da rodovia), e os resultados estão demonstrados na Tabela 7.

Após a análise dos dados da contagem, que totalizaram em um VDM de 1774 veículos, o próximo passo foi calcular o fator de equivalência de carga (FC ou FEC). O FEC é a conversão dos valores de um tráfego misto em um número equivalente de operações do eixo considerado padrão, que é o Eixo Simples de Rodas Duplas (ERSD) com 80 kN e pressão de inflação dos pneus de 0,55 Mpa. Neste trabalho, a escolha por adotar o fator determinado pela *United States Army Corps of Engineers - USACE* e não o determinado pela AASHTO se deu devido a “sua maior disseminação nos órgãos rodoviários nacionais” (BUENO, 2019). As expressões para o cálculo dos fatores de equivalência de carga são apresentadas na Tabela 8.

Para efeitos de cálculo de carga efetiva sobre o pavimento, apenas são considerados os veículos comerciais, ou seja, descontam-se os números relacionados a motos, veículos de passeio e utilitários, pois, segundo Balbo (2007), estes representam cargas relativamente inferiores que o eixo padrão e produzem danos pouco consideráveis, se comparados aos comerciais. No caso estudado, o VDM comercial é de 461 veículos, cerca de 30% dos veículos totais contabilizados.

Figura 14 – Ficha Horária de Contagem de Tráfego

Tipo de veículo	Configuração	Horário	Total	Horário	Total
Moto					
Carro de passeio					
Utilitário, pick-up e furgão					
ônibus (2 eixos)					
ônibus (3 eixos)					
Caminhão médio	2C 				
	3C 				
	4C 				
Caminhão semi-reboque	2S1 				
	2S2 				
	2S3 				
	2S3 				
	3S3 				
Duplo semi-reboque	3S2S2 				
	2C2 				
Caminhão reboque	2C3 				
	3C2 				
	3C3 				
Treminhão	3C2C2 				
Rodotrem	3S2C4 				
Outros					

Fonte: Adaptado de Rede de Tecnologia em Asfaltos (2011).

Tabela 7 – Tráfego Diário Médio

(continua)

TIPO		TRÁFEGO	
		TUPANCIRETÃ – BR-158	BR-158 – TUPANCIRETÃ
MOTO		16	18
CARRO DE PASSEIO		346	354
UTILITÁRIO		294	285
ÔNIBUS	2 EIXOS	18	15
	3 EIXOS	70	0
CAMINHÃO MÉDIO	2C	78	65
	3C	0	78
	4C	0	0
CAMINHÃO SEMIRREBOQUE	2S1	2	0
	2S2	7	0

(conclusão)

TIPO	TRÁFEGO		
	TUPANCIRETÃ – BR-158	BR-158 – TUPANCIRETÃ	
	2S3	4	5
	2S3	32	1
	3S3	32	22
DUPLO SEMIRREBOQUE	3S2S2	0	32
CAMINHÃO-REBOQUE	3C2	0	0
	3C3	0	0
TOTAL		899	875
TOTAL		1774	

Fonte: Autora (2019).

Tabela 8 – Fatores de equivalência de carga da USACE

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte: Adaptado de DNIT (2006b).

Após fazer a distinção dos veículos comerciais, estes são novamente classificados quanto aos eixos que cada um possui, em quantidade de ESRS (Eixo Simples Rodado Simples), ESRD (Eixo Simples Rodado Duplo), ETD (Eixo Tandem Duplo) e ETT (Eixo Tandem Triplo) em cada veículo (Tabela 9).

Tabela 9 – Definição dos eixos predominantes no trecho

(continua)

	VDM	ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Ônibus (2 eixos)	30	1	1	0	0	
Ônibus (3 eixos)	3	1	0	1	0	
Caminhão médio	2C	135	1	1	0	0
	3C	156	1	0	1	0
	4C	0	1	0	0	1
Caminhão semirreboque	2S1	0				
	2S2	2	1	1	1	0

(conclusão)

		VDM	ESRS	ESRD	ETD	ETT
	2S3	12	1	1	0	1
	2S3	5	1	1	0	1
	3S3	54	1	0	1	1
Duplo semirreboque	3S2S2	64	1	0	3	0

Fonte: Autora (2019).

Devido à impossibilidade de realização de pesagens dos veículos comerciais que circulavam no trecho analisado, todos os eixos dos veículos comerciais foram admitidos com sua carga máxima legal, sendo estas demonstradas na Tabela 10.

Tabela 10 – Cargas máximas legais dos eixos comerciais adotados na composição do tráfego

Tipo de Eixo Comercial	Carga Máxima Legal (kN)	Carga Máxima Legal (t)
ESRS – Eixo Simples de Rodas Simples	60	6
ESRD – Eixo Simples de Rodas Duplas	100	10
ETD – Eixo Tandem Duplo	170	17
ETT – Eixo Tandem Triplo	255	25,5

Fonte: Adaptado de CONTRAN (1998).

Com a obtenção dos dados apresentados, foi possível calcular o Fator de Veículo (FV), que é o índice que representa o potencial destrutivo médio dos veículos comerciais que trafegam na rodovia em relação ao eixo padrão, segundo a Equação (11). A Tabela 11 apresenta os cálculos que envolvem os eixos, seus pesos e as frequências com que apareceram, obtendo-se um valor final para o FV de 10,57.

$$FV = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i(\%) \times FEC_{i,p})}{100} \quad (11)$$

Em que:

p_i = valor da percentagem de eixos tabulados em relação ao número total de veículos;

$FEC_{i,p}$ = cômputo do produto para cada percentagem de eixo indicada.

Tabela 11 – Cálculo do Fator de Carga do trecho

FATOR DE CARGA			PESAGEM AMOSTRAL		461
EIXOS	CARGA (t)	Qtde	Pi (%)	FEC USACE	Pi (%) x FEC
ESRS	6	461	100,000	0,278	27,791
ESRD	10	184	39,913	3,289	131,293
ETD	17	407	88,286	8,549	754,742
ETT	25,5	71	15,401	9,300	143,229
				FV	10,571

Fonte: Autora (2019).

Pode-se então calcular o valor N seguindo a Equação (12), sendo ele o “número de repetições de um eixo–padrão, durante o período de vida útil do projeto, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento” (DNIT, 2006b). Este valor envolve fatores relacionados à composição do tráfego, como fator de equivalência e de veículos (FEC e FV, calculados anteriormente), taxa de crescimento do tráfego (t), período de projeto (P), VDM, fator de frota (Ff – percentagem de veículos do VDM composta por veículos comerciais), fator de sentido (Fs – percentagem dos veículos do VDM que trafegam em um sentido), fator climático regional (Fr – relacionado ao regime de chuvas de determinado local) e fator de distribuição (Fd – percentagem dos veículos que trafegam na faixa mais carregada). Os valores obtidos são apresentados na O número N encontrado pela Equação (12) é da ordem de 10^7 e é classificado, segundo Ceratti *et al.* (2015), como volume moderado de tráfego ($10^6 < N \leq 10^7$). Segundo o autor, trechos que têm volume de tráfego de $N \leq 10^6$ são denominados de baixo volume, faixas entre $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$ são de alto volume e $N > 5 \times 10^7$ são considerados de volume muito pesado de tráfego.

Tabela 12.

$$N = 365 \times VDM \times \left[\frac{(1 + P \times t^2) - 1}{2 \times t} \right] \times FV \times Ff \times Fs \times Fd \times Fr \quad (12)$$

O número N encontrado pela Equação (12) é da ordem de 10^7 e é classificado, segundo Ceratti *et al.* (2015), como volume moderado de tráfego ($10^6 < N \leq 10^7$). Segundo o autor, trechos que têm volume de tráfego de $N \leq 10^6$ são denominados de baixo volume, faixas entre $10^7 < N \leq 5 \times 10^7$ são de alto volume e $N > 5 \times 10^7$ são considerados de volume muito pesado de tráfego.

Tabela 12 – Cálculo do Número N

VDM	1774
P (anos)	10
t	0,03
Fd	1
Ff	0,260
Fr	1
Fs	0,5
FV	10,571
N	1,023E+07

Fonte: Autora (2019).

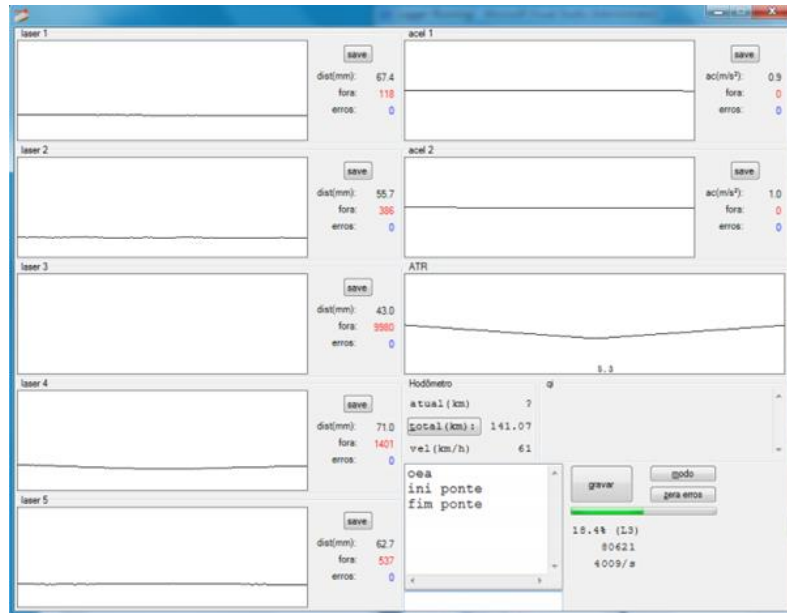
3.3 AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL E AFUNDAMENTO EM TRILHA DE RODAS

As avaliações de irregularidade longitudinal e de afundamento em trilha de rodas no trecho estudado foram realizadas com o uso do perfilômetro laser do grupo GEPPASV (UFSM), produzido pela *Cibermétrica Equipamentos e Serviços Ltda.*

Para a análise do IRI, foram considerados os dados provenientes dos sensores posicionados nas trilhas de rodas interna e externa da faixa na qual o veículo trafegava, sendo a média destes dois valores o resultado adotado para análise no software HDM-4. O afundamento em trilha de rodas foi obtido através das medidas nas trilhas de rodas interna e externa, sendo, também, adotada a média entre esses dois valores como ATR de cada trecho. Os dados foram recebidos pelo *CiberLogger*, que é um software de *Cibermétrica*, o qual captura de dados em alta velocidade dos módulos de medição laser, dos acelerômetros e dos hodômetros, destinados ao cálculo dos perfis longitudinais de pavimentos asfálticos. Este software, demonstrado na Figura 15, permite ao usuário o registro de observações em tempo real, vinculadas ao hodômetro e a inclusão de marcos quilométricos.

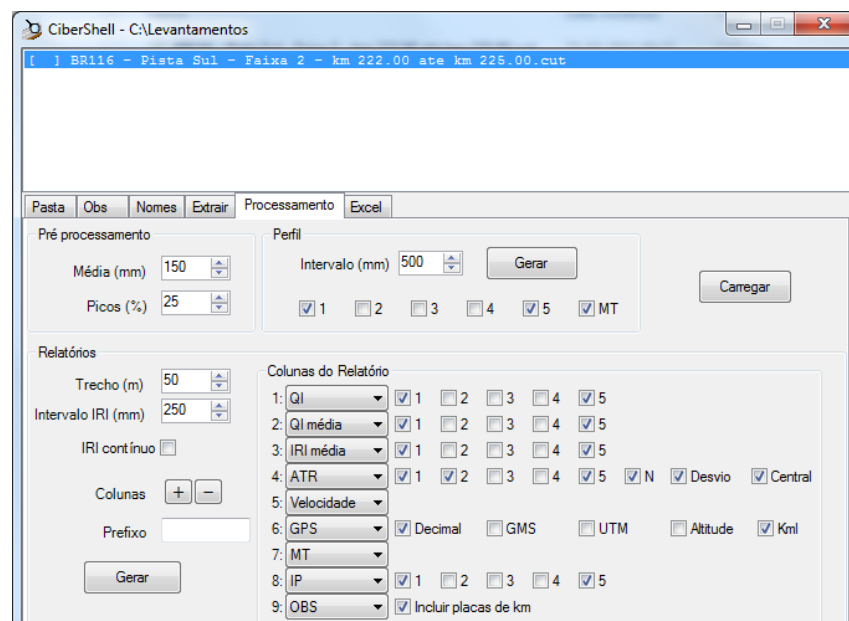
Os dados foram processados através do software *CiberShell* (Figura 16), sendo adotada a distância de 1000 metros (1 quilômetro) entre cada processamento.

Figura 15 – Tela de análise dos dados recebidos pelo perfilômetro a laser (*CiberLogger*)



Fonte: Ciber métrica (2019).

Figura 16 – Tela de processamento de dados (software *CiberShell*)



Fonte: Ciber métrica (2019).

3.4 ANÁLISE ECONÔMICA COM O SOFTWARE HDM-4

O primeiro passo para a utilização do software HDM-4 compreende a inserção da frota de veículos observada na contagem de tráfego, como demonstram as Figura 17 e 18. Esta etapa envolve os tipos de veículos, consumo de combustível, valor do veículo novo, valor de pneu, valores de manutenção, preço do litro de combustível e do litro de óleo lubrificante. Os valores utilizados foram baseados no banco de dados feito por Bueno (2019) e estão demonstrados na Tabela 13.

Figura 17 - Dados dos veículos analisados na contagem

Fonte: Autora (2019)

Figura 18 - Interface de criação da frota de veículos

Name	Class	Data Last Modified	Base Type	Category
Caminhão Médio - 2C	Trucks	26/04/2019	Truck Light	Motorised
Caminhão Médio - 3C	Trucks	26/04/2019	Truck Light	Motorised
Caminhão Médio - 4C	Trucks	26/04/2019	Truck Light	Motorised
Caminhão Semi-Reboque 2S1	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Caminhão Semi-Reboque 2S2	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Caminhão Semi-Reboque 2S3	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Caminhão Semi-Reboque 2S3	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Caminhão Semi-Reboque 3S3	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Caminhão+Reboque 3C2	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Caminhão+Reboque 3C3	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Duplo Semi-reboque	Trucks	26/04/2019	Truck Medium	Motorised
Motos	Motorcycles	26/04/2019	Motorcycle	Motorised
Ônibus (2 eixos)	Buses	26/04/2019	Bus Heavy	Motorised
Utilitário	Utilities	26/04/2019	Four Wheel Drive	Motorised
Veículo de Passageiro	Passenger Cars	26/04/2019	Car Medium	Motorised

Buttons at the bottom: Add New Vehicle, Delete, Edit, Description and Currency..., Edit Traffic Growth Sets..., Save, Close

Fonte: Autora (2019).

Tabela 13 – Preços inseridos no HDM-4 para a frota de veículos

Veículo	Veículo Novo	Pneu	Litro de Combustível	Litro de Óleo Lubrificante	
Moto	R\$ 15.000	R\$ 250	R\$ 4,40	R\$ 25	
Carro de Passeio	R\$ 70.000	R\$ 300	R\$ 4,40	R\$ 25	
Utilitário, pick-up, furgão	R\$ 100.000	R\$ 580	R\$ 3,50	R\$ 25	
Ônibus (2 eixos)	R\$ 200.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25	
Ônibus (3 eixos)	—	—	—	—	
Caminhão Médio	2C	R\$ 150.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	3C	R\$ 300.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	4C	R\$ 320.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
Caminhão Semirreboque	2S1	R\$ 320.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	2S2	R\$ 320.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	2S3	R\$ 320.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	2S3 Comb.	R\$ 320.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	3S3	R\$ 320.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
Duplo Semirreboque	3S2S2	R\$ 370.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
Caminhão + reboque	2C2	—	—	—	—
	2C3	—	—	—	—
	3C2	R\$ 370.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
	3C3	R\$ 370.000	R\$ 1.300	R\$ 3,50	R\$ 25
Treminhão	3C2C2	—	—	—	—
Rodotrem	3S2C4	—	—	—	—

Fonte: Bueno (2019).

Para a inserção do trecho estudado no software, o mesmo foi dividido em vinte subtrechos de um quilômetro cada, sendo analisado nos dois sentidos (sentido BR-158 – Tupanciretã e sentido Tupanciretã – BR-158) (Figura 19).

Nesta etapa foram inseridas informações referentes a vários aspectos do trecho, as quais estão resumidas na Tabela 14, tais como:

- Definição do subtrecho, com dados como identificação, comprimento, largura da faixa e do acostamento, tipo do pavimento, zona climática do local do trecho, tipo de fluxo, entre outros (Figura 20);
- Geometria do local;
- Características do pavimento, como ano de construção ou da última reabilitação, CBR do subleito, espessura da camada de revestimento (mais recente e antigo, caso houver), entre outros;

- d) Condição do pavimento, como irregularidade (IRI), percentual de área trincada, número de painéis, condições de drenagem, afundamento em trilha de rodas, entre outros;
- e) Tráfego motorizado (atuante), compreendendo os valores obtidos na contagem, detalhando entre os veículos comerciais e de passeio;
- f) Outras informações e parâmetros de ajuste, como número de faixas analisadas, faixa de irregularidade considerada na análise, entre outras.

Figura 19 – Interface de criação da rede rodoviária analisada no HDM-4

ID	Description	Data Last Modified	Surface Class	Pavement Type	RD Calibration Item	Length (km)	Carriageway Width (m)	Traffic Flow	Shoulder Width (m)	Speed Flow Type	Traffic Flow Pattern	Accident Class	Climate Zone
21	BR 158 - RS 392 km 439	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
22	BR 158 - RS 392 km 440	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
23	BR 158 - RS 392 km 441	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
24	BR 158 - RS 392 km 442	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
25	BR 158 - RS 392 km 443	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
26	BR 158 - RS 392 km 444	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
27	BR 158 - RS 392 km 445	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
28	BR 158 - RS 392 km 446	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
29	BR 158 - RS 392 km 447	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
210	BR 158 - RS 392 km 448	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
211	BR 158 - RS 392 km 449	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
212	BR 158 - RS 392 km 450	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
213	BR 158 - RS 392 km 451	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
214	BR 158 - RS 392 km 452	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
215	BR 158 - RS 392 km 453	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
216	BR 158 - RS 392 km 454	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
217	BR 158 - RS 392 km 455	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
218	BR 158 - RS 392 km 456	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
219	BR 158 - RS 392 km 457	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
220	BR 158 - RS 392 km 458	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.20	RS 329 - BR 158 km 439	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.19	RS 329 - BR 158 km 440	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.18	RS 329 - BR 158 km 441	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.17	RS 329 - BR 158 km 442	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.16	RS 329 - BR 158 km 443	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.15	RS 329 - BR 158 km 444	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.14	RS 329 - BR 158 km 445	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.13	RS 329 - BR 158 km 446	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.12	RS 329 - BR 158 km 447	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.11	RS 329 - BR 158 km 448	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.10	RS 329 - BR 158 km 449	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.9	RS 329 - BR 158 km 450	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.8	RS 329 - BR 158 km 451	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid
1.7	RS 329 - BR 158 km 452	02/05/2019	Bituminous	Asphalt Mix on Granular Base	5	1.0	3.60	One-way	0.00	Two Lane R/L	Free-Flow	Two Lane R/L	Tropical Humid

Fonte: Ciber métrica (2019).

Figura 20 – Interface dos dados do trecho (definição)

Definition	Geometry	Pavement	Condition	Other	Motorised Traffic	Asset Valuation
Name:	BR 158 - RS 392 km 439		Speed Flow Type:	Two Lane Road		
ID:	2.1		Traffic Flow Pattern:	Free-Flow		
Link Name:			Accident Class:	Two Lane Road		
Link ID:			Climate Zone:	Tropical Humid		
Length:	1	km	Road Class:	Primary or Trunk		
Cway Width:	3,5	m	Calibration Set:	Tese Lucas		
Shoulder Width:	0	m	Calibration Item:	5		
Flow Direction:	One-way downhill		Selected Calibration Item Summary			
Surface Class:	Bituminous		Pavement type:		Asphalt Mix on Granular Base	
			Surface material:		Asphaltic Concrete	

Fonte: Autora (2019).

Tabela 14 – Configuração padrão dos trechos no HDM-4

Largura da faixa (m)	3,50
Direção do tráfego	Direção única
Classe do revestimento	Betuminoso
Tipo de fluxo de velocidade	Rodovia de duas faixas
Padrão do fluxo de tráfego	Fluxo contínuo
Classe de acidentes	Rodovia de duas faixas
Zona climática	Tropical úmida
Classe da rodovia	Primária
Tipo de pavimento	Revestimento asfáltico e base granular
Material de superfície	Concreto asfáltico
Superelevação (%)	8
Curvatura Horizontal Média (°/km)	3
Limite de velocidade (km/h)	80
Número estrutural	2,438
CBR Subleito (%)	15
Drenagem	Excelente
Grau de compactação da mistura (%)	97
Número de faixas submetidas ao tráfego	1

Fonte: Autora (2019).

Dentre as informações para base de dados de entrada do software está o número estrutural do pavimento, o qual é calculado através da Equação (13), e os dados necessários para este cálculo estão demonstrados na Tabela 15.

$$SNC = 0,0394 \sum a_i * h_i + 3,15 * \log CBR - 0,85(\log CBR)^2 - 1,43 \quad (13)$$

Em que:

SNC = número estrutural corrigido;

a_i = coeficiente estrutural da base e/ou revestimento (vide Queiroz, 1981);

h_i = espessura base e/ou revestimento (mm);

CBR = Índice Suporte Califórnia in-situ do subleito (%).

Tabela 15 – Número estrutural corrigido

Número estrutural corrigido	
a_1	2
a_2	1
h_1	5
h_2	24
CBR	15
logCBR	1,176091259
SNC	2,43858

Fonte: Autora (2019).

A calibração dos modelos de evolução dos parâmetros do pavimento ao longo do tempo adotada foi a mesma que Bueno (2019) adotou em seu trabalho, como mostra a Figura 21. O procedimento adotado pelo autor foi de fazer alterações nos valores dos coeficientes referentes aos componentes de contribuição estrutural (Kgs) e de trincamento (Kgc). Bueno (2019) optou por manter o componente referente à contribuição ambiental no fator unitário, uma vez que o ajuste para a zona climática foi realizado dentro das configurações das pistas, e manteve nulos os parâmetros designados aos componentes de deformação permanente e panelas.

Figura 21 – Interface de ajuste dos parâmetros de calibração do modelo no HDM-4

RD Calibration Item	Kf	Kgm	Kgs	Kgc	Kgr	Kgp	Vehicle studded (%)
Calibração Lucas	1.00	1.00	0.20	0.40	0.00	0.00	
Default	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

Fonte: Bueno (2019).

A etapa seguinte consiste em inserir os padrões de intervenção desejados a serem analisados. Estes são utilizados para representar os níveis aceitáveis da condição da via pela agência/setor que o mantém, assim como a resposta que se deseja obter com dada ação. Essas intervenções podem ser tanto de manutenção e reabilitação como de ampliação e melhorias (no presente trabalho foram utilizadas apenas formas de manutenção/reabilitação).

As obras que têm por objetivo a manutenção ou reabilitação do trecho compreendem as ações que são necessárias a fim de manter o nível de conservação aceitável adotado pelo órgão mantenedor, o qual leva em consideração o tipo de pavimentação da via, grau e tipo de intervenção desejados e o feito a ser alcançado.

No presente trabalho, assim como no de Bueno (2019), o item que foi observado para indicar o período adequado para tal intervenção foi a evolução da irregularidade (IRI), delimitada em certa faixa sendo que, assim que o IRI do trecho atingisse o máximo permitido pela faixa adotada, a intervenção seria feita, e assim se repetiria até o fim do período de projeto, sendo o IRI o gatilho para a intervenção.

Após a introdução da base de dados necessária para o programa gerar o relatório final e fazer a análise desejada, foi realizado o estudo do efeito das irregularidades longitudinais nos custos operacionais dos usuários da rodovia, assim como os custos das intervenções para os órgãos mantenedores.

A moeda adotada para a análise econômica no software foi o dólar americano (US\$), porém, para demonstração dos valores finais, os resultados foram convertidos para reais (R\$) com a cotação do dia 29/07/2019 (US\$1,00 = R\$3,78).

A intervenção escolhida para ser executada no trecho foi baseada no trabalho de Bueno (2019), onde foi adotada a realização de fresagem parcial de 2,5cm da camada asfáltica antiga, aplicação de pintura de ligação e recapeamento com 3,0cm de concreto asfáltico convencional (DNIT Faixa C – 50/70), quando o IRI previsto pelo HDM atingir 2,7m/km (gatilho de intervenção adotado com base em documentos do DNIT (DNIT, 2006a; DNIT, 2011 e DNIT, 2011), editais de concessão rodoviária para os Programas de Exploração das Rodovias (PER) e Contratos de Restauração e Manutenção (CREMA) de rodovias estaduais e nacionais).

Para a avaliação dos custos referentes aos usuários da rodovia (*Road User Custs – RUC*) estão incluídos os custos operacionais do veículo, custos de tempo de

viagem e custos relacionados a acidentes (apenas o primeiro item citado foi analisado neste trabalho).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo será dividido em duas partes: a primeira é a exibição dos dados encontrados nos levantamentos de campo no trecho; e a segunda é constituída pela análise econômica pelo programa HDM-4, com a exibição dos valores relativos aos efeitos da irregularidade longitudinal para os custos operacionais aos usuários da rodovia.

4.1 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

A fim de compreender e estudar como está o estado atual da rodovia analisada, os itens a seguir demonstram os dados de campo obtidos durante a avaliação do trecho.

4.1.1 Irregularidade Longitudinal

Os dados referentes ao IRI, obtidos a partir dos métodos já explicados anteriormente, foram processados pelo programa *CiberShell*. Os dois sentidos da rodovia foram analisados, como mostram a Tabela 16, e ilustrados na Figura 22.

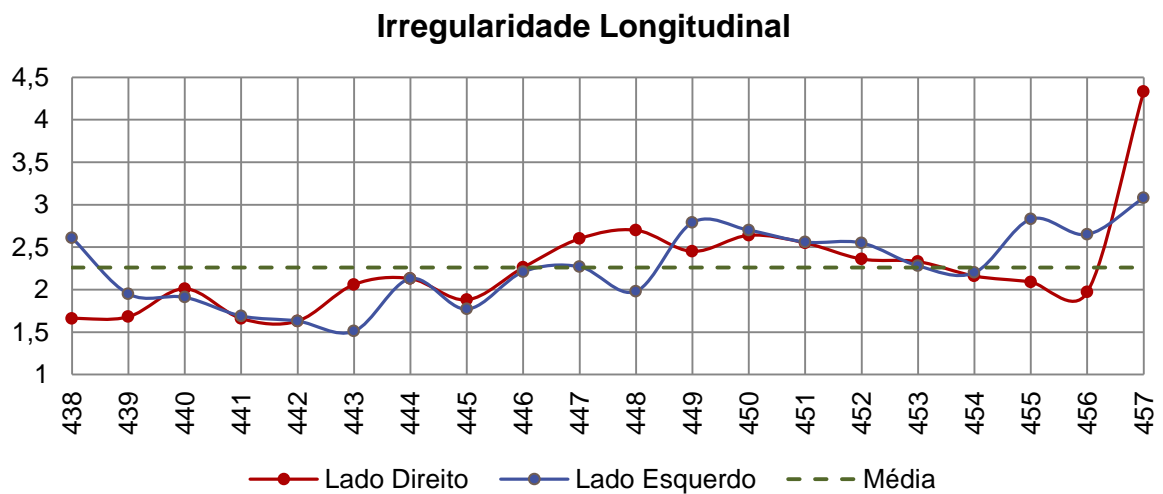
Comparando os resultados encontrados na Figura 23 com os dados divulgados pela Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2019), a qual percorreu e avaliou toda a malha rodoviária federal pavimentada e os principais trechos estaduais pavimentados, totalizando 108.863 km e classificando a malha em 11,9% como ótima, 29,1% como boa, 34,6% estado regular, 17,5% como ruim e 6,9% como péssimo, observa-se que o trecho estudado está em melhores condições que a média brasileira. Comparando os dados obtidos no presente trabalho com os resultados encontrados pela Pesquisa, esta avaliou essa rodovia em 14,4% da sua extensão como ótima, 52,0% como boa, 23,3% em regular, 7,4% como ruim e 2,9% como péssimo, ou seja, o trecho analisado está em melhores condições que toda a rodovia. Vale salientar que estes dados da pesquisa referem-se ao estado geral da rodovia, seja no pavimento, na sinalização ou na geometria da via.

Tabela 16 – Valores de IRI médio (m/km) pelo programa *CiberShell*

km Inicial	km Final	IRI Médio (m/km)	
		Lado Direito	Lado Esquerdo
438	439	1,66	2,61
439	440	1,68	1,95
440	441	2,01	1,91
441	442	1,66	1,69
442	443	1,63	1,63
443	444	2,06	1,51
444	445	2,13	2,13
445	446	1,88	1,77
446	447	2,26	2,21
447	448	2,60	2,27
448	449	2,70	1,98
449	450	2,45	2,79
450	451	2,64	2,70
451	452	2,55	2,56
452	453	2,36	2,55
453	454	2,33	2,28
454	455	2,16	2,20
455	456	2,09	2,83
456	457	1,97	2,65
457	458	4,33	3,08
Média		2,26	2,27
Média		2,26	
Desvio Padrão		0,594	0,445
Coefficiente de variação		0,263	0,197

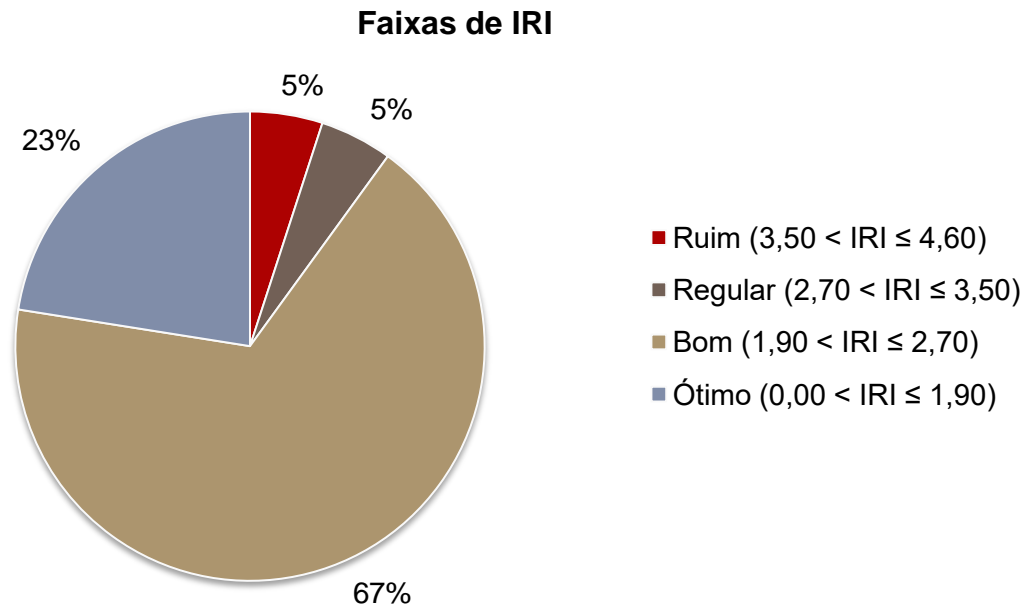
Fonte: Autora (2019).

Figura 22 - Valores de IRI Médio por km



Fonte: Autora (2019).

Figura 23 – Classificação do trecho analisado pelo critério do IRI



Fonte: Autora (2019).

4.1.2 Afundamento em Trilha de Rodas

Para os valores atuais do afundamento em trilha de rodas (ATR) na rodovia adotada para o presente estudo, foram utilizados os valores médios determinados entre as trilhas de rodas interna e externa. Estes valores foram obtidos através do levantamento feito pelo perfilômetro inercial e processados pelo programa *CiberShell*.

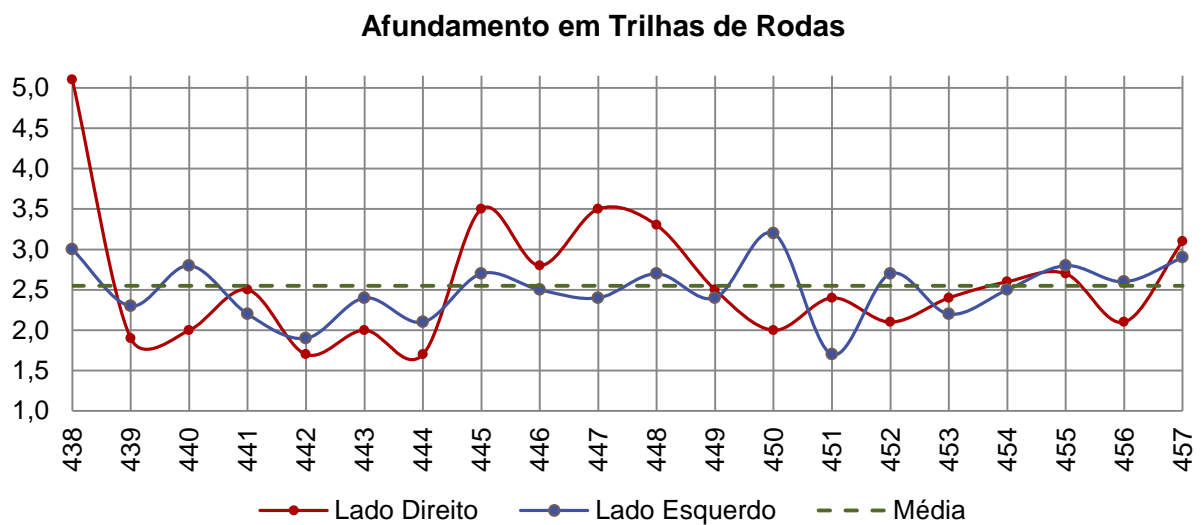
O trecho, como já explicado anteriormente, foi analisado em ambos os sentidos da via, diferenciados em Lado Direito (sentido Tupanciretã) e Lado Esquerdo (sentido BR-158). Os valores encontrados estão demonstrados na Tabela 17 e na Figura 24. Como o trecho era muito extenso, o método da treliça metálica não foi utilizado.

Tabela 17 – Valores de ATR

km Inicial	km Final	ATR (mm)	
		Lado Direito	Lado Esquerdo
438	439	5,1	3,0
439	440	1,9	2,3
440	441	2,0	2,8
441	442	2,5	2,2
442	443	1,7	1,9
443	444	2,0	2,4
444	445	1,7	2,1
445	446	3,5	2,7
446	447	2,8	2,5
447	448	3,5	2,4
448	449	3,3	2,7
449	450	2,5	2,4
450	451	2,0	3,2
451	452	2,4	1,7
452	453	2,1	2,7
453	454	2,4	2,2
454	455	2,6	2,5
455	456	2,7	2,8
456	457	2,1	2,6
457	458	3,1	2,9
Média		2,60	2,50
Média		2,55	
Desvio Padrão		0,809	0,371
Coefficiente de variação		0,312	0,149

Fonte: Autora (2019).

Figura 24 – Valores médios de ATR



Fonte: Autora (2019).

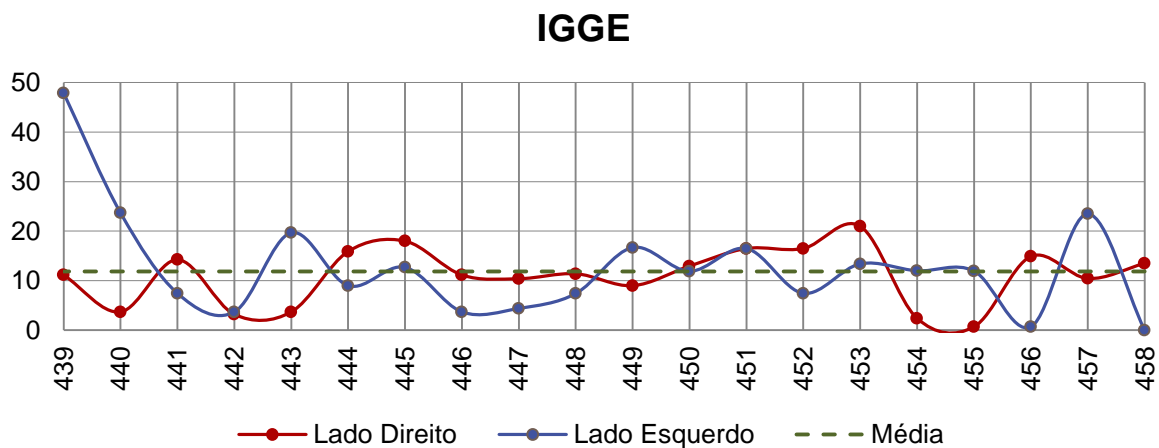
Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), através do seu Programa de Exploração de Rodovias (PER) (2015), classifica o limite do valor máximo de ATR como sendo igual a 7,0 mm. O DAER/RS, pelo seu programa de restauração (2013), considera que limites de afundamentos devem ser inferiores a 7,0 mm em 95% dos resultados e menores que 10,0 mm para 100% das medidas. Enquanto isso, o DNIT, para os Contratos de Restauração e Manutenção de Rodovias (CREMA), determina que o limite de ATR para a recuperação da pista é de 10,0 mm, sendo 13,0 mm como crítico para casos de hidroplanagem. Comparando com os resultados encontrados, o trecho encontra-se dentro dos parâmetros definidos pelos três órgãos citados.

4.1.3 Levantamento Visual Contínuo

A partir do Levantamento Visual Contínuo realizado no dia 23 de julho de 2019, seguindo as etapas já descritas no capítulo sobre a Metodologia utilizada, foram encontradas as incidências dos defeitos e seus relativos níveis de severidade na RS-392. Através deste levantamento é possível classificar todos os casos presentes no trecho.

As tabelas a seguir (18 e 19) representam o Quadro Resumo do LVC, sendo uma para cada sentido da pista, e compreendem os índices ICPF, IGGE e IES, juntamente com o conceito de cada subtrecho. A Figura 25 ilustra os resultados de IGGE.

Figura 25 - Valores de IGGE



Fonte: Autora (2019).

Tabela 18 – LVC Lado Direito – RS-392

SEGMENTO			RESULTADOS				
KM INÍCIO	KM FIM	EXTENSÃO (km)	ICPF	IGGE	IES		
					Valor	Cód.	Conceito
438	439	0,6	2,5	13,5	1	B	BOM
439	440	1	2,5	10,45	1	B	BOM
440	441	1	2,5	14,9	1	B	BOM
441	442	1	3,5	0,7	1	B	BOM
442	443	1	2,5	2,4	1	B	BOM
443	444	1	2,5	21	3	C	REGULAR
444	445	1	2,5	16,5	1	B	BOM
445	446	1	2,5	16,5	1	B	BOM
446	447	1	3,5	12,95	1	B	BOM
447	448	1	2,5	9	1	B	BOM
448	449	1	2,5	11,4	1	B	BOM
449	450	1	2,5	10,4	1	B	BOM
450	451	1	2,5	11,15	1	B	BOM
451	452	1	2,5	18	1	B	BOM
452	453	1	2,5	15,9	1	B	BOM
453	454	1	2,5	3,7	1	B	BOM
454	455	1	2,5	3,2	1	B	BOM
455	456	1	2,5	14,25	1	B	BOM
456	457	1	4,5	3,7	0	A	ÓTIMO
457	458	1	2,5	11,15	1	B	BOM
MÉDIA			2,70	11,04			
DESVIO PADRÃO			0,52	5,72			
COEFICIENTE DE VARIANÇA			0,19	0,52			

Fonte: Autora (2019).

Tabela 19 – LVC Lado Esquerdo – RS-392

SEGMENTO			RESULTADOS				
KM INÍCIO	KM FIM	EXTENSÃO (km)	ICPF	IGGE	IES		
					Valor	Cód.	Conceito
458	457	1	3,5	0	1	B	BOM
457	456	1	2,5	23,5	3	C	REGULAR
456	455	1	3,5	0,7	1	B	BOM
455	454	1	3,5	11,95	1	B	BOM
454	453	1	3,5	12	1	B	BOM
453	452	1	2,5	13,4	1	B	BOM
452	451	1	3,5	7,45	1	B	BOM
451	450	1	3,5	16,5	1	B	BOM
450	449	1	2,5	11,9	1	B	BOM
449	448	1	2,5	16,7	1	B	BOM
448	447	1	2,5	7,4	1	B	BOM
447	446	1	2,5	4,4	1	B	BOM
446	445	1	2,5	3,7	1	B	BOM
445	444	1	3,5	12,7	1	B	BOM
444	443	1	2,5	9	1	B	BOM
443	442	1	2,5	19,7	1	B	BOM
442	441	1	2,5	3,7	1	B	BOM
441	440	1	3,5	7,45	1	B	BOM
440	439	1	4,5	23,7	2	B	BOM
439	438	0,6	3,5	47,9	4	C	REGULAR
MÉDIA			3,05	12,69			
DESVIO PADRÃO			0,60	10,74			
COEFICIENTE DE VARIANÇA			0,20	0,85			

Fonte: Autora (2019).

Os defeitos que mais ocorrem são o desgaste, a exsudação e trincas isoladas e do tipo jacaré. Por sua vez, os defeitos menos encontrados foram afundamentos, ondulações, escorregamentos e remendos. Da Figura 26 a Figura 30 estão apresentados os defeitos presentes no trecho.

Figura 26 – Exsudação e fissuras FC-2 na entrada da RS-392



Fonte: Autora (2019).

Figura 27 – Exsudação



Fonte: Autora (2019).

Figura 28 – Painelas



Fonte: Autora (2019).

Figura 29 – Fissuras e bombeamento de finos



Fonte: Autora (2019).

Figura 30 – Escorregamento e fissuras



Fonte: Autora (2019).

Nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 foi visto que os valores encontrados foram mais altos nos extremos do trecho analisado (início e fim), em comparação com o trecho em seu total. Isto deu-se em razão de estes extremos, na rodovia, representarem os trilhos na entrada da cidade e, no outro extremo, a presença do trevo que une a RSC-392 com a BR-158. As Figuras 31 e 32 mostram as condições destes locais, podendo explicar o motivo de os valores de IRI, ATR e os resultados encontrados no LVC encontrarem-se mais altos, devido ao pavimento, nestes locais, apresentar mais defeitos e uma degradação maior.

A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que a rodovia encontra-se, em um estado geral, em boas condições, tendo em vista a data recente da última intervenção de manutenção no trecho. Os defeitos presentes são isolados, não representando o estado da rodovia como um todo.

Figura 31 - Condição do pavimento próximo aos trilhos na entrada de Tupanciretã



Fonte: Autora (2019).

Figura 32 - Condição do pavimento próximo ao trevo junto à BR-158



Fonte: Autora (2019).

4.2 ANÁLISE ECONÔMICA COM O HDM-4

O trecho analisado foi inserido no HDM-4, como descrito anteriormente, segmentado em subtrechos de um quilômetro cada, resultando em 40 subtrechos, 20 destes em cada sentido da via (item 3.4). A calibração adotada foi a mesma que Bueno (2019) utilizou em seu trabalho, como detalhado no item 3.4, a fim de avaliar economicamente o padrão de comportamento da rodovia. A frota de veículos adotada está descrita no item 3.2, assim como o tráfego anual médio estimado, o qual foi de $1,023 \times 10^7$ (N_{USACE}), com crescimento estipulado em uma taxa linear de 3,0% ao ano.

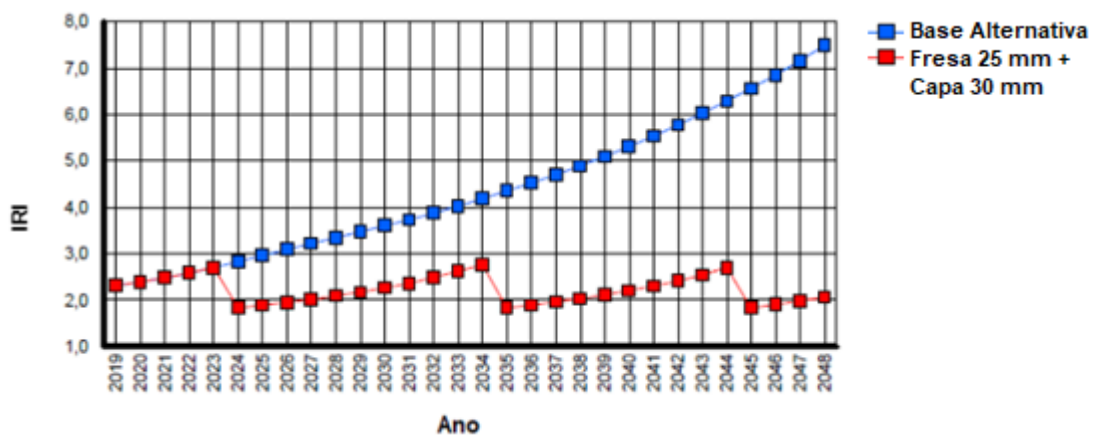
As análises consideradas foram as relacionadas aos custos demandados aos usuários da rodovia (*Road User Costs* – RUC) em uma projeção para 30 anos. As situações analisadas foram duas, sendo a primeira com nenhuma intervenção efetuada em todo o período de projeto (Alternativa Base), e a segunda, citada anteriormente no item 3.4, com fresagem parcial (2,5 cm) quando a irregularidade

longitudinal atinge 2,7m/km, seguido de pintura de ligação e execução de nova camada asfáltica (3,0 cm).

Na prática, compreende-se que é impossível que uma rodovia alcance um período de 30 anos sem qualquer intervenção ou obra de manutenção. Porém, para fins de estudo e análise comparativa, o critério de irregularidade longitudinal foi utilizado com a finalidade de identificar os efeitos relacionados à manutenção da via.

A Figura 33 demonstra um exemplo do comportamento do pavimento nos cenários estudados, em termos de irregularidade longitudinal (IRI), no período de 30 anos, visando ilustrar as alternativas de intervenção configuradas no software. Ações corretivas são efetuadas nos anos iniciais de operação em trechos os quais já iniciam a análise acima do limite estipulado para a irregularidade longitudinal.

Figura 33 - Projeção futura de valores de IRI (m/km) em dois cenários de conservação, obtida através do HDM-4



Fonte: Autora (2019).

Pela projeção futura obtida pelo programa HDM-4, a irregularidade, sem nenhuma intervenção, chegaria ao valor de IRI ao final do período analisado (30 anos, logo, no ano de 2048) em cerca de 8,0 m/km, no pior dos casos, o que configura e classifica a rodovia no conceito Péssimo. Com as intervenções e manutenções regulares, cada vez que o IRI se aproximada de 2,7m/km, o pavimento sempre se manteria classificado como bom.

Os valores resultantes dos custos para os usuários nas duas alternativas estão representados na Tabela 20.

Na composição destes valores foram considerados apenas os custos operacionais dos veículos (consumo de combustível, desgaste dos pneus, consumo de óleo lubrificante e depreciação do veículo). Estes valores são referentes à conservação da irregularidade longitudinal dentro de um limite adequado para trafegabilidade (2,7 m/km), e estão demonstrados em reais por km de rodovia (R\$/km).

Tabela 20 – Análise econômica em um cenário de 30 anos, por quilômetro

Sentido	Solução Adotada	Intervenções Necessárias no Período	Custos dos usuários com os veículos (R\$/km)	Economia para os usuários (R\$/km)
BR-158 – RS-392	Alternativa Base	0	R\$ 56.367.553,22	R\$ 966.933,70
	Fresa + Capa	3	R\$ 55.400.619,52	
RS-392 – BR-158	Alternativa Base	0	R\$ 59.486.952,87	R\$ 1.486.729,75
	Fresa + Capa	3	R\$ 58.000.223,12	
				R\$ 2.453.663,45

Fonte: Autora (2019).

A Tabela 20 mostra que, em 30 anos, os usuários (VDM atual) economizarão R\$2.453.663,45/km, o que representa cerca de R\$900,00/ano/usuário (R\$922,08), para trafegar pelo trecho de 20 km.

Tabela 21 - Valores dos custos para os usuários em ambos os cenários, para todo o trecho (20,0 km)

(continua)

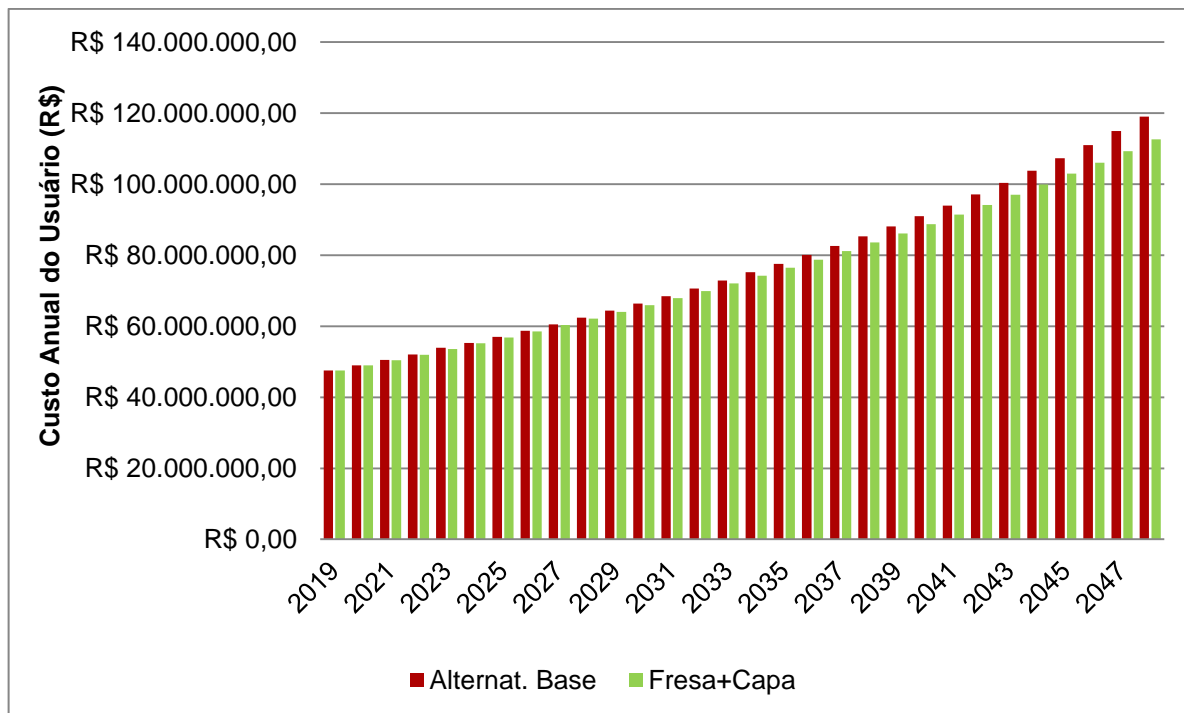
Ano	Custo para os usuários	
	Alternat. Base	Fresa+Capa
2019	R\$ 47.583.343,61	R\$ 47.583.343,61
2020	R\$ 49.023.902,82	R\$ 48.998.750,51
2021	R\$ 50.512.097,89	R\$ 50.469.572,74
2022	R\$ 52.049.400,11	R\$ 51.993.724,00
2023	R\$ 53.908.631,78	R\$ 53.562.023,89
2024	R\$ 55.285.593,70	R\$ 55.175.015,55
2025	R\$ 56.987.683,70	R\$ 56.826.714,71
2026	R\$ 58.745.712,64	R\$ 58.540.403,49
2027	R\$ 60.562.762,53	R\$ 60.298.846,22
2028	R\$ 62.441.273,19	R\$ 62.120.968,88
2029	R\$ 64.383.696,91	R\$ 63.999.476,69

(conclusão)

Ano	Custo para os usuários	
	Alternat. Base	Fresa+Capa
2030	R\$ 66.393.850,71	R\$ 65.936.980,67
2031	R\$ 68.474.689,68	R\$ 67.901.695,21
2032	R\$ 70.628.154,96	R\$ 69.933.530,75
2033	R\$ 72.859.047,27	R\$ 72.049.877,30
2034	R\$ 75.171.507,55	R\$ 74.228.704,26
2035	R\$ 77.569.544,09	R\$ 76.469.450,16
2036	R\$ 80.055.994,03	R\$ 78.764.749,66
2037	R\$ 82.634.136,11	R\$ 81.149.044,20
2038	R\$ 85.307.918,13	R\$ 83.595.694,14
2039	R\$ 88.082.711,12	R\$ 86.130.280,79
2040	R\$ 90.967.316,82	R\$ 88.750.883,77
2041	R\$ 93.968.246,57	R\$ 91.431.566,59
2042	R\$ 97.093.930,76	R\$ 94.182.525,55
2043	R\$ 100.351.595,40	R\$ 97.044.361,51
2044	R\$ 103.751.150,34	R\$ 99.911.106,02
2045	R\$ 107.303.815,89	R\$ 102.944.759,50
2046	R\$ 111.024.341,86	R\$ 106.074.075,25
2047	R\$ 114.929.596,28	R\$ 109.310.806,13
2048	R\$ 119.038.475,37	R\$ 112.637.921,19
Total	R\$ 2.317.090.121,84	R\$ 2.268.016.852,94
Economia em 30 anos	R\$ 49.073.268,90	

Fonte: Autora (2019).

Figura 34 - Comparativo dos custos para os usuários nos dois cenários de manutenção em uma projeção de 30 anos



Fonte: Autora (2019).

Após a análise dos dados apresentados nas Tabelas 20 e Tabela 21 e na Figura 34, pode-se concluir que a manutenção dos índices de irregularidade longitudinal abaixo de 2,7 m/km (critério do DNIT) a partir das intervenções periódicas, acarreta, para os usuários da rodovia, uma economia anual de aproximadamente R\$82.000/km/ano, no período de 30 anos. Isto representa uma economia, em todo o período de projeto, de cerca de 20%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas a partir dos resultados encontrados no estudo, juntamente com sugestões para trabalhos futuros.

5.1 CONCLUSÕES

Pela análise do tráfego, através da taxa de crescimento, o número N encontrado é da ordem de 10^7 que, segundo Ceratti *et al.* (2015), é considerado como volume moderado de tráfego ($10^6 < N \leq 10^7$).

Com relação aos defeitos, os resultados do trabalho mostram que a rodovia atualmente apresenta-se em bom estado de conservação, com os índices como IRI e ATR abaixo dos limites considerados pelo DNIT e DAER e, segundo o LVC, possuindo presença relativamente baixa de defeitos com grande severidade.

Dentro das limitações de análises do programa HDM-4, observou-se que, no período de projeto do estudo (30 anos), seriam necessárias três intervenções, a fim de manter os níveis de IRI dentro do limite máximo (2,7 m/km). Foi possível concluir, também, que o estado de conservação da rodovia afeta, sim, os custos operacionais aos usuários da mesma, ou seja, representa uma influência significativa tanto sobre os custos de operação dos veículos como sobre os custos relacionados ao tempo de viagem.

Constatou-se que manter a rodovia sempre sob os limites de defeitos e fazendo intervenções periódicas a fim de conservar o bom estado da mesma causa uma economia aos usuários, em cerca de R\$80.000/km/ano a todos aqueles que trafegam pela via, em um período de projeto de 30 anos, representando uma economia de cerca de 20%.

Diante disso, ressalta-se a importância da manutenção da rodovia e o quanto ela impacta nos custos das agências e/ou concessionárias (custos de construção e de manutenção e reabilitação), nos custos de operação dos veículos e nos custos relacionados ao tempo de viagem, que compõem os custos totais dos usuários, na segurança e no conforto dos usuários, de maneira que os investimentos em intervenções periódicas de uma rodovia propiciem os maiores benefícios à sociedade.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer deste trabalho, surgiram algumas dúvidas e observações acerca do tema desenvolvido. Dessa maneira, os itens citados abaixo são sugestões de temas para futuros trabalhos nesta área:

- a) Inclusão da pesagem dos veículos, no momento do carregamento do caminhão, e na chegada ao destino final, a fim de analisar a perda da produção no caminho;
- b) Elaboração de um plano para manutenções periódicas, para estudar a execução da manutenção e o tempo que leva à necessidade de intervir novamente.

REFERÊNCIAS

- ABAYNAYAKA, S.W.; MOROSIUK G.; HIDE H. **Prediction of road construction and vehicle operating costs in developing countries.** Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1977.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Programa de Exploração Rodoviária – PER.** Brasília, DF, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Resolução Nº 5.820 de 30 de maio de 2018.** Estabelece a metodologia e publica a tabela com preços mínimos vinculantes, referentes ao quilômetro rodado na realização de fretes, por eixo carregado, instituído pela Política de Preços Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas. Brasília, DF, 2018.
- ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimentos para departamentos de estradas do Nordeste brasileiro.** 2007. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.** ISBN 1-56051-055-2, Washington, D.C., 1993.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação de irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais.** 2008. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- BARNES, G; LANGWORTHY, P. **The Per-mile Costs of Operating Automobiles and Trucks.** Report Nº MN/RC 2003–19. Minnesota Department of Transportation, Minneapolis (EUA), 2003.
- BENEVIDES, S. A. S. **Modelos de Desempenho de Pavimentos Asfálticos para um Sistema de Gestão de Rodovias Estaduais do Ceará.** Tese (Doutorado em Ciência) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- BERNUCCI, L. B.; *et al.* **Pavimentação Asfáltica.** Formação básica para engenheiros. 4ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2010.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento.** 1 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- BUENO, L. D. **Contribuição para a previsão empírico–mecanicista da irregularidade longitudinal e seus desdobramentos econômicos em pavimento asfálticos.** 2019. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

CAIXETA-FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

CARDOSO, S. H. **Gerência de pavimentos em vias urbanas**. In: 28ª Reunião Anual de Pavimentação, 28ª RAPv, 5, Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, Natal, RN, 1994.

CENTRAL ROAD RESEARCH INSTITUTE (CRRI). **Road user cost study in India**. Final Report, New Delhi: Central Road Research Institute, 1982.

CERATTI, J. A. P; BERNUCCI, L. B; SOARES, J. B. **Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação**. 1ª Edição. ABEDA, Rio de Janeiro/RJ, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo segundo levantamento – Safra 2018/19**. Brasília, DF, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Rodovias 2019: Relatório Gerencial**. CNT: SEST SENAT, Brasília/DF, 2019.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). **Resolução nº 12/98**. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres. Brasília, DF, 1998.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **IS-112/2013**. Instrução de Serviço para Estudos e Projetos CREMA. Porto Alegre, RS, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **ES 173/1986**. Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta. Rio de Janeiro, RJ, 1986.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **PRO 159/1985**. Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos. Rio de Janeiro, RJ, 1985.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **PRO 164/1994**. Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade de Superfície de Pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter). Rio de Janeiro, RJ, 1994a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **PRO 182/1994**. Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter. Rio de Janeiro, RJ, 1994b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT recupera pavimento da BR 222 no Maranhão**. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/noticias/dnit-recupera-pavimento-da-br-222-no-maranhao/> >. Acesso em: 20 nov. 2019. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **PRO 006/2003**: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Rio de Janeiro, RJ, 2003b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **PRO 008/2003**: Levantamento Visual Contínuo para Avaliação da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos. Rio de Janeiro, RJ, 2003c.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Publicação IPR – 720**. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, RJ, 2006a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Publicação IPR – 723**. Manual de Estudos de Tráfego. Rio de Janeiro, RJ, 2006b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Publicação IPR – 745**. Manual de Gerência de Pavimentos. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **TER 005/2003**: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Publicação IPR, Brasília, DF, 2003a.

FARIA, A. C.; COSTA, M. F. G. **Gestão de custos logísticos**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

FERNANDES JR., J. L. **Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos**. 1994. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

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

FUNDAÇÃO DOM CABRAL (FDC). **Pesquisa Custos Logísticos do Brasil**. 2017. Disponível em: < <http://www.fdc.org.br/> >. Acesso em: 18 jun. 2019.

GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – **Pesquisa do Interrelacionamento entre Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias, Relatório 1 – Conceitos e Metodologias**, Brasília, DF, 1976.

HAAS, R.; HUDSON W. R.; ZANIEWSKI, J. **Modern pavement management**. Krieger Publishing Company, Malabar (EUA), 1994.

HARRAL, C.G.; WATANATADA T.; PATERSON W.D.O.; DHARESHWAR A.M.; BHANDARI A.; TSUNOKAWA K. **The highway design and maintenance standards model (HSM): model structure, empirical foundations and applications**. PTRC Summer Annual Meeting, University of Warwick, Londres, 1979.

HIDE, H. **Vehicle operating costs in the Caribbean: results of a survey of vehicle operators.** TRRL Laboratory Report, v.1031. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1982.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal de Tupanciretã.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>> Acesso em: 15 set. 2019.

JIAO, X; BIENVENU, M. **Pavement–Vehicle Interaction (PVI) and Comparative Highway Fuel Consumption: An Extended Field Investigation.** 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington (EUA), 2016.

JOLIET Y.; MALLOT M. **Precautions when interpreting rutting results from the LCPC traffic simulator.** 2º Eurasphalt & Eurobitume Congress Barcelona, 2000.

KERALI, H.G.R. **Volume one: Overview of HDM-4.** The Highway Development and Management Series Collection, IDOHDM Technical Secretariat, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, 2000.

LIDDLE, W. J. **Application of AASHO Road Test results to the design of flexible structures.** Em: International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Michigan 1962.

LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; FERNANDES JR., J. L. **A prática de gestão de pavimentos em cidades médias brasileira.** Anais: 2º Congresso luso–brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável – PLURIS 2006. Coimbra, Portugal, 2006.

MAHBOUB, K.; LITTLE, D. N. L. **Improved asphalt concrete design procedure.** Research Report 474–IF – Texas Transportation Institute, College Station, Texas, 1998.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos.** 9 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MELO, R. A. **Notas de Aula.** Disciplina Tópicos II. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Paraíba, 2015.

MOAVENZADEH, F.; STAFFORD. J.H.; SUHBRIER, J.; ALEXANDER J. **Highway design study phase I: the model.** IBRD Economics Department Working, v.96. Washington DC: International Bank for Reconstruction and Development, 1971.

MOROSIUK, G.; ABAYNAYAKA, S.W. **Vehicle operating costs in the Caribbean: an experimental study of vehicle performance.** TRRL Laboratory Report, c.1056. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory, 1982.

MOURA, E. **Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório.** 2010. Tese (Doutorado Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NASCIMENTO, L. A. H. **Nova Abordagem da Dosagem de Misturas Asfálticas Densas com Uso do Compactador Giratório e Foco na Deformação**

Permanente. Dissertação (Mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2008.

NUNES, D. F. **Procedimento para análise de sensibilidade do Programa HDM-4.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PATERSON, W. D. O. **Road Deterioration and Maintenance Effects – Models for Planning and Management.** World Bank. Washington (EUA), 1987.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TUPANCIRETÃ. **Página online do município.** Tupanciretã, 2019. Disponível em:
<<https://www.tupancireta.rs.gov.br/site/home/pagina/id/63/?Dados-do-Municipio.html>>. Acesso em: 23 jul. 2019.

QUEIROZ, C. A. V. **Performance prediction models for pavement management in Brazil.** 317 p. Tese de Doutorado. Faculty of the Graduate School of the University of Texas, Austin (EUA), 1981.

REDE DE TECNOLOGIA EM ASFALTOS (Rede Temática do Asfalto). **Manual de Execução de Trechos Monitorados.** Rio de Janeiro/RJ. 2011.

ROBERTS, F. L.; KANDHAL, P. S.; BROWN, E. R. *et al.* **Hot mix asphalt materials, mixture, design and construction.** 2 ed. Lanham, Maryland, Napa Education Foundation, 1996.

SAYERS, M. W; KARAMILHAS, S. M. **Interpretation of Road Roughness Profile Data.** 178 p. Final Report Prepared for Federal Highway Administration Contract DTFH 61–92–C00143. University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI). Ann Arbor (EUA), 1996.

ULLIDTZ, P. **Modelling Flexible Pavement Response and Performance.** Polysteknisk Forlag, Lyngby, 1998.

VISCONTI, T. S. **O sistema gerencial de pavimentos do DNER.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Divisão de Apoio Tecnológico, Brasil, 2000.

WATANATADA, T.; HARRAL, C.G.; PATERSON, W.D.O.; DHARESHWAR. A.M.; BHANDARI A.; TWUNOKAWA K. **The highway design and maintenance standards model volume 1:** description of the HDM–III model. The Highway Design and Maintenance Standards Series. Baltimore: Johns Hopkins for the World Bank, 1987.

ANEXOS

**ANEXO A – QUADRO RESUMO DOS DEFEITOS DE PAVIMENTOS DO ANEXO A
DA NORMA DNIT 008/2003 – PRO**

Anexo A (normativo)

Quadro resumo dos defeitos – codificação e classificação

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
	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			
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P			
Remendos			Remendo Superficial		RS		
			Remendo Profundo		RP		

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

ANEXO D – QUADRO RESUMO DO ANEXO D DA NORMA DNIT 008/2003 – PRO

Anexo D (normativo)

Quadro resumo

MT DNIT	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E SEMI-RÍGIDOS RESULTADOS DO LEVANTAMENTO VISUAL CONTÍNUO							Folha <hr/> de <hr/>	
Código PNV _____		Ext. PNV _____		UNIT _____		Nº PISTA/LADO _____		MÊS/ANO _____	
		Início _____						MR Nº _____	
Trecho do PNV		Fim _____		VMD _____				MR Nº _____	
Nº do Seg	SEGMENTO			RESULTADOS					
	Km Início	Km Fim	Extensão	ICPF	IGGE	IES			OBSERVAÇÕES
						Valor	Cód.	Conceito	

ICPF - Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis

IGGE - Índice de Gravidade Global Expedito

IES - Índice do Estado da Superfície