

Deodoro Barbosa de Rezende

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO  
ASFÁLTICO EM QUATRO TRECHOS DE RODOVIAS  
FEDERAIS NO ESTADO DE MS: ESTUDO DE CASO**

Brasília  
2017



Deodoro Barbosa de Rezende

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO ASFÁLTICO EM  
QUATRO TRECHOS DE RODOVIAS FEDERAIS NO ESTADO DE MS: ESTUDO  
DE CASO**

Monografia submetida ao Programa de Pós-Graduação *latu sensu* da  
Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de  
Especialista em Operações Rodoviárias.  
Orientador: Prof. Dr. Antônio Fortunato Marcon.

Brasília  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rezende, Deodoro Barbosa de

Análise da evolução de defeitos no pavimento asfáltico em quatro trechos de rodovias federais no Estado de MS: Estudo de Caso / Deodoro Barbosa de Rezende ; orientador, Antônio Fortunato Marcon, coorientador, Silvio dos Santos, 2017.

102 p.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Curso de Departamento de Engenharia, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

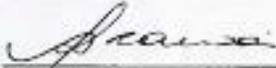
1. Pavimentação Rodoviária. 3. Restauração. 4. Sistema de Gerência de Pavimentos. 5. Desempenho de Pavimentos. 6. Rodovias Federais. I. Marcon, Antônio Fortunato. II. Santos, Silvio dos. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia. IV. Título.

Deodoro Barbosa de Rezende

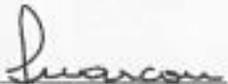
**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE DEFEITOS NO PAVIMENTO ASFÁLTICO EM  
QUATRO TRECHOS DE RODOVIAS FEDERAIS NO ESTADO DE MS: ESTUDO  
DE CASO**

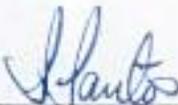
Monografia de Conclusão de Curso submetida ao Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina, para a obtenção do título de Especialista em Operações Rodoviárias.

Brasília, 29 de Junho de 2017.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ana Maria Benciveni Franzoni  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antônio Fortunato Marcon  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Silvío dos Santos  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus queridos filhos, noras, netos,  
esposa e aos meus pais.

## AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo que nos faz acreditar que vale a pena a dedicação aos nossos sonhos.

Ao professor Antônio Fortunato Marcon, nosso caríssimo orientador, pelas horas de dedicação, empenho e tempo despendidos na leitura, discussão e orientações de nosso trabalho de conclusão de curso.

Ao General da Reserva Jorge Ernesto Pinto Fraxe, Diretor Geral do DNIT no período de 24/agosto/2011 a 19/setembro/2014, não poderia deixar de mencionar e agradecer, pois o seu empenho e dedicação pessoal durante a sua gestão frente à Autarquia foram fatores determinantes que contribuíram decisivamente para a realização deste Curso de Especialização em Operações Rodoviárias ministrado pela Universidade Federal de Santa Catarina.

A todos os professores deste Curso de Especialização, em especial, os professores Ana Maria Benciveni Franzoni, Liseane Padilha Thives, Christine Tessele Nodari, Rogério Cid Bastos, Sílvio dos Santos e Antônio Fortunato Marcon, que nos transmitiram seus conhecimentos com paixão e extrema dedicação, os Verdadeiros Mestres da arte de ensinar.

A todos os que souberam dividir o saber e ir além das palavras e das coisas.

A meus filhos, noras, netos e mulher, que entendem com serenidade e propósito de espírito o penoso confronto dos diagramas de energia que revolucionam as formas do conhecimento.

A meu trisavô Manoel da Costa Lima por tudo o que ele representa para o estado de Mato Grosso do Sul e toda a região Centro-Oeste do Brasil, com a implantação da balsa boiadeira em Porto XV de Novembro, no Rio Paraná, em 08/10/1906, onde hoje está localizada a ponte Hélio Serejo, no km 0 ao km 2,050 da rodovia BR-267/MS.

Aos nobres colegas deste Curso de Especialização que me incentivaram na jornada diuturna.

Os engenheiros otimistas falam da precisão de seus sistemas. No entanto, a exatidão é definida pelo erro. Quanto menor for o erro, melhor será a precisão.

(Sayers e Karamihas, 1998)

## RESUMO

Este trabalho trata de estudo do comportamento dos pavimentos de quatro trechos de rodovias federais de Mato Grosso do Sul, com base em levantamentos pesquisados junto ao DNIT e a ANTT, os quais foram realizados nos anos de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016. Qual é a contribuição das equações de previsão de desempenho dos pavimentos para o sistema de gerência de pavimentos? A hipótese é que o uso adequado das equações de previsão de desempenho pelos gestores viários é mais eficaz técnica e economicamente nas atividades de planejamento viário, em detrimento da ingerência política, para a estimativa dos recursos financeiros necessários para uma adequada conservação e/ou manutenção das vias públicas. Este trabalho tem como objetivo comparar a evolução dos defeitos de pavimentos de quatro trechos de rodovias federais de MS, com as previsões de equações de desempenho, que foram desenvolvidas em pesquisas nacionais e internacionais, as quais predizem a evolução da condição de pavimentos flexíveis, ao longo do tempo e do tráfego atuante. O método empregado foi, do ponto de vista da abordagem da questão em epígrafe, qualitativo e quantitativo, além de revisão bibliográfica; dados de projetos e relatórios, dados de levantamentos de campo e comparação dos resultados foram utilizados para alcançar os objetivos. Os resultados encontrados indicam que a idade do pavimento, o tráfego, o número estrutural corrigido e a pluviometria são alguns dos fatores importantes que influenciam a evolução dos defeitos de pavimentos flexíveis. A conclusão é que o uso das linhas de tendência de desempenho do pavimento pode ser utilizado com boa eficiência, pelos gestores viários, para a previsão das condições futuras dos pavimentos.

**Palavras-chave:** Gerenciamento de Pavimento 1. Modelo de Desempenho 2. Defeitos Superficiais 3. Rodovia Federal 4.

## ABSTRACT

This work deals with the study of pavement behavior of four sections of federal highways of Mato Grosso do Sul State (MS), based on surveys executed by DNIT and ANTT, which were carried out in the years 2004, 2008, 2012, 2014 and 2016. What is the contribution of the pavement performance prediction equations to the pavement management system? The hypothesis is that the proper use of performance prediction equations by road managers is technical and economically more efficient for road planning activities, to the detriment of political interference, in estimating the financial resources necessary for proper conservation and/or maintenance of public roads. The objective of this work is to compare the evolution of the pavement distresses of four sections of federal highways of MS, with predictions of the performance equations, which were developed in national and international researches, which predict the condition evolution of flexible pavements, based on time and traffic. The method used was, from the point of view of the approach of the above question, qualitative and quantitative, besides bibliographical review; data from projects and reports, data from field surveys and results comparisons were used to meet the objectives. The results indicate that the age of the pavement, the traffic, the modified structural number and the rainfall are factors, among others, that have influence on the distress evolution of flexible pavements. The conclusion is that the pavement performance trend lines can be used with good efficiency by road managers to predict the future conditions of the pavements.

**Keywords:** Pavement Management 1. Performance Model 2. Distresses 3. Highway 4.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Correlações FWD e viga Benkelman obtidas por vários pesquisadores .....	30
Figura 2 - Deflexão x SNC dos trechos pesquisados .....	57
Figura 3 - Tráfego suportado pela rodovia BR-163/MS, trecho: km 344 - 359.....	62
Figura 4 - Tráfego suportado pela rodovia BR-163/MS, trecho: km 388 - 403.....	62
Figura 5 - Tráfego suportado pela rodovia BR-262/MS, trecho: km 239 - 254.....	63
Figura 6 - Tráfego suportado pela rodovia BR-267/MS, trecho: km 40 - 55.....	64
Figura 7 - Evolução do Tráfego Médio Diário Comercial (TMDC) atuante nas rodovias pesquisadas no ano de 2004, 2008, 2012, 2014, 2015 e 2016 .....	65
Figura 8 - Valores do SNC nas rodovias pesquisadas nos anos de 2004, 2008 e 2012 .....	66
Figura 9 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-163/MS, trecho do km 344 ao km 359 .....	67
Figura 10 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-163/MS, trecho do km 388 ao km 403 .....	68
Figura 11 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-262/MS, trecho do km 239 ao km 254 .....	68
Figura 12 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-267/MS, trecho do km 40 ao km 55 .....	68
Figura 13 - Deflexões verificadas nos trechos pesquisados.....	69
Figura 14 - Quociente de Irregularidade (QI) nos trechos pesquisados.....	70
Figura 15 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-163/MS, km 344 ao km 359 .....	71
Figura 16 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-163/MS, km 388 ao km 403 .....	72
Figura 17 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-262/MS, km 239 ao km 254 .....	73
Figura 18 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-26/MS, km 40 ao km 55 .....	73
Figura 19 - Deflexão x NA (AASHTO) .....	74
Figura 20 - Esquema Linear de Defeitos, BR-163/MS, km 344 ao km 359 .....	77
Figura 21 - Esquema Linear de Defeitos, BR-163/MS, km 388 ao km 403 .....	78
Figura 22 - Esquema Linear de Defeitos, BR-262/MS, km 239 ao km 254.....	79
Figura 23 - Esquema Linear de Defeitos, BR-267/MS, km 40 ao km 55 .....	80
Figura 24 - Relação entre a Deflexão Máxima e o Número N (AASHTO).....	83
Figura 25 - Relação entre o Quociente de Irregularidade (QI) e o Número N (AASHTO).....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Periódico objeto de publicação(ões).....	19
Tabela 2 - Correlações entre FWD e viga Benkelman.....	30
Tabela 3 - Valores de z em relação ao número de observações (n).....	45
Tabela 4 - Fator de correção sazonal.....	46
Tabela 5 - Distribuição da malha viária federal no Estado de Mato Grosso do Sul.....	49
Tabela 6 - Resumo dos levantamentos realizados e tipo de equipamento utilizado.....	52
Tabela 7 - Seleção dos trechos utilizados na pesquisa.....	53
Tabela 8 - Fatores de veículos adotados para cada um dos trechos.....	54
Tabela 9 - Fatores de Veículos determinados por diferentes empresas para os trechos pesquisados.....	54
Tabela 10 - Taxas de crescimento adotadas para o tráfego.....	55
Tabela 11 - Deflexão x SNC - para os anos objeto da pesquisa.....	56
Tabela 12 - Características do subleito.....	58
Tabela 13 - Características das sub-bases.....	59
Tabela 14 - Características das bases.....	59
Tabela 15 - Características dos revestimentos em CAUQ.....	60
Tabela 16 - Idade do revestimento e os respectivos períodos de construção.....	60
Tabela 17 - Tráfego acumulado suportado pelas rodovias até o ano de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016 (AASHTO e USACE) (x 107), em cada sentido de tráfego.....	61
Tabela 18 - Tráfego Médio Diário Comercial (TMDC) atuante nas rodovias no ano de 2004, 2008, 2012, 2014, 2015 e 2016, em cada sentido de tráfego.....	64
Tabela 19 - Valores do SNC nas rodovias pesquisadas nos anos de 2004, 2008 e 2012.....	66
Tabela 20 - Resumo dos levantamentos realizados.....	67
Tabela 21 - Vida útil restante da rodovia.....	75
Tabela 22 - Deflexões x N (AASHTO) nos trechos pesquisados.....	82
Tabela 23 - Evolução do IRI/QI versus NA nas rodovias pesquisadas.....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO - *American Association of State Highway Officials*  
AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*  
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres  
APL - Analizador de Perfil Longitudinal  
ARAN - *Automatic Road Analyser*  
ASTM - *American Society for Testing and Materials*  
AT - área trincada (%)  
ATR - afundamento de trilha de roda (mm)  
CAUQ - concreto asfáltico usinado a quente  
CBR - *California Bearing Ratio* (%)  
CBUQ - concreto betuminoso usinado a quente  
cv - coeficiente de variação  
Dadm - deflexão admissível ( $\times 10^{-2}$  mm)  
DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem  
Dc - deflexão característica ( $\times 10^{-2}$  mm)  
DEFM - deflexão máxima média ( $\times 10^{-2}$  mm)  
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem  
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
Dp - deflexão de projeto ( $\times 10^{-2}$  mm)  
DPP - Diretoria de Planejamento e Pesquisa  
e - número de Euler (2,718281828)  
EBS - módulo resiliente do material (psi)  
FR - fator regional  
Fs - fator de correção sazonal  
FV - fator de veículos  
FWD - *Falling Weight Deflectometer*  
GEIPOT - Grupo de Estudos de Integração de Política de Transportes  
GPR - *Ground Penetrating Radar*  
GPS - *Global Positioning System*  
HDM - *Highway Design and Maintenance Standards Model*  
HICS - *Highway Inventory Computer System*  
HSD - *High Speed Deflectograph*  
IGG - índice de gravidade global  
IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias  
IRI - Índice de Rugosidade Internacional (*International Roughness Index*) (m/km)  
ISC - Índice de Suporte Califórnia (%)  
ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para a Padronização)  
kg/cm<sup>2</sup> - quilograma por centímetro quadrado  
km/h - quilômetro por hora  
kN - kiloNewton  
lb/pol<sup>2</sup> - libra por polegada quadrada  
LCPC - *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*  
LED - *Light Emitter Diode*  
LIC - limite inferior de confiança  
log - logaritmo natural  
LSC - limite superior de confiança

LVC - levantamento visual contínuo  
LVDT - *Linear Variable Differential Transformer*  
ME - Método de Ensaio  
MERLIN - *Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*  
MPa - Mega-Pascal  
MR - módulo de resiliência (Pascal)  
MS - Mato Grosso do Sul  
ms - milissegundo  
N - número equivalente de repetições do eixo padrão de 8,2 tf  
NA - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf acumulado (AASHTO, 1993)  
NBR - Norma Brasileira  
PCI - *Pavement Condition Index*  
PICR - Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias  
PNCT - Plano Nacional de Contagem de Tráfego  
PNV - Plano Nacional de Viação  
PRO - Procedimento  
psi - *pound force per square inch* (libra-força por polegada quadrada)  
QI - quociente de irregularidade (contagens/km)  
R - raio de curvatura (m)  
R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação  
RSP - Perfilômetro Laser  
RST - *Laser Road Surface Tester*  
 $\sigma$  - Desvio padrão  
SASW - *Spectral Analysis of Surface Wave*  
SGP - Sistema de Gerência de Pavimentos  
SN - Número Estrutural  
SNC - Número Estrutural Corrigido  
SNV - Sistema Nacional de Viação  
t - tonelada  
TER - Terminologia  
TMD - Tráfego Médio Diário  
TMDC - Tráfego Médio Diário Comercial  
TRL - *Transport Research Laboratory*  
TRRL - *Transport and Road Research Laboratory*  
USACE - *United States Army Corps of Engineers* (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)  
VDR - Veículo de Diagnóstico de Rodovias  
VMD - Volume Médio Diário  
z - Coeficiente de Confiança, estimado em função do número de observações do parâmetro  $\sigma$  (Desvio Padrão)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>16</b>
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>4 UMA BREVE REVISÃO SISTEMÁTICA .....</b>	<b>18</b>
<b>5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
5.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS .....	20
<b>5.1.1 Patologias ou defeitos do pavimento .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.2 Metodologias para a avaliação de defeitos superficiais .....</b>	<b>21</b>
5.1.2.1 Métodos de levantamento de defeitos superficiais.....	23
<b>5.1.3 Avaliação estrutural .....</b>	<b>24</b>
5.1.3.1 Metodologias de avaliação do comportamento estrutural .....	27
5.1.3.2 Raio de curvatura .....	30
<b>5.1.4 Levantamento de irregularidades superficiais.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1.5 Número estrutural corrigido.....</b>	<b>34</b>
5.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO .....	35
<b>5.2.1 Modelos de previsão de desempenho existentes .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.2 Valores de restrição de desempenho .....</b>	<b>40</b>
<b>6 METODOLOGIA DE ANÁLISE .....</b>	<b>41</b>
6.1 TENDÊNCIA DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS .....	41
6.2 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	41
6.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS.....	42
6.4 ANÁLISE DOS MODELOS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO.....	42
<b>6.4.1 Irregularidade longitudinal .....</b>	<b>43</b>
<b>6.4.2 Deflexões máximas médias.....</b>	<b>44</b>
<b>6.4.3 Processo de validação dos dados.....</b>	<b>45</b>
6.4.3.1 Análise estatística dos dados .....	45
6.4.3.2 Deflexões características.....	46
6.4.3.3 Deflexão de projeto.....	46
6.4.3.4 Deflexão admissível .....	47
6.4.3.5 Correlação SNC versus Deflexão .....	47
<b>7 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXISTENTES.....</b>	<b>49</b>
7.1 MALHA RODOVIÁRIA FEDERAL DE MS .....	49
7.2 LEVANTAMENTOS USADOS NO TRABALHO.....	50
<b>7.2.1 Levantamento de 2004.....</b>	<b>50</b>

7.2.2 Levantamento de 2003/2004.....	50
7.2.3 Levantamento de 2008.....	51
7.2.4 Levantamento de 2012.....	51
7.2.5 Levantamento de 2014/2015.....	51
7.2.6 Levantamento de 2014 e 2016 (CCR MS Vias) .....	52
7.2.7 Quadro Resumo dos Levantamentos Realizados .....	52
7.2.8 Levantamentos de dados de pesquisas de tráfego .....	52
7.2.9 Caracterização geológica e pedológica.....	53
7.3 SELEÇÃO DOS TRECHOS .....	53
7.3.1 Apresentação dos Dados dos Levantamentos.....	53
7.3.2 Avaliação do Tráfego.....	53
7.3.3 Cálculo do Número “N” .....	54
7.3.4 Número Estrutural Corrigido.....	55
7.4 RESUMO DA CONDIÇÃO DA REDE VIÁRIA.....	57
7.4.1 Subleito .....	58
7.4.2 Sub-base.....	58
7.4.3 Base .....	59
7.4.4 Revestimento .....	59
7.4.5 Idade.....	60
7.4.6 Tráfego.....	61
7.4.7 Número Estrutural Corrigido (SNC) .....	65
7.5 COMPARATIVO ENTRE AS PESQUISAS .....	66
8 ANÁLISE DE DADOS .....	81
8.1 ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO E COMPARAÇÕES COM MODELOS EXISTENTES.....	81
8.1.1 Deflexão Máxima Média.....	81
8.1.2 Irregularidade Longitudinal.....	83
9 CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS .....	87
APÊNDICE A - Descrição .....	93
APÊNDICE A .....	94



## 1 INTRODUÇÃO

As rodovias são de suma importância para o desenvolvimento econômico de qualquer região geográfica de um país. Para tanto as ações que são realizadas nas vias públicas são de vital importância quando se referem à manutenção do pavimento, pois tal atividade prolonga a vida útil do mesmo, mantendo um nível de serviço desejado pelo usuário. Os serviços de manutenção e restauração dos pavimentos de uma via, quando bem executados, tem a finalidade de assegurar a maximização dos benefícios, através da manutenção da segurança da via e do conforto do usuário, com a redução dos tempos de viagem e dos custos operacionais dos veículos que por ela trafegam. Tais custos acarretam prejuízos incomensuráveis ao país, sendo facilmente observáveis pelo usuário como o aumento do consumo de combustíveis e lubrificantes, diminuição da vida útil do sistema de suspensão, direção e pneus do veículo, em suma, a manutenção precária da via acarreta o aumento dos encargos referentes à depreciação precoce do veículo. Em compensação, a economia anual constatada nos custos operacionais decorrentes da boa conservação das vias assume valores tão significativos que superam os valores dos investimentos exigidos pelos serviços de manutenção e restauração da mesma (BASÍLIO, 2002).

O objetivo da pavimentação de uma via é garantir a trafegabilidade em qualquer época do ano e sob quaisquer condições adversas do clima, além, é claro, de proporcionar aos cidadãos-usuários as melhores condições possíveis de conforto e segurança, que é o objetivo ou a meta de qualquer órgão gestor de uma via (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Para o cidadão-usuário, o mais importante é o estado da superfície de rolamento da via, pois os defeitos e irregularidades na superfície são facilmente percebidos, uma vez que afetam o seu conforto e segurança ao trafegarem na via. Existe correlação entre as condições do estado da superfície do pavimento e os custos de transporte (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Tendo em conta que o modal rodoviário é o vetor predominantemente majoritário para o atendimento da cadeia produtiva e logística do Estado de Mato Grosso do Sul (MS), um incremento da melhoria das condições viárias das rodovias que cortam a região, com a realização de obras com eficácia e eficiência, refletem em menores custos para a sociedade, o que vem a contribuir para a efetiva competitividade dos produtos locais em um mercado globalizado.

Como os recursos para a realização de investimentos são escassos, na maioria dos casos, quando da realização dos serviços de manutenção e restauração viária, o gestor público deve pautar sua ação para a realização de obras ou serviços que atendam aos princípios da racionalidade administrativa e eficiência técnica.

Baseado nessa premissa é de vital importância para a gestão viária o conhecimento das condições do pavimento, ao longo da sua vida útil. Nesse momento entra em cena a gerência de pavimentos.

“O gerenciamento de pavimentos é calcado, principalmente, na coleta e avaliação de dados, com a finalidade de apoiar as tomadas de decisões técnicas e administrativas de uma entidade rodoviária”, o que tem instado “os órgãos rodoviários e as instituições ligadas à pesquisa, ao estudo do real comportamento dos pavimentos e dos materiais constituintes da sua estrutura ‘in situ’”, com a finalidade do desenvolvimento de iniciativas que aproveem a seleção das “medidas mais eficazes para o planejamento, projeto, construção e manutenção dos pavimentos em condições aceitáveis de trafegabilidade”, assegurando, desta forma, a salvaguarda dos elevados investimentos desembolsados na construção das rodovias, e proporcionando a escolha adequada tecnicamente ao caso, além do aprimoramento da gestão na aplicação dos recursos públicos na malha rodoviária sob a responsabilidade do gestor viário (MARCON, 2016; BASÍLIO, 2002).

## 2 JUSTIFICATIVA

O pavimento é constituído de múltiplas camadas, tais como revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e o subleito que tem a função principal de suportar o tráfego viário e promover um meio seguro e econômico para o transporte, tanto de pessoas quanto de produtos ou mercadorias. O desempenho de um pavimento é condicionado por um complexo conjunto de fatores que atuam de forma isolada ou conjuntamente. E a gerência de pavimentos é uma necessidade vital para os gestores viários, pois está alicerçada, particularmente, na coleta e avaliação de dados, com o propósito de fundamentar as tomadas de decisões técnicas e administrativas de uma organização gestora do sistema viário.

A importância deste trabalho justifica-se por recomendar que a utilização dos dados técnicos coletados e tratados pela gerência de pavimentos é uma ferramenta, de suma importância, a ser utilizada no momento da tomada de decisão pelo gestor público para a aplicação exclusivamente técnica, em detrimento da ingerência política, quando da definição das políticas públicas de manutenção e restauração dos pavimentos das vias sob a responsabilidade de uma entidade pública gestora do sistema viário de uma determinada região geográfica de um país ou estado.

### 3 OBJETIVOS

O estado de Mato Grosso do Sul possui uma malha rodoviária federal de rodovias pavimentadas, segundo o Sistema Nacional de Viação (SNV) de 2016, em pista simples de 3.721,5 km e em pista dupla de 66,7 km. O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) que fora sucedido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) iniciou no ano 1982 a implantação de um sistema de gerência de pavimentos com a finalidade de mapear os defeitos existentes nas rodovias federais e ser uma ferramenta eficaz para auxiliar o gestor viário federal nas suas tomadas de decisões ao direcionar os recursos para as rodovias mais carentes de intervenção, com o objetivo de atender às respostas dos usuários dentro de um plano estratégico que garanta a melhor relação benefício custo para o investimento aplicado (BRASIL, 2011).

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho de pesquisa tem por objetivo geral analisar a evolução dos defeitos superficiais, funcionais e estruturais no pavimento asfáltico, em quatro trechos específicos das rodovias federais BR-163/262/267/MS, no Estado de Mato Grosso do Sul.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esta pesquisa tem por objetivos específicos:

Identificar os principais defeitos superficiais constatados em pavimentos viários mencionados na literatura técnica especializada;

Indicar as possíveis causas dos defeitos verificados em pavimentos rodoviários;

Estudar a evolução do IRI (Índice de Rugosidade Internacional ou *International Roughness Index*) e das deflexões apresentadas pelo pavimento em função dos dados históricos levantados pelo DNIT;

Comparar as linhas de tendência de crescimento das degradações obtidas nesta pesquisa com as previsões de modelos de desempenho existentes na literatura.

#### 4 UMA BREVE REVISÃO SISTEMÁTICA

O levantamento realizou-se através de pesquisa em banco de dados da scopus e da scielo.

Após definição de uma palavra chave iniciou-se a busca e posteriormente foram feitos refinamentos na pesquisa. No caso da scopus utilizou-se de palavras chaves em língua inglesa e na scielo no idioma português.

Inicialmente fazendo a visita ao SCOPUS: <http://www.scopus.com/>, em data de 23/11/2016, com a palavra-chave *pavement management*, entre aspas, foi efetuada a busca e detectou-se 1.493 documentos. Desses documentos o mais antigo foi publicado no ano de 1971.

Desses documentos mostrados no banco de dados: 807 eram artigos, 588 foram objeto de *conference paper*, 28 de revisão, 21 de reportagem, 19 de *conference review* e de *article in press*, 5 objeto de *book chapter* e 3 de editorial.

Dentre tais documentos, detectamos que nos anos de 2013 e 2014 foram publicados 605 documentos, respectivamente, em 2012 publicou-se 77, em 2015 foram publicados 74, em 2016 foram objeto de publicação 65, em 2010 publicou-se 64, no ano de 2011 foi objeto de publicação 59 e finalmente em 2003 foram objeto de publicações 58 documentos com a palavra-chave *pavement management*. Coincidência ou não as publicações eletrônicas coincidem com a disponibilidade da internet, sendo que a partir do ano de 2001 tivemos mais de sessenta publicações na scopus com a palavra-chave acima citada.

Dentre os autores pesquisados W. R. Hudson e R. Haas tiveram 30 trabalhos publicados cada um, seguidos de G. Flintsch com 26 publicações, A. Ferreira e S. Tighe com 24 cada um, Anon com 18, R. E. Smith com 16 e J. D. Lin, S. Madanat e Z. Zhang com 15 trabalhos publicados.

A área de Engenharia dominava em número de publicações com 1.303 documentos, seguido da área de Ciências Sociais com 238 publicações, Ciência da Computação com 122 documentos e em quarto lugar as Ciências da Terra e dos Planetas com 56 publicações cadastradas no banco de dados.

O país com o maior número de publicações é os Estados Unidos com 678 documentos, seguido da Canadá com 122 e em terceira posição no ranking aparece a China com 84 publicações. Observa-se que 281 documentos não apareciam classificados em nenhum país específico.

Refinando a pesquisa agora utilizando como segunda palavra chave *performance model*, entre aspas, detectamos a ocorrência de 88 documentos.

A. Ferreira liderava entre os autores com 13 publicações, S. Meneses com 7, em terceiro com 4 encontra-se S. Tighe, e em quarto empatados com três publicações encontra-se N. Kargah-Ostadi, N. Li e P. E. Sebaaly.

A área de Engenharia domina com 81 publicações, seguido da área de Ciências Sociais com 15 documentos, em terceiro lugar Ciência da Computação com 5 publicações, em quarto lugar a área de Ciência Ambiental com 4 documentos e em quinto lugar a Matemática com 3 documentos cadastrados no banco de dados.

O ano de 2013 tem 11 documentos publicados, tendo o ano de 2015 o número de 10 documentos, 2014 apresenta 7, empatados os anos de 2010, 2012 e 2016 com 5 documentos e o ano de 2011 com 4 documentos publicados no banco de dados da scopus.

Dentre os países com maior número de publicações temos os Estados Unidos com 47 documentos, seguido de Portugal com 13 e em terceiro lugar aparece o Canadá com 12 publicações.

Agora refazendo o refinamento da pesquisa com a utilização de uma terceira palavra: *distresses* foram detectamos 16 documentos na scopus. Finalmente, acrescentamos mais uma

palavra para o refinamento da pesquisa, agora com o vocábulo *highway*, sendo detectados 14 documentos no banco de dados.

Tais documentos foram publicados respectivamente nos periódicos mostrados na Tabela 1:

Tabela 1 - Periódico objeto de publicação(ões)

Periódico	N.º de Publicações
<i>Transportation Research Record</i>	8
<i>Journal of Transportation Engineering</i>	2
<i>International Journal of Pavement Research and Technology</i>	1
<i>Indian Journal of Engineering and Materials Sciences</i>	1
<i>Canadian Journal of Civil Engineering</i>	1

Fonte: Autor

Dessas publicações mencionadas, o primeiro trabalho foi publicado no ano de 1993.

Das catorze publicações, dez foram efetuadas nos EUA, duas no Chile e Colômbia, respectivamente, e o Canadá, Dinamarca e Singapura aparecem com uma publicação cada.

A área de Engenharia aparece com 14 trabalhos de pesquisa, seguido de Ciências Sociais com 2 trabalhos e Ciência dos Materiais com um trabalho.

Destas publicações 10 são artigos, 3 *Conference paper* e um relatório.

Posteriormente fizemos uma pesquisa na SCIELO: <http://www.scielo.org/php/index.php> utilizando a palavra chave na língua portuguesa “rodovia” foram detectados 124 trabalhos publicados.

A seguir, efetuando um refinamento da pesquisa com a palavra-chave “modelo de desempenho” foi detectado um único documento intitulado: “*Otimização da localização das bases de ambulâncias e do dimensionamento das suas regiões de cobertura em rodovias*”, trabalho este que nada tem a ver com o tema da presente pesquisa.

Com o uso das palavras chaves: “gerenciamento de pavimentos” e “defeitos superficiais” não foi encontrado um único documento.

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica enfoca o tema central da pesquisa que é a avaliação do estado do pavimento.

O termo gerência de pavimentos pode ser entendido como a coordenação eficiente e integrada das várias atividades envolvidas na concepção, na construção e na manutenção dos pavimentos que fazem parte de uma infraestrutura viária, seja rodoviária, aeroportuária ou urbana, de modo a permitir que estes proporcionem condições aceitáveis para o usuário a um custo mínimo ou maior retorno possível de benefícios dos investimentos para a sociedade.

Um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é um conjunto de ferramentas ou métodos para auxiliar os que tomam decisões a encontrar estratégias ótimas para construir, avaliar e manter os pavimentos em uma condição funcional aceitável, durante certo período de tempo.

A função do SGP é aumentar a eficiência das tomadas de decisão, expandir seu escopo, fornecer respostas quanto às consequências das decisões, facilitar a coordenação das atividades dentro da organização e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis de gerência dentro da mesma organização.

### 5.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS

De acordo com Basílio (2002), a avaliação do estado dos pavimentos tem o objetivo de conhecer a capacidade de suporte estrutural e da condição funcional dos pavimentos.

Para a realização destes levantamentos podem ser utilizados procedimentos subjetivos ou objetivos. A avaliação baseada no conforto do usuário ao rolamento é um método subjetivo, enquanto que os procedimentos que se baseiam em medições e caracterizações de parâmetros indicadores do estado do pavimento, como trincas, deflexão, irregularidade longitudinal e transversal ou atrito, são métodos objetivos (BASÍLIO, 2002).

#### 5.1.1 Patologias ou defeitos do pavimento

A Norma ASTM E 867-82, de acordo com a norma DNER-PRO 164/94, define irregularidade ou defeito como: “*is the deviations of a surface from a true planar surface with characteristics dimensions that affect vehicle dynamics, ride quality, dynamic loads and drainage*”, ou em língua pátria, irregularidade são “os desvios de uma superfície, em relação a uma superfície plana, com dimensões características que afetam a dinâmica do veículo, a qualidade de rolamento, a dinâmica das cargas e a drenagem” (MARCON, 2016; BRASIL, 1994d; BENNETT *et al.*, 2007).

A irregularidade longitudinal, conforme citado na literatura por diversos autores, é o parâmetro mais utilizado internacionalmente para a avaliação funcional de pavimentos. Essa irregularidade do pavimento é decorrente de problemas de construção, falta de manutenção, e/ou de defeitos oriundos da ação do tráfego e do clima, principalmente das deformações permanentes do revestimento e do subleito.

Ao longo da vida útil os pavimentos sofrem as interferências em sua estrutura e funcionamento motivado por diversos fatores tais como o tráfego, clima, deficiências construtivas e, ainda, devido às características dos materiais. De acordo com Balbo (2007) e Basílio (2002), a interação destes fatores provoca o surgimento de patologias ou defeitos de variadas gravidades.

#### Classes dos defeitos

Os defeitos são classificados em duas classes distintas, de acordo com Basílio (2002):

Funcionais: são os defeitos relacionais com as qualidades de conforto e de segurança no rolamento;

Estruturais: são os defeitos relacionados com o desempenho da estrutura do pavimento para suportar a carga para a qual foi projetada.

A rugosidade está associada principalmente com a funcionalidade; no entanto, a rugosidade também está relacionada com as deficiências estruturais e a deterioração acelerada do pavimento (BENNETT *et al.*, 2007).

### **Tipos de defeitos**

A norma DNIT 005/2003-TER estabelece as principais características e causas dos defeitos de pavimentos flexíveis com o objetivo de padronizar os termos técnicos empregados para identificá-los (BRASIL, 2003a).

Domingues (1993), Balbo (2007), Brasil (2006b) e Pinto e Preussler (2001), citados por Basílio (2002), mencionam que os defeitos comumente encontrados nos pavimentos flexíveis em nosso país, de acordo com a respectiva classe, são:

- ✓ Fissura: classe funcional;
- ✓ Trinca: classe estrutural e/ou funcional;
- ✓ Afundamento: classe estrutural e/ou funcional;
- ✓ Corrugação: classe funcional;
- ✓ Empolamento: classe estrutural e/ou funcional;
- ✓ Desgaste: classe funcional;
- ✓ Exsudação: classe funcional;
- ✓ Panela: classe funcional;
- ✓ Remendo: classe estrutural e/ou funcional;
- ✓ Erosão de bordo: classe estrutural e/ou funcional;
- ✓ Bombeamento de finos: classe estrutural.

#### **5.1.2 Metodologias para a avaliação de defeitos superficiais**

Mediante procedimentos padronizados de medidas e observações dos defeitos existentes na superfície do pavimento, são realizadas avaliações da superfície do pavimento viário, as quais podem indicar as condições funcionais e estruturais do pavimento avaliado. As metodologias existentes para realizar esses levantamentos são baseadas em medições e verificações da presença de defeitos existentes na superfície do pavimento (MARCON, 2016).

O procedimento a ser empregado na avaliação de defeitos de um pavimento viário deve ser adequado às características e peculiaridades dos pavimentos analisados e, além disso, ainda deve-se ater aos objetivos pretendidos pela avaliação. Existe um sem-número de métodos que foram normatizados e são utilizados por instituições rodoviárias em suas pesquisas e análises de defeitos de pavimentos (MARCON, 2016).

O levantamento dos defeitos de um pavimento viário pode ser realizado de dois modos distintos: manualmente ou por equipamento (MARCON, 2016).

#### **Manual:**

No processamento manual, as características dos defeitos encontrados nos pavimentos são registradas pelo avaliador em planilhas próprias e, a seguir, processadas no escritório.

Os métodos DNIT 006 e 007/2003 - PRO são realizados pelo avaliador registrando as características dos defeitos encontrados em uma folha de papel padronizada.

Também pode ser utilizada uma planilha eletrônica, como por exemplo o equipamento DESY 2000 e o equipamento PARAGON/HICS (*Highway Inventory Computer System*) (MARCON, 2016).

O levantamento do avaliador pode ser realizado de duas maneiras distintas: a pé ou embarcado no veículo trafegando em velocidade adequada, de 6,4 Km/h a 30 Km/h, conforme o tipo de equipamento utilizado e o pesquisador citado (MARCON, 2016).

### **Por equipamento:**

Conforme Marcon (2016), a realização do levantamento dos defeitos superficiais de um pavimento pode ser realizada através de equipamentos que registram o estado do pavimento através de filmagens ou fotografias, que posteriormente são analisadas em escritório com equipamento especialmente projetado para tal finalidade. Dentre os equipamentos existentes para realização de levantamentos superficiais de defeitos em pavimentos viários, pode-se citar: GERPHO *System*, ARAN - *Automatic Road Analyser* e RST - *Laser Road Surface Tester*, dentre outros equipamentos e sistemas desenvolvidos. A seguir, apresentam-se as características de cada um desses equipamentos:

- a) **GERPHO System** (MARCON, 2016; OLIVEIRA, 2013)
- b) **ARAN - Automatic Road Analyser** (MARCON, 2016; FWA 2006; OLIVEIRA, 2013)
- c) **RST - Laser Road Surface Tester** (MARCON, 2016)
- d) **Veículo de diagnóstico de rodovias (VDR)**

É um equipamento capaz de efetuar medições da irregularidade do pavimento através de sensores a laser, efetuar filmagens avante e a ré e fotografar a superfície do pavimento para interpretação dos dados levantados em escritório. As informações coletadas são referenciadas através do sistema de posicionamento global ou *Global Positioning System* (GPS) (MARCON, 2016). É muito similar ao equipamento australiano *Hawkeye* (FWA, 2006).

O VDR foi idealizado e implementado pelo corpo técnico do DNIT, a partir de 2001 e posto em pleno funcionamento em 2012. O projeto, pioneiro e inovador otimizou o método de avaliação das condições dos pavimentos das rodovias federais ao realizar os três levantamentos (Vídeo registro, IRI e Levantamento Visual Contínuo (LVC)) em um único veículo, além de diminuir custos em mais de 50% e em um menor tempo. Para tanto atuou em duas frentes distintas, quais sejam: unificação da coleta de dados e avaliação visual realizada em escritório, além de dispor de dispositivos para avaliação e monitoramento tais como: monitoramento dos veículos por satélite; critérios de aceitabilidade dos dados avaliados; e, monitoramento da produtividade e qualidade do serviço (BRASIL, 201\_).

- e) **Pathway - Automated Road and Conditions Surveys**

O mencionado equipamento capta as imagens de superfície do pavimento através de uma câmara 3D de alta resolução e o perfil transversal do pavimento (MARCON, 2016).

- f) **Hawkeye**

ARRB *Group Ltd.* desenvolveu e integrou um equipamento que pode dispor de sensores de defeitos, filmadoras, máquina fotográfica, pacote de sistema digital e de um sistema GPS, dentre outros produtos. O equipamento é montado num veículo tipo camioneta furgão. A

saída dos dados digitalizados pelo equipamento atende a uma série de normas internacionais, incluindo ASTM, AASHTO, Banco Mundial, ISO e Austroads (FWA, 2006).

#### ***g) Road Crack***

É um sistema desenvolvido na Austrália na década de 90, sendo capaz de detectar defeitos com até um milímetro de espessura. Pode ser instalado em um veículo tipo caminhão de pequeno porte. Em visita ao website: <https://research.csiro.au/qi/road-crack-detection/> é possível verificar as potencialidades do equipamento, como o benefício de uma melhor gestão rodoviária com base em informações muito mais detalhadas do que existe atualmente disponível, além da possibilidade de levantamento de dados de até 500 Km de extensão por dia na via (GAVILÁN *et al.*, 2011).

#### ***h) Pavement Scanner***

O *Pavement Scanner* usa linhas de projeção de laser, câmeras de alta velocidade e óptica avançada para adquirirem alta definição do perfil 3D da rodovia. Esta exclusiva tecnologia permite visão 3D para avaliação automática do estado do pavimento, seja ele asfáltico ou de concreto. O *Pavement Scanner* adquire dados de imagem em 3D e 2D da superfície da rodovia com resolução de 1 mm sobre uma largura de 4 m em pista com velocidades de até 100 km/h. Através dos dados coletados podem ser analisados e serem determinadas os trincamentos, marcações da pista, sinalização horizontal, panelas, exsudação, desagregação e macro textura, além de trilha de roda. Rodovias com superfície de concreto podem ser escaneadas para se avaliar as juntas e falhas entre as placas de concreto. Além disso, pode-se medir os perfis longitudinais, IRI, declividade e inclinação transversal (FIALHO, 2015).

#### *5.1.2.1 Métodos de levantamento de defeitos superficiais*

Os métodos de levantamentos de defeitos superficiais de um pavimento têm a finalidade de estimar o tipo, a severidade e a densidade de cada degradação constatada no pavimento. Devem ser seguidas algumas orientações básicas para a eficácia da determinação dos métodos de levantamentos de defeitos: (a) os procedimentos devem ser simples; (b) deve ser estabelecido como os dados coletados serão utilizados; (c) fazer a escolha dos tipos de defeitos a serem pesquisados, descrição das respectivas aparências com ilustrações fotográficas e a confecção de instruções para a avaliação da severidade e da densidade (MARCON, 2016).

Os métodos de levantamentos de defeitos existentes na superfície de um pavimento são:

a) **DNIT 006/2003 - PRO** - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (BRASIL, 2003b)

O objetivo do procedimento é determinar o grau de deterioração mediante a contagem e classificação de defeitos superficiais, além da determinação do IGG.

b) **DNIT 007/2003 - PRO** - Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos (BRASIL, 2003c)

Este método foi criado, nos primórdios, para fins de gerência de pavimentos e adaptado posteriormente para estudos e projetos, tendo os seguintes pontos principais (MARCON, 2016):

A avaliação da superfície é feita por amostragem, sendo registrados os tipos, as severidades e as densidades dos defeitos em uma planilha, e o avaliador realiza o levantamento a pé.

O objetivo do procedimento é determinar o grau de deterioração do segmento avaliado através da identificação, localização e medição da área de defeitos superficiais.

c) **DNIT 008/2003 - PRO** - Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (BRASIL, 2003d)

d) **VIZIR** (Autret e Brouse (1992) apud Marcon (2016))

Este método foi criado na França, em 1977, no *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) com a publicação do Guia de Avaliação de Pavimentos Flexíveis (PRESTES, 2001).

O objetivo do método é obter o índice global de degradação.

A irregularidade do pavimento é o principal parâmetro de definição da qualidade funcional de uma via, tendo em vista que a qualidade de rolamento ou de rodagem de uma via está associada à irregularidade existente na superfície do pavimento (MARCON, 2016).

### 5.1.3 Avaliação estrutural

A avaliação estrutural de pavimento é definida como a verificação da capacidade de uma estrutura suportar as cargas dos veículos que sobre ela transitam. A verificação desta característica pode ser efetuada através da utilização de inúmeros tipos de equipamentos e procedimentos. O principal parâmetro medido para fins de avaliação é a deflexão do pavimento sob a atuação de um carregamento. Os métodos de avaliação são os destrutivos e os não destrutivos. Os primeiros implicam na remoção de partes da camada e os segundos permitem inferir as condições estruturais sem danificar o pavimento (MARCON, 2016).

Os métodos de medida de deflexão do pavimento são classificados em três grupos: estáticos, vibratórios e por impulso (MARCON, 2016).

Segundo Cardoso (1992) apud Marcon (2016), o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento dos equipamentos não destrutivos foram motivados para o atendimento às seguintes questões: aumentar a produtividade e a acurácia das medidas, além de simular, da melhor maneira possível, as condições das cargas do tráfego, em relação à magnitude, forma e tempo de carregamento, através de procedimentos simples de operação do equipamento e interpretação dos dados e com redução dos custos de ensaios.

A deflexão, por ser um parâmetro relativamente fácil e rápido de ser medido, tornou-se de uso geral, o que tem levado à tendência de considerá-la como indicador universal do desempenho sem a adequada qualificação, particularmente com relação ao tipo de pavimento e ao mecanismo de degradação estrutural, segundo Lister (1979) apud Marcon (2016).

A deflexão de um pavimento representa a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Sob a ação de uma carga todas as camadas do pavimento fletam devido às tensões e às deformações geradas pela ação do carregamento. Pavimentos debilitados fletam mais do que os pavimentos mais sadios estruturalmente. Destarte, pavimentos com deflexões mais baixas suportam um maior número de solicitações de tráfego (BASÍLIO, 2002).

#### Equipamentos estáticos

a) **Teste de placa** (MARCON, 2016)

### **b) Viga Benkelman**

É um dispositivo mecânico que mede, por meios não destrutivos, os deslocamentos verticais de um ponto de contato no pavimento, entre as rodas duplas de um caminhão, sob um eixo de carga, com uma determinada pressão de pneus e uma carga pré-estabelecida para esse eixo.

Em outras palavras a viga Benkelman mede a flecha máxima da linha de deformação elástica do pavimento sob a ação de uma carga.

Uma boa descrição do aparelho de viga Benkelman se encontra no “Manual de operação da viga Benkelman” que faz parte dos métodos de ensaios de laboratório do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) (FERREIRA, [200?]).

Este equipamento tem uso intenso em todo o mundo. Este equipamento foi desenvolvido na pesquisa da AASHO Road Test. É constituído de uma viga delgada de alumínio ou madeira com articulação intermediária, cuja relação entre os comprimentos dos braços é conhecida (normalmente 2:1 ou 4:1). O braço maior tem na extremidade uma ponta de prova que é posicionada entre os dois pneus de um eixo traseiro de caminhão de rodas duplas, cujo peso é padronizado. O braço menor aciona um extensômetro que registra a movimentação vertical da ponta de prova apoiada sobre o pavimento, na medida em que o caminhão afasta-se (recuperação elástica) ou aproxima-se (procedimento da AASHO) do ponto de ensaio. É possível medir a deformação do pavimento, com afastamentos diferentes da carga, obtendo-se com isto a bacia de deflexão, conforme obras de diversos autores pesquisados. O uso da viga Benkelman para avaliação de deflexões no Brasil é normalizado através dos métodos de ensaios DNER-ME 024/94 - Determinação das Deflexões no Pavimento pela viga Benkelman (BRASIL, 1994b; MARCON, 2016).

### **c) Viga Benkelman Eletrônica**

A viga Benkelman Eletrônica é um equipamento eletrônico para determinação da deflexão de camadas de pavimentos e delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação elástica no pavimento. Os procedimentos obedecem e atendem aos métodos DNER-ME 024/94, DNIT 133/2010-ME, NBR 8547; DNER-PRO 175/94 (BRASIL, 1994b, 2010; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984; BRASIL, 1994a).

A viga Benkelman é um instrumento barato e de fácil utilização, embora seja de baixa produção. É um equipamento de uso aconselhável para pequenas redes de rodovias e onde há poucos recursos disponíveis para levantamentos.

### **d) Deflectômetro Lacroix (BRASIL, 2012)**

## **Equipamentos vibratórios**

Os principais equipamentos vibratórios para medição de deflexão do pavimento são: Dynaflect (MARCON, 2016; FERREIRA, [200?]; BRASIL, 1994c) e Equipamento Shell (MEDINA, 1997).

## **Equipamentos por impulsos**

O *Falling Weight Deflectometer* (FWD) é um equipamento concebido a partir de conceitos anteriormente desenvolvidos para testes geofísicos, tratando-se de um ensaio no qual uma carga dinâmica, aplicada instantaneamente por impulso (pulso de carga) sobre uma

placa de dimensões conhecidas, procura simular a aplicação de carga de um par de rodas do caminhão (BALBO, 2007).

A avaliação da deflexão através de equipamentos por impulsos é efetuada através de uma massa que cai sobre uma placa dotada de amortecedores. A intensidade da carga é controlada pela altura de queda e pelo peso da massa. Estes aparelhos são denominados FWD, e existem opiniões de que simulam melhor que os equipamentos estáticos e vibratórios a passagem da carga de uma roda a velocidade entre 60 e 80 km/h. São medidas as deflexões máximas no centro da placa e a distâncias variáveis através de geofones ou sismômetros fixados a uma barra, permitindo a medida da bacia de deflexão. O tempo de aplicação das cargas varia de 25 a 30 ms (milissegundos), de acordo com inúmeros pesquisadores sobre o tema. O procedimento DNER-PRO 273/96 estabelece atividades a serem desenvolvidas para medição de deflexões com equipamentos FWD.

O equipamento FWD é composto basicamente de:

a) um veículo rebocador que tem as funções de rebocar o equipamento, abrigar o computador de bordo e o processador e medidor das cargas aplicadas e deflexões produzidas;

e  
b) o equipamento propriamente dito, que é composto de cabine protetora contra intempéries, dotada interiormente dos dispositivos hidráulicos e elétricos necessários para acionar os dispositivos de abertura da própria cabine, o de massa, e o conjunto de placa de carga e sete sensores.

As principais vantagens do equipamento FWD são: equipamento de ensaio não destrutivo, operado por uma única pessoa, precisão e rapidez, ampla faixa de carga, adaptado para diversos tipos de pavimentos, excelente precisão e ideal para sistemas mecânicos e analíticos de dimensionamento.

A norma que rege a calibração do FWD é a R-32 da AASHTO, onde preconiza no item 1.3, a necessidade de calibração anual do equipamento por um técnico certificado:

*1.3 Annual calibration is performed at least once per year or as soon as possible after a deflection sensor or a load cell has been replaced on the FWD. It shall be performed by a certified technician (<http://astec.eng.br/fwd/>).*

Que é traduzido para a língua pátria como: a calibração anual é efetuada pelo menos uma vez por ano ou o mais rapidamente possível após a substituição de um sensor de deflexão ou de uma célula de carga no FWD. Deve ser realizada por um técnico certificado (*tradução nossa*).

Os dados gerados pelos equipamentos FWD combinados com a espessura das camadas do pavimento podem ser usados com confiança, na determinação dos módulos de elasticidade *in situ* da estrutura em estudo. Esta informação pode e deve ser utilizada em análises estruturais para determinar a capacidade de suporte e estimar a vida remanescente e as necessidades de recuperação (para atingir uma vida útil determinada).

Existem vários modelos disponíveis no mercado, sendo que os mais utilizados são fabricados por três empresas: Dynatest, Kuab e Phonix. Os princípios básicos de funcionamento são idênticos, embora possuam alguns detalhes diferentes.

No ensaio executado com a viga Benkelman, as deflexões medidas são provocadas por um caminhão que se move a baixíssima velocidade, enquanto no ensaio com FWD as deflexões são provocadas pela aplicação de uma carga dinâmica (peso em queda livre).

#### **a) Dynatest**

Este aparelho foi fabricado inicialmente na Dinamarca. São produzidos os modelos para cargas mais elevadas (exemplo: aplicação em pavimentos aeroportuários) e para cargas

menores (exemplo: aplicação em rodovias rurais). Estes modelos são tipo reboque e contam com medidores de temperatura do ar e do pavimento e barra de geofones (transdutores de velocidade) mais longas para avaliação de pavimentos rígidos de concreto de cimento, conforme inúmeros trabalhos de pesquisas. Existem os modelos 800, com carga de 3 a 85 kN e o modelo 8000 com capacidade de carga de 7 a 120 kN (MARCON, 2016).

Diversas empresas de engenharia dispõem de FWD de última geração, com sete geofones para melhor caracterização das bacias de deformação. Possuem um diferencial no mercado no que tange à estrutura dedicada exclusivamente para operação deste equipamento, com utilização de caminhão exclusivo e dois carros batedores, todos com intercomunicadores e sinalização moderna por LEDs, de alto brilho e visibilidade a longa distância. Destarte, propiciam a maior segurança possível tanto aos operadores quanto aos usuários das vias.

Este equipamento, em conjunto com a vasta expertise da empresa em projetos rodoviários há mais de vinte anos no mercado, contando com uma gama de engenheiros experientes nas mais diversas áreas, proporciona como produto final um projeto de alta qualidade, preciso e econômico.

#### b) Kuab

Este aparelho é de origem sueca. São fabricados o modelo 50 para cargas de 12 a 50 kN e o modelo 150 para cargas de 12 a 150 kN. As deflexões máximas são medidas por sismômetros LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*). A carga é aplicada por um sistema de duas massas, que permite uma maior duração do pulso, representando melhor o tempo de aplicação da carga de roda de um caminhão. A placa de aplicação da carga é segmentada para melhorar o contato com a superfície do pavimento. Os modelos 50 e 150 funcionam em reboque, que tem uma proteção metálica para salvaguardar o equipamento contra os efeitos de água e poeira, vandalismo, etc., de acordo com diversos trabalhos científicos pesquisados (MARCON, 2016).

Existem também os seguintes equipamentos mencionados na literatura: Phoenix (MARCON, 2016; FWA, 2006) e Carl Bro ([http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70601/fichero/capitulo2\\_medida+de+deflexiones+en+firms.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70601/fichero/capitulo2_medida+de+deflexiones+en+firms.pdf)).

#### 5.1.3.1 Metodologias de avaliação do comportamento estrutural

As metodologias existentes para a avaliação do comportamento estrutural são:

- a) **DNER-PRO 273/96** - Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “*Falling Weight Deflectometer* (FWD)” - Procedimento (BRASIL, 1996)

O objetivo do procedimento é fixar a metodologia a ser adotada na determinação de deflexões recuperáveis na superfície do pavimento, com vistas a uma avaliação estrutural da condição do pavimento, utilizando o deflectômetro de impacto tipo FWD (BRASIL, 1996).

A determinação das deflexões é realizada por um deflectômetro de impacto projetado para simular o efeito de cargas de roda em movimento. Isto é obtido pela queda de um conjunto de massas, a partir de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores de borracha, que transmitem a força aplicada a uma placa circular apoiada no pavimento. Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos por sensores instalados ao longo de uma barra metálica (BRASIL, 1996).

- b) **DNIT 133/2010-ME** - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman (BRASIL, 2010)

O objetivo da presente norma é fixar as condições mínimas exigíveis para o procedimento do delineamento da linha de influência longitudinal inerente à parcela transitória de deformação ocasionada pela carga de prova aplicada estaticamente à superfície de um pavimento - "Bacia de Deformação" por intermédio da viga Benkelman (BRASIL, 2010).

- c) **DNIT 170/2016-PRO** - Determinação de deflexões utilizando o Curviâmetro (BRASIL, 2016)

O objetivo do procedimento é a determinação das deflexões recuperáveis para a avaliação da condição estrutural do pavimento utilizando o equipamento Curviâmetro (BRASIL, 2016).

- d) **DNER-ME 039/94** - Determinação das deflexões do Pavimento pelo Dynaflect (BRASIL, 1994c)

O objetivo da norma é prescrever o método de ensaio para determinação das deflexões nos pavimentos rodoviários pelo "Dynaflect" (BRASIL, 1994c).

- e) **DNER-ME 024/94** - Determinação das deflexões pela viga Benkelman (BRASIL, 1994b)

O objetivo da norma é prescrever o método de ensaio para determinação das deflexões nos pavimentos rodoviários pela viga Benkelman (BRASIL, 1994b).

A carga sobre o pavimento para originar as deflexões que serão medidas com a viga Benkelman é obtida através do uso de um caminhão com as seguintes características: (a) Eixo traseiro simples com rodas duplas e 18.000 libras de carga por eixo (8,2 toneladas); (b) Pneus 900x20 ou 1.000x20, com 12 lonas, tipo com câmara e com frisos na faixa de rodagem, calibrados com pressão de 80 lbs/pol<sup>2</sup> (5,6 kg/cm<sup>2</sup> ou 0,56 MPa) após carregamento (BRASIL, 1994b).

### **Comparação entre equipamentos de medição de deflexão**

Dos equipamentos descritos até aqui, o mais difundido e utilizado em todo mundo tem sido a viga Benkelman, devido ao seu baixo custo de aquisição e manutenção. No entanto, o FWD tem ganhado destaque devido a sua alta produtividade e acurácia no levantamento dos dados (BASÍLIO, 2002).

Conforme Basílio (2002), a maior deficiência da viga Benkelman é a falta de repetibilidade entre as leituras, que podem ser afetadas por:

- Fatores operacionais: dependentes da experiência dos operadores e condições mecânicas do veículo de carga;
- Fatores ambientais: temperatura e umidade;
- Irregularidade na superfície das camadas;
- Condições de aplicação do carregamento.

Em estudo de Motta (1999) citado por Basílio (2002), verificou que as leituras levantadas com a viga em pontos próximos à aplicação da carga são bastante confiáveis, variando entre 4 e 10%. No entanto, para leituras efetuadas a uma distância superior a 1,00 m (um metro) apresentam incerteza para o valor da deflexão entre 20 e 50%, de acordo com pesquisa de Rocha e Rodrigues (1998) citada por Basílio (2002).

Para que as determinações de deflexão feitas com utilização do FWD possam ser correlacionadas com as determinações efetuadas com a viga Benkelman muitos pesquisadores vêm tentando obter correlações entre as medidas obtidas por tais equipamentos. A seguir são mostradas algumas dessas equações (BRASIL, 2006b):

Para deflexões  $D_{FWD} \leq 19 \times 10^{-2}$  mm

$$D_{VBK} = D_{FWD} \quad (5.1)$$

Para deflexões  $19 \times 10^{-2}$  mm  $< D_{FWD} < 85 \times 10^{-2}$  mm

$$D_{VBK} = 20,645 \times (D_{FWD} - 19)^{0,351} \quad (5.2)$$

$$R^2 = 0,952$$

Para deflexões  $D_{FWD} > 85 \times 10^{-2}$  mm

$$D_{VBK} = 8,964 \times (D_{FWD} - 60)^{0,715} \quad (5.3)$$

$$R^2 = 0,933$$

onde,

$D_{VBK}$  - deflexão característica obtida com a viga Benkelman;

$D_{FWD}$  - deflexão característica obtida com o equipamento FWD.

Em tese de doutorado do Eng<sup>o</sup> Salomão Pinto intitulada “Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural do Pavimento”, apresentou a seguinte correlação entre as medidas de deflexão obtidas com a viga Benkelman, de acordo com a metodologia do DNIT, e o FWD aplicando uma carga equivalente ao do método DNER-ME 024/94 (BRASIL, 2006b):

$$D_{VB} = -5,73 + 1,396 \times D_{FWD} \quad (5.4)$$

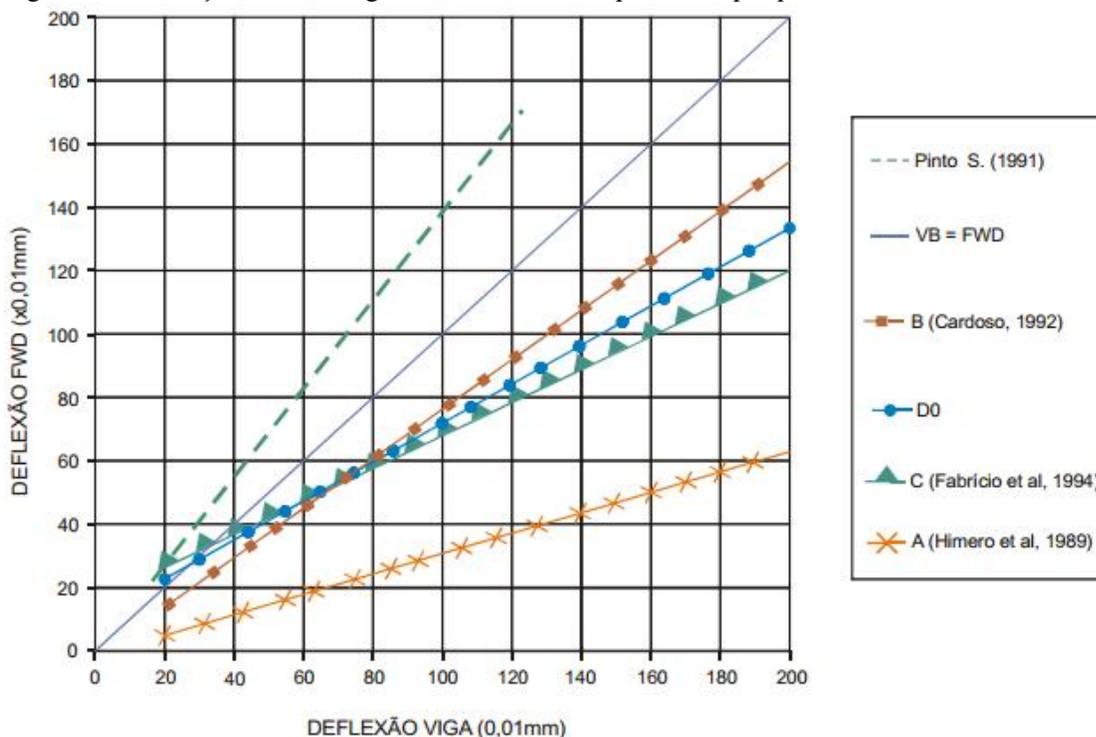
onde, além das variáveis definidas anteriormente, temos:

$D_{VB}$  - deflexão característica obtida com a viga Benkelman.

Borges (2001), em estudo da malha rodoviária Estadual de Santa Catarina desenvolveu diversos modelos de correlação entre o FWD e a viga Benkelman, conforme mostra a Figura 1 e a Tabela 2.

As correlações entre deflexões características obtidas por viga Benkelman e o equipamento FWD são dependentes de diversos fatores e, principalmente, da resposta elástica da estrutura de pavimento que está sendo avaliada (GOMES, 2012). De acordo com Pinto e Preussler (2001), não existem equações de correlação de forma generalizada, porém, constata-se que as deflexões obtidas com a viga Benkelman são da ordem de 20 a 30% superiores as obtidas com a utilização do equipamento FWD.

Figura 1 - Correlações FWD e viga Benkelman obtidas por vários pesquisadores



Fonte: BRASIL (2006b)

Tabela 2 - Correlações entre FWD e viga Benkelman

CORRELAÇÕES OBRIDAS POR MEIO DOS VALORES DE:	MODELOS DE CORRELAÇÃO	
	$y = ax + b$	$y = \alpha x$
Deflexões características de cada segmento	$D_{VB} = 1,343 D_{FWD} - 5,814$ com $r^2 = 0,84$	$D_{VB} = 1,248 D_{FWD}$ com $r^2 = 0,83$
Deflexões de todos os segmentos	$D_{VB} = 1,251 D_{FWD} - 2,412$ com $r^2 = 0,75$	$D_{VB} = 1,205 D_{FWD}$ com $r^2 = 0,74$
Deflexões médias de cada segmento	$D_{VB} = 1,339 D_{FWD} - 6,243$ com $r^2 = 0,80$	$D_{VB} = 1,210 D_{FWD}$ com $r^2 = 0,79$
Deflexões - espessura de 5,0cm de revestimento	$D_{VB} = 1,180 D_{FWD} - 0,710$ com $r^2 = 0,73$	$D_{VB} = 1,193 D_{FWD}$ com $r^2 = 0,73$
Deflexões - espessura de 10,0cm de revestimento	$D_{VB} = 1,486 D_{FWD} - 11,144$ com $r^2 = 0,77$	$D_{VB} = 1,237 D_{FWD}$ com $r^2 = 0,74$

Fonte: BRASIL (2006b)

### 5.1.3.2 Raio de curvatura

O Raio de Curvatura (R) é o raio do círculo que melhor se ajusta à curvatura da bacia de deflexão no ponto de maior deflexão. A forma assumida pela bacia de deformação indica a maior ou menor capacidade do pavimento em assimilar e distribuir as cargas para as camadas que constituem a estrutura do pavimento. Desta forma este parâmetro pode ser usado para verificar a capacidade de destruição das cargas dos pavimentos (BASÍLIO, 2002).

O Raio de Curvatura da bacia de deformação pode ser utilizado para estudar o comportamento da bacia como um todo. A vantagem deste processo é a necessidade da obtenção apenas das deformações no ponto de aplicação da carga, no ponto de máxima

deflexão, no caso  $D_0$ , e no local de aplicação da carga situada a 25 cm da ponta de prova, no caso  $D_{25}$ , sendo o seu valor determinado a partir da seguinte expressão (BRASIL, 2006b; BASÍLIO, 2002):

$$R = \frac{6250}{2 \times (D_0 - D_{25})} \quad (5.5)$$

onde,

R - raio de curvatura (m);

$D_0$  - deflexão máxima, em centésimos de milímetros;

$D_{25}$  - deflexão a 25 cm do ponto de carga, em centésimos de milímetros.

De acordo com Basílio (2002), a partir do conhecimento e da análise dos valores apresentados pelo pavimento do Raio de Curvatura e da Deflexão Máxima Reversível é possível conhecer a resposta do pavimento às solicitações de carga, sendo certo que estruturas que apresentam Deflexão Reversível baixa e Raio de Curvatura elevados revelam a capacidade de distribuição dos esforços nas camadas do pavimento, sendo estas consideradas estruturalmente sadias, enquanto que o oposto ocorre para estruturas debilitadas estruturalmente. Um baixo raio de curvatura é normalmente um indicativo de que os módulos elásticos das camadas superiores do pavimento apresentam valores abaixo dos desejáveis (PINTO e PREUSSLER, 2001)

#### 5.1.4 Levantamento de irregularidades superficiais

A irregularidade longitudinal identificada em uma rodovia é o resultado de deformações constatadas na superfície do pavimento devidas a deficiências estruturais ou às degradações provocadas pelos inúmeros problemas ocorridos durante ou após a construção, devido à ação do tráfego, clima e outros diversos fatores intervenientes (BASÍLIO, 2002).

De acordo com Basílio (2002), os movimentos e esforços indesejáveis decorrentes da irregularidade longitudinal afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento, a dinâmica das cargas e a drenagem da via, conduzindo a uma condição de rolamento desconfortável, insegura e antieconômica. A definição deste parâmetro pode ser considerada como uma medida indireta da serventia do pavimento, de acordo com os pesquisadores Gillespie (1992), Haas *et al.* (1994), Brasil (2006b), Pinto e Preussler (2001) citados por Basílio (2002).

Por meio de uma pesquisa realizada pelo Banco Mundial no Brasil foi definido o IRI, como um índice resumo estatístico definido a partir do perfil longitudinal da trilha de roda de um revestimento percorrido (SAYERS *et al.*, 1986 apud Basílio (2002)).

Os valores da escala do IRI determinam os seguintes padrões gerais (PATERSON, 1987 mencionado por Basílio (2002)):

- IRI = 0 - superfície perfeitamente plana;
- IRI = 6 - rodovias pavimentadas com irregularidade média;
- IRI = 12 - rodovias pavimentada muito irregulares, com painelas e remendos;
- IRI = 20 - rodovias não pavimentadas muito irregulares.

Existe uma equação de correlação entre o IRI e as unidades de medidas de equipamentos tipo resposta, QI (contagens/km), que é fornecida por:

$$IRI = \frac{QI}{13} \quad (5.6)$$

#### Equipamentos medidores da superfície do pavimento

Inúmeros autores destacam que os equipamentos destinados à medida da irregularidade de um pavimento podem ser agrupados em: (a) medidores do perfil da superfície do pavimento; (b) medidores de “resposta” do veículo às distorções da superfície do pavimento (MARCON, 2016).

Os medidores de perfil, como diz o próprio nome, medem o perfil da superfície do pavimento da via, retratando as distorções que afetam a dinâmica dos veículos em movimento. Podem ser classificados em (MARCON, 2016):

**a) Régua** (MARCON, 2016)

**b) Régua deslizante** (MARCON, 201)

**c) Perfilógrafo**

O equipamento do tipo perfilógrafo consiste de uma viga ou estrutura rígida com um sistema de rodas que serve de referência para avaliar desvios de superfície. As medidas do perfil superficial do pavimento são coletadas através de vários grupos de três rodas, em que as duas extremidades estão em tandem e a do meio detecta as variações de perfil, que são registradas em folhas apropriadas. As vantagens do equipamento tipo perfilógrafo são: boa repetibilidade, operação simples e baixo custo inicial. A principal desvantagem é a baixa velocidade de avaliação de 3 milhas/hora (4,8 km/h) e a incapacidade de medir comprimentos de onda múltiplos inteiros da distância entre as rodas extremas (HAAS *et al.*, 1994; MARCON, 2016; BASÍLIO, 2002).

Assim sendo, a principal finalidade do perfilógrafo é o monitoramento dos equipamentos e dos processos de construção adotados em cada obra, objetivando assegurar e avaliar os níveis desejados de regularidade superficial. Seu uso no Brasil é admitido pela norma do DNIT 049/2013-ES em seu item 7.3.2 (BRASIL, 2013).

**d) Perfilômetro Laser**

O Perfilômetro Laser (RSP) foi desenvolvido para suprir as necessidades dos engenheiros na obtenção de medidas automáticas e de alta precisão da irregularidade superficial e outros defeitos associados. O RSP obtém medidas contínuas, em velocidade de tráfego, dos perfis longitudinais e transversais, incluindo a irregularidade em tempo real (IRI). As medidas são realizadas com referências lineares (SEVERO *et al.*, 2004).

**e) Perfilômetros**

São equipamentos que aferem o perfil da superfície do pavimento de uma forma contínua ou a intervalos pequenos para captar a influência das distorções na qualidade da superfície de rolamento. Existem, porém, outros equipamentos que permitem a avaliação do perfil longitudinal, e que podem ser divididos em dois grupos: inerciais e não inerciais (MARCON, 2016).

Os perfilômetros inerciais são equipamentos dotados de quatro requisitos básicos (MARCON, 2016): sensor de altura, acelerômetro (aparelho de referência inercial para compensar o movimento vertical do corpo do veículo), aparelho de GPS e um computador de bordo para processar os dados coletados.

Os perfilômetros inerciais foram desenhados para permitir a determinação rápida (alta velocidade) do perfil real do pavimento. Entre os modelos existentes e comercializados, alguns são mostrados adiante (MARCON, 2016).

Existem dois modelos: APL 25, que mede a irregularidade a velocidade de 21,6 km/h, e APL 72, que trafega a 72 km/h. A velocidade de deslocamento deve ser constante, pois os resultados são sensíveis à mesma. Os comprimentos de onda medidos variam de 1,0 a 40,0 metros para o modelo APL 72 e de 0,5 a 15,0 metros para o APL 25 (MARCON, 2016).

Atualmente, está em grande uso os equipamentos com barra laser. Trata-se de um veículo no qual é instalada uma barra na parte frontal ou na parte traseira com sensores a laser. O veículo transita em velocidade normal do tráfego e realiza medições do perfil transversal espaçadas conforme a necessidade e assim é possível traçar o perfil longitudinal do pavimento (MARCON, 2016).

Como alternativa de baixo custo para levantamento de irregularidade foi concebido pelo TRL (*Transport Research Laboratory*) do Reino Unido o equipamento MERLIN (*Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*), o qual consiste de uma estrutura metálica de 1,8 m de comprimento, com uma roda dianteira, uma haste fixa de apoio na parte traseira, e um apoio central oscilante. O apoio central oscilante mede os desvios de cota entre um ponto de referência e os demais pontos analisados (ALBUQUERQUE, 2007).

Além destes perfilômetros inerciais mencionados, existem outros, conforme vários autores pesquisados (MARCON, 2016).

Os perfilômetros não inerciais são geralmente mais simples de operar, mas quase todos de baixa produtividade. Pode-se destacar primeiramente o aparelho Dipstick, consistindo de um acelerômetro montado sobre uma armação apoiada em pés afastados em 30 cm. As medidas são feitas em sequência, girando manualmente a armação em torno do pé dianteiro, em relação ao sentido da avaliação (MARCON, 2016).

O perfilômetro TRRL, também é não inercial, sendo equipado com quatro medidores a laser, adaptados em sequência. Os medidores a laser medem continuamente a distância entre o equipamento e a superfície do pavimento, na medida em que são deslocados ao longo da via. O processamento dos dados permite o cálculo do perfil do pavimento pesquisado. A vantagem deste equipamento é de operar a velocidades variáveis, mesmo naquelas correspondentes às autoestradas (MARCON, 2016).

O TRRL desenvolveu um perfilômetro rebocado de alta velocidade, baseado no perfilômetro CHLOE, o qual foi denominado perfilômetro TRRL - *High-Speed Road Monitor*, que utiliza sensores laser para medir o perfil longitudinal, na profundidade de sulcos e macrotextura da superfície. Os sensores de laser estão ligados a uma viga de 5 metros, que é montado sobre um eixo não suspenso de duas rodas. O feixe é ligado a um veículo trator e o veículo pode ser conduzido a uma velocidade de 80 km/h (FWA, 2006).

Segundo Sayers e Karamihas (1998) apud Bernucci *et al.* (2010), tem-se empregado largamente a seguinte classificação de equipamentos para medição da irregularidade longitudinal de pavimentos:

Avaliação direta: por meio de equipamentos de classe I (nível e mira; *Dipstick*, perfilômetro do TRL etc.) e classe II (perfilógrafos, equipamentos com sensores a laser, APL francês etc.);

Avaliação indireta: equipamentos de classe III do tipo-resposta (TRL *Bump integrator*, *Maysmeter*, *Merlin*, etc.).

### **Metodologias para avaliação de irregularidade longitudinal**

- a) **DNIT 009/2003 - PRO** - Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (BRASIL, 2003e)

Algumas condições são impostas pela norma DNIT 009/2003 - PRO para a realização desta avaliação. Cada avaliador deve considerar o conforto proporcionado pelo pavimento caso tivesse que utilizá-lo dirigindo um veículo durante 8 horas ou ao longo de 800 km (BRASIL, 2003e).

- b) **DNIT 162/2012 - PRO** - Determinação de deflexões utilizando o Deflectógrafo Lacroix (BRASIL, 2012)

O objetivo do procedimento é determinar as deformações recuperáveis, essenciais para a avaliação estrutural da condição do pavimento, a partir de um equipamento de medição dinâmica chamado Deflectógrafo Lacroix (BRASIL, 2012).

### 5.1.5 Número estrutural corrigido

O Número Estrutural é fixado pela AASHTO (1993) como “um número teórico que expressa a resistência estrutural necessária para dadas combinações de suporte do solo, tráfego total, serventia terminal e clima”. O número estrutural considera somente a combinação linear dos coeficientes estruturais ( $a_i$ ) e espessuras ( $H_i$ ) das camadas que compõe o pavimento de uma via (BASÍLIO, 2002).

O número estrutural corrigido, SNC, é definido como uma combinação linear de coeficientes estruturais ( $a_i$ ) e espessuras ( $H_i$ ) das camadas do pavimento sobre o subleito e da contribuição deste último (AASHTO, 1993; BRASIL, 2006b). Este parâmetro foi avaliado, através de pesquisa experimental, ser a medida estatisticamente mais significativa da resistência dos pavimentos, quando usado em modelos de previsão de desempenho (WATANATADA *et al.*, 1987; BASÍLIO, 2002).

Além de expressar a resistência estrutural do pavimento, o conhecimento do número estrutural corrigido é necessário para o uso em inúmeras equações de previsão de desempenho existentes (QUEIROZ, 1981; WATANATADA *et al.*, 1987; PATERSON, 1987; BASÍLIO, 2002).

O cálculo do número estrutural corrigido é realizado utilizando-se a expressão a seguir (QUEIROZ, 1981; BRASIL, 2006b; BASÍLIO, 2002):

$$SNC = \sum a_i \times H_i + 3,51 \times \log CBR_{SL} - 0,85 \times (\log CBR_{SL})^2 - 1,43 \quad (5.7)$$

onde,

$a_i$  - coeficiente estrutural da camada  $i$ ;

$H_i$  - espessura da camada  $i$  (cm);

$CBR_{SL}$  - índice de suporte do subleito.

Os coeficientes estruturais das camadas do pavimento são determinados pelas seguintes expressões (BRASIL, 1985; BASÍLIO, 2002):

- a) Revestimento

$$a_i = 0,181 \times [1 - e^{(-0,000084 \times MR)}] \quad (5.8)$$

onde,

$e$  - número de Euler (2,718281828);

MR - módulo de resiliência do revestimento em kgf/cm<sup>2</sup>.

- b) Bases granulares

$$a_2 = (11,47 \times CBR_2 - 0,07783 \times CBR_2^2 + 1,772 \times 10^{-4} \times CBR_2^3) \times 10^{-4} \quad (5.9)$$

onde,

$CBR_2$  = índice de suporte da base granular.

c) Sub-bases granulares

$$a_3 = 0,00394 + 0,02559 \times \log CBR_3 \quad (5.10)$$

onde,

$CBR_3$  = índice de suporte da sub-base granular.

De acordo com Marcon (2016), na ausência de CBR das camadas constituintes do pavimento os coeficientes estruturais poderão ser determinados pelas seguintes expressões (AASHTO, 1993):

a) Bases granulares

$$a_2 = 0,249(\log EBS) - 0,977 \quad (5.11)$$

onde:

EBS - módulo resiliente do material da base, em psi<sup>1</sup>.

b) Sub-bases granulares

$$a_3 = 0,227(\log EBS) - 0,839 \quad (5.12)$$

onde:

EBS - módulo resiliente do material da sub-base, em psi.

No caso de base não granulares em solo fino (areia siltosa vermelha, na rodovia BR-262/MS), do tipo solo-cimento, adotar-se-á  $a_2 = 0,04$  (conforme a Norma DNER-PRO 159/85) (BRASIL, 1985).

## 5.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

De acordo com a AASHTO “Desempenho de um pavimento é a capacidade deste de atender seus objetivos ao longo do tempo”. Os modelos de previsão de desempenho são estabelecidos para prever a velocidade de alteração dos valores dos parâmetros controladores das condições funcional e estrutural dos pavimentos em função do tempo ou das solicitações oriundas do tráfego. A previsão do desenvolvimento de defeitos nos pavimentos é útil para o estabelecimento de estratégias de manutenção da via (HAAS *et al.*, 1994 apud Basílio (2002)).

Para maximizar os efeitos positivos da gerência de pavimentos, o uso de modelos de previsão de desempenho confiáveis é de vital importância. “A seleção de estratégias ótimas de manutenção depende da viabilidade de uso de modelos que reflitam as condições locais” (NUÑEZ; SHAHIN, 1986; BASÍLIO, 2002).

---

<sup>1</sup> 1 MPa = 1,450377439 x 10<sup>2</sup> psi.

A capacidade de modelar e prever com precisão a condição do pavimento é fundamental para o sucesso dos sistemas de gestão do pavimento (SHAHIN *et al.*, 1987).

Conforme Basílio (2002), para o uso eficiente dos recursos de conservação, é necessário estimar as condições ou o nível de serventia futuros dos diferentes trechos do pavimento, em uma determinada rede viária. Esta estimativa só é possível se o gestor viário ou o engenheiro de pavimentação tiver à sua disposição modelos de previsão de desempenho que reflitam as condições reais da rede. Além disso, tais modelos são instrumentos tecnológicos essenciais para a análise de estratégias alternativas de projetos de manutenção ou restauração de pavimentos.

Estes modelos devem reproduzir as condições às quais são solicitados, e devem ser desenvolvidos ou alterados com base em dados de levantamentos e experiências locais. Para Paterson (1987) apud Basílio (2002):

Os melhores modelos de previsão de desempenho de pavimentos são aqueles desenvolvidos diretamente a partir de dados de campo sistematicamente coletados e analisados, sendo que estes dados de observação de pavimentos restringem o uso do modelo ao ambiente de avaliação.

Para Basílio (2002), tais modelos, além de antever a condição futura dos pavimentos mantidos com determinada atividade de manutenção, também podem ser úteis para comparar economicamente várias alternativas de manutenção, ajudando no prognóstico do desempenho do pavimento tratado com ações de manutenção e restauração que satisfaçam suas restrições de orçamento e desempenho.

O pesquisador brasileiro César Queiroz citado por Basílio (2002), desenvolveu equações de modelos de previsão de deterioração, em termos de irregularidade, trincas e trilhas de rodas para pavimentos asfálticos em função da estrutura do pavimento, subleito e tráfego. Com base em dados coletados de rodovias dos Estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Distrito Federal foi possível Queiroz desenvolver tais modelos de previsão de desempenho. Esses modelos podem ser usados em outros locais, porém é necessário fazer uma calibração dos mesmos para as características de onde ele será utilizado e uma verificação dos resultados obtidos, através da coleta contínua de dados.

Conforme Basílio (2002), um tipo mais geral de sistema de trabalho, que incluía outros itens de custo (por exemplo, drenagem e terraplenagem), é melhor exposto pelo “*Highway Design and Maintenance Standards Model*” (HDM). O modelo HDM foi desenvolvido com base em uma extensa pesquisa realizada no Brasil, Quênia, Índia e Ilhas Caribenhas pelo Banco Mundial. Assim como outros modelos, este também requer calibração para ser usado com segurança. O SGP usado na província de Gauteng na África do Sul, denominado GALTRANS, faz uso do HDM III calibrado para as condições locais, quando ao nível de rede.

Uma pesquisa desenvolvida pelo *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory* resultou no desenvolvimento do que é conhecido como Método Família (NUÑEZ; SHAHIN, 1986). Este método foi proposto para uso no sistema de gerência Micro PAVER para relacionar o índice *Pavement Condition Index* (PCI) com o tempo, aplicável quando se dispõe de pelo menos uma avaliação de cada um dos trechos pesquisados.

Para Basílio (2002), esta metodologia consiste em coletar e agrupar informações relevantes dos trechos de rodovia, organizando-os em famílias, sendo que cada família de pavimentos é definida como um grupo de trechos com características semelhantes, baseadas no tipo, uso, classificação funcional e grau de deterioração. Os fatores usados para classificar uma família de pavimentos dependem do usuário do sistema e das informações disponíveis. Em seguida, para cada família definida, um arquivo de dados é criado, contendo todas as características relevantes dos trechos que a compõem. Esta metodologia baseia-se no fato de

que trechos com estruturas semelhantes, porém com diferentes idades, tráfego e índices de condição, representam a deterioração da condição de um trecho de determinada família ao longo do tempo. Deste modo, pode-se ter uma ideia do desempenho geral ou tendência de desempenho ao longo do tempo, que se pode prever para todos os trechos da família. O método proposto fez uso do índice PCI para a avaliação dos pavimentos ao longo do tempo. No entanto, as variáveis para definição dos grupos podem ser diferentes da adotada, de acordo com as condições locais.

Chem e Raza (1998) citados por Basílio (2002), estimaram e reproduziram modelos de previsão para as duas mais importantes rodovias paquistanesas, denominadas N5 e N55, considerando, primeiramente, o agrupamento dos trechos que compõem estas estradas em função do tráfego e do CBR do subleito. Em Bolivar e Achútegui (1998), também mencionado por Basílio (2002), a segmentação das famílias se fez através das características dos materiais constituintes do pavimento e sua história, sendo os modelos desenvolvidos a partir da correlação do tráfego e os parâmetros de condição do pavimento.

Hudson *et al.* (1979) apud Basílio (2002), demonstraram que “a condição atual de um pavimento é dependente da sua história, em termos de estrutura, carga suportada e fatores ambientais”. Assim, fica claro que a condição atual é resultante de decisões tomadas em anos anteriores e que decisões tomadas no presente momento vão ter efeito nas condições vindouras do pavimento. Dessa forma, todas as decisões devem ser tomadas à luz de seus efeitos imediatos e futuros, por meio do uso de modelos de desempenho que espelham as condições reais da rede viária. Com o uso de tais modelos, poderão ser previstas as condições do pavimento para um horizonte determinado e verificados os resultados de ações desenvolvidas em termos de reabilitação e manutenção. Assim será possível, nos anos futuros, analisar as previsões anteriormente realizadas e, dessa forma, determinar no que o modelo pode melhorar. Mas para que isto seja possível, é imprescindível que exista uma alimentação continuada do banco de dados do sistema viário.

Basílio (2002) em pesquisa da malha rodoviária estadual do Estado de Goiás efetuou estudos de modelos de previsão de desempenho de pavimentos, com base em análise de levantamentos realizados pelo órgão gestor da malha, a partir da divisão dos trechos pesquisados em famílias, por tipo de revestimento utilizado, idade do pavimento, número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, dentre outros.

De acordo com Basílio (2002), os modelos de previsão de desempenho apresentam normalmente erros nas estimativas de tempo para execução de serviços de manutenção ou reabilitação. Tais erros costumam ser menores quando o pavimento se aproxima do final da vida útil e maiores quando estão no início da vida útil. Destarte, os modelos devem ser periodicamente atualizados, e as previsões devem restringir-se a períodos em que se tenha um razoável grau de confiabilidade. A impossibilidade de incluir todas as variáveis significativas, como drenagem, qualidade de construção e condições climáticas, contribui, também, para a ocorrência de erros e incertezas nos modelos de previsão de desempenho.

### **Tipo de modelos de previsão de desempenho**

Os modelos de previsão de desempenho normalmente são agrupados em quatro tipos básicos (HAAS *et al.* (1994) apud BASÍLIO, 2002): mecânicos, empírico-mecânicos, regressão e subjetivos.

#### **5.2.1 Modelos de previsão de desempenho existentes**

Apresentamos algumas equações de previsão de desempenho existentes.

➤ Equações obtidas por regressão por Queiroz (1981)

Estas equações foram determinadas a partir do banco de dados da Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (PICR), desenvolvida entre 1975 e 1982 pelo GEIPOT (Grupo de Estudos de Integração da Política de Transportes), por regressão múltipla pelo método dos mínimos quadrados e análise da cumeieira e são utilizadas no procedimento de projeto DNER-PRO 159/85 (BRASIL, 1985). Foram estabelecidas cinco equações para estimar a irregularidade dos pavimentos em função da idade, número N e variáveis estruturais. As equações vinculadas à irregularidade são:

$$\log QI = 1,478 - 0,1383 \times RH + 0,000795 \times IDADE + 0,0224 \left( \log \frac{NA}{SNC} \right)^2 \quad (5.13)$$

$$R^2 = 0,26; \text{ erro padrão} = 0,13$$

$$QI = 21,8 - 7,52 \times RH + 5,16 \times ST + 0,515 \times IDADE + 7,22 \times 10^{-5} (D_{VB} \times \log NA)^2 \quad (5.14)$$

$$R^2 = 0,48; \text{ erro padrão} = 10,58$$

$$\log QI = 1,391 - 0,1315 \times RH + 0,0414 \times P + 0,00751 \times IDADE + 8,66 \left( \log \frac{NA}{SNC} \right) + 7,17 \times 10^{-5} \times (D_{VB} \times \log NA)^2 \quad (5.15)$$

$$R^2 = 0,32; \text{ erro padrão} = 0,13$$

$$QI = 12,63 - 5,16 \times RH + 3,31 \times ST + 0,393 \times IDADE + 8,66 \left( \log \frac{NA}{SNC} \right) + 7,17 \times 10^{-5} \times (D_{VB} \times \log NA)^2 \quad (5.16)$$

$$R^2 = 0,52; \text{ erro padrão} = 10,22$$

$$\log QI = 1,299 - 0,1072 \times RH + 0,0415 \times P + 0,0623 \times IDADE + 0,0856 \left( \log \frac{NA}{SNC} \right) + 0,023 (D_D \times \log NA) \quad (5.17)$$

$$R^2 = 0,36; \text{ erro padrão} = 0,13$$

onde,

QI - quociente de irregularidade (contagens/km);

$D_{VB}$  - Deflexão máxima medida com a Viga Benkelman (0,01mm);

$D_D$  - Deflexão máxima medida com Dynaflect (0,001 polegadas = 0,0254mm);

SNC - número estrutural corrigido;

NA - número equivalente de operações do eixo padrão (AASHTO, 1993);

IDADE - número de anos desde a construção ou recapeamento;

log - logaritmo decimal;

RH - variável indicadora do estado de conservação:

RH = 0, como construído;

RH = 1, como restaurado;

ST - variável indicadora do tipo de revestimento:

ST = 0 - concreto asfáltico;

ST = 1 - tratamento superficial;

P - porcentagem do pavimento que recebeu reparos de remendos profundos.

➤ Equações obtidas por regressão por Paterson (1987)

No estudo desenvolvido por Paterson (1987), foram definidos modelos de previsão de desempenho mais simples para a determinação da evolução do IRI, cujo uso é facilitado. Estes modelos são denominados modelos agregados. Para a progressão da irregularidade foi escolhido o seguinte modelo (BASÍLIO, 2002):

$$RI = (RI_0 + 725(1 + SNC)^{-4,99} \times YE_4) \times e^{0,0153 \times IDADE} \quad (5.18)$$

$$R^2 = 0,75$$

onde,

RI - índice de irregularidade do pavimento para determinada idade (m/km);

RI<sub>0</sub> - índice de irregularidade no início da análise do pavimento, tomado como 1,923 m/km, ou QI = 25;

SNC - número estrutural corrigido;

YE<sub>4</sub> - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf calculado pelo método da AASHTO com expoente 4, em milhões/faixa;

e - número de Euler (2,718281828);

IDADE - número de anos desde a construção ou recapeamento, em anos.

➤ Equações obtidas por Marcon (1996)

Com base em levantamentos realizados na década de 90, na malha rodoviária de Santa Catarina, Marcon (1996) estabeleceu modelos de previsão de desempenho, através de equações que correlacionam idade ou o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO, às variáveis quociente de irregularidade, deflexões máximas médias e índice de gravidade global. Algumas dessas equações estão mostradas a seguir (NASCIMENTO, 2005):

$$QI = 18,348 + 1,1635 \times IDADE \quad (5.19)$$

$$R^2 = 0,29$$

$$QI = 25,783 + 4 \times 10^{-6} \times NA - 5 \times 10^{-14} \times NA^2 \quad (5.20)$$

$$R^2 = 0,32$$

$$DEFM = 24,288 + 3,5458 \times IDADE \quad (5.21)$$

$$R^2 = 0,37$$

$$DEFM = 44,928 + 1,0 \times 10^{-5} \times NA \quad (5.22)$$

$$R^2 = 0,50$$

onde, além das variáveis anteriormente apresentadas, temos:

DEFM - Deflexão máxima média, em centésimos de milímetro.

➤ Equações obtidas por Basílio (2002)

Com base em levantamentos realizados nos anos de 1996, 1998, 2000 e 2001, na malha rodoviária do estado de Goiás, Basílio (2002) estabeleceu modelos de previsão de desempenho, através de equações que correlacionam à deflexão máxima média e irregularidade longitudinal com o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO. Algumas dessas equações estão mostradas a seguir:

$$DEFM = 7 \times 10^{-13} \times NA^2 + 9 \times 10^{-7} \times NA + 57,602 \quad (5.23)$$

$$R^2 = 0,61$$

onde,

DEFM - deflexão máxima média, em centésimos de milímetro;

NA - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf (AASHTO, 1993).

$$QI = 3 \times 10^{-13} \times NA^2 + 2 \times 10^{-6} \times NA + 37,741 \quad (5.24)$$

$$R^2 = 0,61$$

onde, além das variáveis nomeadas na equação anterior:

QI - quociente de irregularidade, em contagens/km.

### 5.2.2 Valores de restrição de desempenho

De acordo com Haas *et al.* (1994) citado por Basílio (2002), “valores de restrição de desempenho são limites estabelecidos” com a finalidade de medir o “comportamento, desempenho, deterioração de operação” de uma via, “que são comparados com valores reais do pavimento ou estimativas. Se a medida ou estimativa excede o limite fica configurada a necessidade de reabilitação ou da implementação” de uma atividade para recompor as condições adequadas de trafegabilidade da via.

Para o estabelecimento de tais limites são utilizados os seguintes parâmetros:

- ✓ Irregularidade longitudinal;
- ✓ Deterioração da superfície;
- ✓ Deflexão, ou outro índice que reflita a capacidade estrutural do pavimento;
- ✓ Atrito;
- ✓ Atrasos em viagens devido a operações de manutenção;
- ✓ Custos de operação de veículos.

## 6 METODOLOGIA DE ANÁLISE

A pesquisa a ser realizada será desenvolvida através da consulta à bibliografia disponível sobre o tema, associada com uma pesquisa documental e de dados de levantamentos das condições estruturais e funcionais do pavimento de quatro trechos de rodovias federais de Mato Grosso do Sul.

Este trabalho será desenvolvido em etapas. Em um primeiro momento realizar-se-á a revisão sistemática e a revisão bibliográfica com o material enviado pelo orientador e consulta à internet em sites referência como SCOPUS e SCIELO, com o objetivo de levantar trabalhos realizados em outras instituições de ensino superior e de pesquisa e instituições rodoviárias.

Em uma segunda etapa será pesquisado dados em projetos, documentos e levantamentos de campo contratados pelo DNIT nos últimos quinze anos, aproximadamente, com a finalidade de obtenção de dados para a elaboração do presente trabalho.

Os dados de levantamentos obtidos que constam de documentos serão transcritos para o meio eletrônico apropriado. Os dados obtidos diretamente de meio eletrônico, no formato pdf, por exemplo, serão transcritos para planilhas eletrônicas, sendo tabuladas no formato excel, para a elaboração das tabelas e gráficos inseridos no trabalho.

Os procedimentos metodológicos utilizados ao longo desta pesquisa são apresentados neste Capítulo.

### 6.1 TENDÊNCIA DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS

A análise do comportamento dos pavimentos é efetuada por meio de parâmetros que permitem definir as condições estruturais e funcionais do pavimento. Os principais fatores determinantes da qualidade da avaliação de um pavimento são o tipo, a qualidade dos valores coletados e a confiabilidade das medições dos parâmetros (SHAHIN, 1994; Marcon e Cardoso (1996) apud Basílio (2002)).

A coleta periódica destes dados permite estimar a evolução dos valores dos parâmetros escolhidos para a avaliação, traduzida pelos modelos de previsão de desempenho (BASÍLIO, 2002).

Para esta pesquisa, o estudo do comportamento dos pavimentos foi elaborado com base nos procedimentos descritos por Nuñez e Shahin (1986) e Shahin *et al.* (1987). Esta metodologia também foi adotada por Marcon (1996) para a determinação de linhas de tendência de desempenho para a rede rodoviária do Estado de Santa Catarina e por Basílio (2002) para estudo da malha rodoviária de Goiás. Outros exemplos similares de aplicação desta metodologia podem ser encontrados nos trabalhos de Marchionna *et al.* (1998), Bolivar e Achútegui (1998), Chem e Raza (1998) citados por BASÍLIO (2002).

O objetivo a ser alcançado com esta metodologia é examinar a tendência de evolução de defeitos e condições do pavimento, para uso em sistema de gerência de pavimentos.

### 6.2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Em trabalho publicado por Nuñez e Shahin (1986) foi proposta uma alternativa de análise do desempenho de pavimentos, aplicável quando se dispõe de pelo menos uma verificação de cada um dos trechos. Esta metodologia é resultado de prolongados estudos, visando à obtenção de modelos de desempenho para utilização no sistema de gerência de pavimentos PAVER (Shahin *et al.* (1987) apud Basílio (2002)).

De acordo com autor acima mencionado esta metodologia fundamenta-se em:

- a) Coletar e agrupar informações relevantes dos trechos de rodovia, organizando-os em famílias;
- b) Uma família de pavimentos é definida como um grupo de trechos com características semelhantes, baseadas no tipo, uso, classificação funcional e grau de deterioração. Os fatores utilizados para classificar uma família de pavimentos dependem do usuário do sistema e das informações disponíveis, de acordo com Shahin (1994) citado por Basílio (2002);
- c) Para cada família definida, um arquivo de dados é criado, contendo todas as características dos trechos que a compõem;
- d) O banco de dados criado é passado por um processo de validação, onde os valores considerados espúrios são excluídos da análise;
- e) Trechos com diferentes idades e índices de condição representam a deterioração da condição de um trecho de determinada família ao longo do tempo (SHAHIN *et al.*, 1987). Deste modo, coletando o tráfego suportado pelo trecho e a sua condição, plotando-os em um gráfico e ajustando uma curva entre os pontos, pode-se ter uma ideia do desempenho geral ou tendência ao longo do tempo, que se pode esperar para todos os trechos da família.

No estudo de Shahin (1994), citado por Basílio (2002), o método apresentado fez uso do índice PCI para a avaliação dos pavimentos ao longo do tempo. No entanto, as variáveis para definição dos grupos podem ser diferentes da utilizada, variando de acordo com as condições locais.

Para o presente estudo os parâmetros a serem adotados, de acordo com a metodologia proposta por Shahin (1994), citada por Basílio (2002), são:

- ✓ Deflexão máxima média (DEFM);
- ✓ Quociente de Irregularidade (QI);
- ✓ Número equivalente de operações do eixo padrão (NA), calculado pelo método da AASHTO (AASHTO, 1993).

### 6.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

As famílias de pavimentos para os trechos pesquisados se resumem apenas em um único tipo, de acordo com o revestimento usado nas rodovias federais de MS: CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente).

Os dados serão apresentados através de gráficos obedecendo as seguintes orientações:

- ✓ Eixo das abscissas:
  - NA: logaritmo decimal do número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO (AASHTO, 1993);
  - IDADE: número de anos decorridos desde a construção, restauração e/ou aplicação de uma camada de revestimento betuminoso com, pelo menos, 3 cm de espessura.
- ✓ Eixo das ordenadas:
  - QI: quociente de irregularidade, em contagens/km;
  - DEFM: deflexão máxima média, em centésimos de milímetro.

### 6.4 ANÁLISE DOS MODELOS DE TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO

Segundo a metodologia exposta anteriormente, foram realizadas análises das tendências de desempenho dos pavimentos pesquisados e os resultados comparados com estimativas de modelos de desempenho existentes, sendo os resultados encontrados apresentados em forma de gráficos ou tabelas.

Os gráficos apresentados relacionam o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO, aos parâmetros irregularidade longitudinal, deflexões máximas médias. A decisão de aplicar o número N calculado pelo método da

AASHTO foi adotada porque os modelos de previsão de desempenho existentes relacionam os defeitos a este parâmetro.

Para o parâmetro irregularidade longitudinal existe equações de desempenho desenvolvidas em outras pesquisas. Neste caso, foi traçada a curva de desempenho a partir dos resultados obtidos com o uso de tais equações, permitindo, desta forma, a comparação desta curva de desempenho com a linha de tendência observada pelos dados da amostra analisada.

#### 6.4.1 Irregularidade longitudinal

Para cada trecho foi usada a média da irregularidade longitudinal. Estes valores foram confrontados com os resultados obtidos com o uso de quatro equações de previsão conhecidas.

A primeira equação foi determinada por Queiroz (1981), através do método da regressão com base nos dados coletados durante a Pesquisa PICR, realizada no Brasil. Esta equação foi adotada por ter sido concebida com dados pesquisados no Brasil e por ser usada no método de projeto de restauração DNER-PRO 159/85 (BRASIL, 1985). A equação é a seguinte:

$$QI = 12,63 - 5,16 \times RH + 3,31 \times ST + 0,393 \times IDADE + 8,66 \left( \log \frac{NA}{SNC} \right) + 7,17 \times 10^{-5} \times (D_{VB} \times \log NA)^2 \quad (5.16)$$

$$R^2 = 0,52; \text{ erro padrão} = 10,22$$

onde,

QI - quociente de irregularidade (contagens/km);

$D_{VB}$  - Deflexão máxima medida com a Viga Benkelman (0,01mm);

SNC - número estrutural corrigido;

NA - número equivalente de operações do eixo padrão (AASHTO, 1993);

IDADE - número de anos desde a construção ou recapeamento;

log - logaritmo decimal;

RH - variável indicadora do estado de conservação:

RH = 0, como construído;

RH = 1, como restaurado;

ST - variável indicadora do tipo de revestimento:

ST = 0 - concreto asfáltico;

ST = 1 - tratamento superficial.

A segunda equação foi proposta por Paterson (1987), através de análise de regressão não-linear dos dados coletados na mesma Pesquisa PICR. Esta equação foi escolhida por ter sido concebida com dados pesquisados no Brasil. A equação é a seguinte:

$$RI = (RI_0 + 725(1 + SNC)^{-4,99} \times YE_4) \times e^{0,0153 \times IDADE} \quad (5.18)$$

$$R^2 = 0,75$$

onde,

RI - índice de irregularidade do pavimento para determinada idade (m/km);

$RI_0$  - índice de irregularidade no início da análise do pavimento, tomado como 1,923 m/km, ou  $QI = 25$ ;

SNC - número estrutural corrigido;

$e$  - número de Euler (2,718281828);

IDADE - número de anos desde a construção ou recapeamento, em anos;

YE<sub>4</sub> - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf calculado pelo método da AASHTO com expoente 4, em milhões/faixa.

A terceira equação foi estabelecida por Basílio (2002), através de regressão dos dados coletados na malha viária do estado de Goiás, nos anos de 1996, 1998, 2000 e 2001. A equação é a seguinte:

$$QI = 3 \times 10^{-13} \times NA^2 + 2 \times 10^{-6} \times NA + 37,741 \quad (5.24)$$

$$R^2 = 0,61$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

A quarta equação foi determinada por Marcon (1996), através de regressão dos dados coletados na malha viária do estado de Santa Catarina, na década de 90. A equação é a seguinte:

$$QI = 25,783 + 4 \times 10^{-6} \times NA - 5 \times 10^{-14} \times NA^2 \quad (5.20)$$

$$R^2 = 0,32$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

#### 6.4.2 Deflexões máximas médias

Para cada trecho foi usada a deflexão máxima média. Estes valores foram confrontados com os resultados obtidos com o uso das duas equações de previsão conhecidas, a primeira que foi determinada por Basílio (2002), com base de dados da malha viária do estado de Goiás.

A equação é a seguinte:

$$DEFM = 7 \times 10^{-13} \times NA^2 + 9 \times 10^{-7} \times NA + 57,602 \quad (5.23)$$

$$R^2 = 0,61$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

E a segunda, com base em levantamentos realizados na década de 90, na malha rodoviária de Santa Catarina, Marcon (1996) estabeleceu modelo de previsão de desempenho, através de equação que correlaciona o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO, à variável deflexão máxima média.

A equação é a seguinte:

$$DEFM = 44,928 + 1,0 \times 10^{-5} \times NA \quad (5.22)$$

$$R^2 = 0,50$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

### 6.4.3 Processo de validação dos dados

A partir do momento em que foram definidos os trechos que fariam parte do banco de dados da pesquisa, foi efetuado um processo de validação dos dados pesquisados com a finalidade de excluir da amostra estudada os valores que, eventualmente, poderiam invalidar ou deturpar as análises a respeito das tendências de desempenho.

A validação dos dados foi realizada com a exclusão dos trechos cujos valores dos parâmetros analisados se encontravam muito fora da tendência dos demais dados.

Os valores apresentados para cada trecho correspondem à média de cada parâmetro estudado, sendo que estes valores foram obtidos diretamente do banco do SGP do DNIT ou de dados existentes em projetos ou levantamentos realizados no âmbito da Superintendência Regional do DNIT de MS.

#### 6.4.3.1 Análise estatística dos dados

Para a validação dos dados foram tomados como referência os critérios adotados pelo procedimento DNER-PRO 11/79 (BRASIL, 1979) para a obtenção dos parâmetros característicos.

De acordo com a publicação acima, inicialmente os parâmetros medidos devem se enquadrar dentro do intervalo de confiança, segundo as equações seguintes:

Limite Superior de Confiança (LSC):

$$LSC = D + z\sigma \quad (6.1)$$

Limite Inferior de Confiança (LIC):

$$LIC = D - z\sigma \quad (6.2)$$

onde:

D - valor médio do parâmetro analisado;

$\sigma$  - desvio padrão do parâmetro pesquisado;

z - coeficiente de confiança, estimado em função do número (n) de medições do parâmetro.

A Tabela 3 apresenta os valores de z relacionados ao número n de dados analisados.

Tabela 3 - Valores de z em relação ao número de observações (n)

n	z	Confiabilidade
3	1,0	68,3%
4	1,5	86,6%
5 - 6	2,0	95,4%
7 - 19	2,5	98,7%
> 20	3,0	99,7%

Fonte: BRASIL (1979)

Quando o valor medido não se ajustava dentro dos limites de controle este era expurgado do banco de dados e o processo reiniciava até o momento em que todos os valores se ajustassem dentro dos limites de controle estabelecidos.

De acordo com Brasil (1979), o valor do coeficiente de variação (cv) é determinado, para cada uma das distribuições, através da expressão:

$$cv = \frac{\sigma}{D} \quad (6.3)$$

De acordo com a mesma publicação, o valor da deflexão característica é determinado, através da expressão, para cada uma das distribuições:

$$D_c = D + \sigma \quad (6.4)$$

onde, além das variáveis anteriormente definidas, temos:

$D_c$  - deflexão característica obtida para a época do levantamento deflectométrico, em 0,01 mm.

#### 6.4.3.2 Deflexões características

De acordo com Brasil (1979), as deflexões características são determinadas pela equação abaixo, em que os valores espúrios são excluídos da análise estatística, por não se enquadrar dentro dos valores limites.

$$D_{xc} = D_x + \sigma_x \quad (6.5)$$

onde:

$D_{xc}$  - deflexão característica;

$D_x$  - deflexão média;

$\sigma_x$  - desvio padrão.

Para cada trecho foi calculado o seu coeficiente de variação (cv). Esta operação destinou-se a retratar a relatividade da dispersão em relação à deflexão máxima. Em função deste valor pode-se verificar se o mesmo apresentava comportamento homogêneo ou não.

#### 6.4.3.3 Deflexão de projeto

Conforme Brasil (1979), a época mais adequada para “a realização das medidas de deflexões é imediatamente após a estação chuvosa, quando o subleito está com o máximo de umidade”. Quando isto não ocorre, costuma-se fazer uso de fatores de correção sazonal para as deflexões obtidas em qualquer época, a fim de corrigi-las para a época mais desfavorável. A correção pode ser realizada utilizando-se a Tabela 4.

Tabela 4 - Fator de correção sazonal

Natureza do subleito	Fator de Correção Sazonal ( $F_s$ )	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 - 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 - 1,40	1,00

Fonte: BRASIL (1979)

Para a escolha do fator de correção sazonal ( $F_s$ ) devem ser levadas em conta as seguintes informações (BRASIL, 1979):

- a) A distribuição das precipitações mensais médias correspondentes à região onde se acha implantado o trecho em estudo;

- b) As precipitações mensais ocorridas nos meses durante os quais foi efetuado o levantamento deflectométrico, e nos três meses que antecederam o levantamento;
- c) As características do pavimento existente e de seu subleito.

A deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto ( $D_p$ ) é calculada pela fórmula (BRASIL, 1979):

$$D_p = D_c \times F_s \quad (6.6)$$

onde, além das variáveis nomeadas anteriormente, temos:

$D_p$  - deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto, em 0,01 mm;

$F_s$  - fator de correção sazonal.

#### 6.4.3.4 Deflexão admissível

De acordo com Brasil (1979), para que não surjam trincas no pavimento, é necessário manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor, denominado deflexão admissível ( $D_{adm}$ ).

O valor da deflexão admissível depende do número  $N$  de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf previstos para o período de projeto, além dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento (BRASIL, 1979).

Para pavimentos flexíveis, constituídos de revestimento em concreto betuminoso executado sobre base de material granular, o valor da deflexão admissível, em 0,01 mm, é calculado pela fórmula (BRASIL, 1979):

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (6.7)$$

onde,

$D_{adm}$  - deflexão admissível, em 0,01 mm;

$N$  - número equivalente de operações do eixo padrão (AASHTO, 1993);

$\log$  - logaritmo decimal.

#### 6.4.3.5 Correlação SNC versus Deflexão

De acordo com Watanatada *et al.* (1987) e Paterson (1987) apud Marcon (2016), pode-se também estimar o SNC através da correlação entre a deflexão máxima do pavimento, medida pela viga Benkelman, conforme equações propostas pelos autores citados por Marcon (2016).

Para pavimentos flexíveis, de base granular, a equação é:

$$SNC = 3,2 \times D_{VB}^{-0,63} \quad (6.8)$$

ou,

$$D_{VB} = 6,5 \times SNC^{-1,6} \quad (6.9)$$

Para pavimentos flexíveis, de base cimentada, a equação é:

$$SNC = 2,2 \times D_{VB}^{-0,63} \quad (6.10)$$

ou,

$$D_{VB} = 3,5 \times SNC^{-1,6} \quad (6.11)$$

onde,

SNC - número estrutural corrigido;

$D_{VB}$  - deflexão máxima medida com a viga Benkelman, em mm.

## 7 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXISTENTES

A avaliação do desempenho dos pavimentos de uma malha viária e a operacionalização do sistema de gerência de pavimentos só é possível com as informações coletadas na malha viária.

Os dados utilizados para o presente estudo resultaram de levantamentos realizados pelo DNIT, nos anos de 2003/2004, 2008, 2012, 2014 e 2015. Os dados relativos aos anos de 2008 e parte dos dados de 2003/2004 são de levantamentos em nível de projeto, sendo os demais em nível de rede. Além destes dados, a concessionária CCR MS Vias, através da ANTT, disponibilizou dados de levantamentos deflectométricos dos anos de 2014 e 2016. Mencionados dados foram disponibilizados pela SGP do DNIT, referente aos anos de 2012, 2014 e 2015, e os demais buscados junto ao setor de projetos da Superintendência Regional do DNIT de MS.

### 7.1 MALHA RODOVIÁRIA FEDERAL DE MS

Conforme o Sistema Nacional de Viação (SNV) disponibilizado pelo DNIT para o ano de 2016, a malha rodoviária sob a circunscrição federal no Estado de Mato Grosso do Sul é de 3.729,0 km de rodovias, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição da malha viária federal no Estado de Mato Grosso do Sul

#### **NÃO PAVIMENTADA**

Leito natural	Em obras de implantação	Planejada	Em obras de pavimentação	Sub-total (1)
226,0	1,4	527,9	36,2	791,5

#### **PAVIMENTADA**

Pista Simples	Em obras de duplicação	Pista Dupla	Sub-total (2)
3.721,5	0,0	66,7	3.788,2
Total da malha rodoviária federal, inclusive a concedida			4.579,7
Concedida (ANTT/CCR MS Vias: BR-163/MS)			850,7
Total sob circunscrição federal			3.729,0

Fonte: DNIT (SNV, 2016)

Os quatro trechos de rodovias pesquisados no presente trabalho apresentam revestimento em concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) ou, concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), de acordo com a nomenclatura adotada.

Os materiais utilizados para as camadas de base são em seixo rolado, na rodovia BR-163/MS, entre o km 388 e o km 403, e na BR-267/MS entre o km 40 e o km 55, sendo que este último fora reciclado com adição de cimento e incorporação da camada asfáltica na restauração ocorrida em 2011, apenas nos locais previstos no projeto de restauração. Na rodovia BR-262/MS foi utilizado solo fino (areia siltosa cor vermelha) entre o km 239 e o km 254 na execução da base à época da construção. O trecho da BR-163/MS, entre o km 344 ao km 359 é em cascalho do tipo laterítico. Os materiais utilizados para a confecção da sub-base dos trechos pesquisados foram o seixo rolado puro (quantidade mínima) e/ou solo arenítico tipo A-2-4.

A seção transversal típica das rodovias federais pesquisadas tem largura de pista de rolamento variando de 7,10 m a 7,20 m e largura de acostamento de 2,50 m. As espessuras

das camadas de base e sub-base variam de 18 a 20 cm de espessura, sendo a espessura do concreto asfáltico ou betuminoso variável entre 6,60 cm a 17,00 cm.

O tráfego dos usuários destas rodovias é composto por veículos de passeio na proporção variando de 34,49% a 49,32% da frota circulante, de acordo com levantamento efetuado pelo DNIT através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) para o ano de 2015, para cada uma das rodovias pesquisadas nos trechos mencionados. O tráfego médio diário (TMD) comercial apresentou composição variando de 588 a 1.263 veículos por dia para os trechos objeto de pesquisa, para o ano de 2015.

## 7.2 LEVANTAMENTOS USADOS NO TRABALHO

No presente trabalho foram utilizados dados de levantamentos ou pesquisas realizadas pelo DNIT, através de contratos celebrados pela Sede ou pela Superintendência Regional em MS, bem como os levantamentos cedidos pela concessionária CCR MS Vias, da rodovia BR-163/MS, através de contato via ANTT, para a elaboração de projetos específicos de engenharia ou como monitoramento das condições do pavimento em nível de rede.

### 7.2.1 Levantamento de 2004

Este levantamento foi realizado pela empresa Dynatest Engenharia Ltda., através de contrato firmado com o extinto DNER para a elaboração de Projeto de Restauração e Adequação de Capacidade da rodovia federal BR-163/MS, entre o distrito de Vila Vargas (km 322,360) e o município de Nova Alvorada do Sul (km 364,600), com a realização de contagens volumétricas e classificatórias para estudos de tráfego, sondagens, pesquisa de jazidas, levantamentos deflectométricos com o equipamento FWD, determinação do QI, dentre outros ensaios e estudos.

Neste levantamento foram desenvolvidas as seguintes atividades:

Contagem volumétrica e classificatória para a composição do TMD (Tráfego Médio Diário) para a determinação do número N de repetições do eixo padrão de 8,2 tf;

Registro das características físicas e estruturais da rodovia, com a coleta dos respectivos materiais empregados nas camadas constituintes do pavimento;

Características estruturais do pavimento, como valores de módulo de resiliência das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito e as respectivas espessuras;

Análise funcional do pavimento com a Determinação do Índice de Gravidade Global (IGG), Afundamento de Trilha de Roda (ATR), Área Trincada (AT) e Quociente de Irregularidade (QI), esclarecendo que o QI foi levantado através do uso de equipamentos do tipo resposta;

Medição das deflexões com a utilização do FWD, sendo as medidas realizadas a cada 120 m, com equipamento Dynatest 8.000;

Cadastro dos pontos notáveis, tais como início e final de pontes, interseções.

### 7.2.2 Levantamento de 2003/2004

Este levantamento foi realizado pela empresa STE - Serviços Técnicos de Engenharia S. A. através de contrato firmado com o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) do extinto DNER para a realização de levantamentos deflectométricos das rodovias federais nos estados de MG, MS e SP com o equipamento FWD.

Neste levantamento foram desenvolvidas as seguintes atividades:

Registro das características físicas e estruturais da rodovia, com a coleta dos respectivos materiais empregados nas camadas constituintes do pavimento;

Características estruturais do pavimento, como valores de módulo de resiliência das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito e as respectivas espessuras;

Medição das deflexões com a utilização do FWD, com o equipamento Dynatest modelo 8000, sendo as medidas realizadas a cada 200 m;

Análise funcional do pavimento com a Determinação do IGG, ATR, AT e QI, mencionando que o QI foi pesquisado com o uso de equipamento do tipo resposta;

Cadastro dos pontos notáveis, tais como início e final de pontes, interseções.

### **7.2.3 Levantamento de 2008**

Este levantamento foi realizado pela empresa Concesolo Engenharia Ltda., através de contrato firmado com o DNIT para a realização de estudos e levantamentos de IRI e ensaios deflectométricos da rodovia federal BR-262/MS, entre o km 0,000 ao km 325,600 para a realização de Projeto Executivo de Engenharia para Obras de Recuperação e Manutenção de Rodovias (CREMA 2ª Etapa) e pela empresa Contécnica Consultoria Ltda., através do contrato firmado com o DNIT para a realização de Projeto Executivo de Restauração da rodovia BR-267/MS, no trecho entre o km 0,000 e o km 62,250.

Nestes dois levantamentos foram desenvolvidas as seguintes atividades:

Registro das características físicas e estruturais da rodovia, com a coleta dos respectivos materiais empregados nas camadas constituintes do pavimento;

Contagem volumétrica e classificatória para a composição do TMD para a determinação do número N de repetições do eixo padrão de 8,2 tf, em abril de 2008;

Características estruturais do pavimento, como valores de CBR das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito e as respectivas espessuras;

Medição das deflexões com a utilização de viga Benkelman, sendo as medidas realizadas a cada 20 m, com medições intercaladas entre o lado direito e o lado esquerdo do pavimento;

Determinação do QI a partir do IRI levantado em campo, no mês de maio/2008, com a utilização de equipamento do tipo resposta;

Cadastro dos pontos notáveis, tais como início e final de pontes, interseções.

### **7.2.4 Levantamento de 2012**

Este levantamento foi realizado pela empresa PROSUL - Projetos, Supervisão e Planejamento Ltda., através do contrato pactuado com o DNIT, para a medição das deflexões nas rodovias BR-163/267/MS, que foram efetuadas nos meses de janeiro e fevereiro de 2012. O levantamento do IRI foi efetuado pelo Consórcio RF/ENGESUR.

Neste levantamento foram desenvolvidas as seguintes atividades:

Medição das deflexões com a utilização do FWD, sendo as medidas realizadas a um intervalo de 200 m de distância uma da outra, com medidas intercaladas entre o lado direito e o lado esquerdo do pavimento.

Nos meses de setembro e outubro do ano de 2012 foi realizado o levantamento do IRI nas rodovias acima nomeadas, os quais foram fornecidos pela SGP/DPP/DNIT, através do uso de perfilômetro equipado com três sensores a laser.

### **7.2.5 Levantamento de 2014/2015**

Este levantamento foi realizado pela empresa PROSUL, através do contrato pactuado com o DNIT, para a medição das deflexões na rodovia BR-262/MS, nos meses de fevereiro e março de 2015, com a utilização do FWD, sendo as medidas realizadas a um intervalo de 40

m de distância uma da outra, com medidas intercaladas entre o lado direito e o lado esquerdo do pavimento.

Também no ano de 2014 foi realizado o levantamento do IRI no mês de agosto na rodovia BR-262/MS, os quais foram fornecidos pela SGP/DPP/DNIT, sendo que os mesmos foram levantados em campo pelo consórcio RF/ENGESUR, por meio do contrato firmado com o DNIT, através da utilização de perfilômetro equipado com três sensores a laser.

### 7.2.6 Levantamento de 2014 e 2016 (CCR MS Vias)

Estes levantamentos foram cedidos pela empresa CCR MS Vias, mediante contato efetuado com o engenheiro residente da ANTT, os quais foram realizados pela empresa concessionária para determinar as medidas de deflexões e o IRI do pavimento da rodovia federal concedida, no caso a BR-163/MS.

Neste levantamento foram apresentados os seguintes relatórios:

Medição das deflexões com a utilização do FWD, com as medições realizadas a cada 100 m, no mês de outubro de 2014;

Levantamento do IRI para a determinação do QI, no mês de março/2016, com a utilização de equipamento portando sensores a laser.

### 7.2.7 Quadro Resumo dos Levantamentos Realizados

A Tabela 6 apresenta um quadro resumo de todos os levantamentos realizados, discriminando o nome da empresa contratada, tipo de equipamento utilizado em cada um dos anos pesquisados.

Tabela 6 - Resumo dos levantamentos realizados e tipo de equipamento utilizado

Empresa contratada para a realização do IRI e tipo do equipamento utilizado

Rodovia	Ano				
	2004	2008	2012	2014	2016
BR-163/MS (a)	Dynatest / Tipo Resposta	-	RF/ENGESUR / Laser	RE/ENGESUR / Laser	CCR MS Vias / Laser
BR-163/MS (b)	-	-	RF/ENGESUR / Laser	RF/ENGESUR / Laser	CCR MS Vias / Laser
BR-262/MS	-	Concresolo / Tipo Resposta	RF/ENGESUR / Laser	RF/ENGESUR / Laser	-
BR-267/MS	-	-	RF/ENGESUR / Laser	RF/ENGESUR / Laser	-

Empresa contratada para a realização da deflexão e tipo do equipamento utilizado

Rodovia	Ano				
	2004	2008	2012	2014	2016
BR-163/MS (a)	Dynatest / Dynatest 8000	-	PROSUL / FWD	CCR MS Vias / FWD	-
BR-163/MS (b)	STE / Dynatest 8000	-	PROSUL / FWD	CCR MS Vias / FWD	-
BR-262/MS	STE / Dynatest 8000	Concresolo / V.Benkelman	-	PROSUL / FWD	-
BR-267/MS	STE / Dynatest 8000	-	PROSUL / FWD	-	-

Observações:

Os levantamentos dos anos de 2012 e 2014 realizados pela PROSUL foram disponibilizados pelo SGP/DPP/DNIT.

O levantamento de deflexões realizado pela Concresolo em 2008 utilizou a viga Benkelman.

O levantamento do IRI realizado pela Dynatest, na BR-163/MS, foi com equipamento tipo resposta.

Os levantamentos disponibilizados pela CCR MS Vias, da BR-163/MS, o fora em rodovia concedida.

Fonte: Autor

### 7.2.8 Levantamentos de dados de pesquisas de tráfego

Dados de pesquisas de tráfego efetuadas pela empresa ACT - Assessoria e Consultoria no Transporte Ltda., nas rodovias BR-163/262/267/MS, nos anos de 2012 e 2013, foram utilizados para a checagem dos dados da pesquisa volumétrica de veículos disponibilizada pelo PNCT do DNIT para o ano de 2015, para estas rodovias, com a finalidade de determinar o fator de veículos (FV) da composição do tráfego circulante nas vias.

### 7.2.9 Caracterização geológica e pedológica

O mapeamento geotécnico realizado neste trabalho foi de caráter preliminar, uma vez que foram apenas selecionadas as unidades pedológicas e geológicas ocorrentes na amostra em estudo e as suas características.

A caracterização geológica e pedológica do Estado de Mato Grosso do Sul foi baseada nas informações constantes dos relatórios e mapas do Projeto Radambrasil (1982) desenvolvidos para o sítio de estudo. Também foi consultado o trabalho de mestrado de Vieira (2014) para a região do município de Bataguassu/MS.

### 7.3 SELEÇÃO DOS TRECHOS

Os trechos selecionados para a pesquisa foram baseados no pressuposto da existência de maiores volumes de dados históricos de levantamentos do pavimento, seja por equipamento FWD ou por equipamentos de medição de IRI utilizando o laser. Os dados históricos do pavimento, como idade, tipos de intervenções e materiais constituintes do pavimento são relevantes para a pesquisa.

Os trechos objeto da presente pesquisa não sofreram intervenção diferente da conservação rotineira.

Foram selecionados quatro trechos de 15 km de extensão com revestimento em CBUQ ou CAUQ, sobre base de seixo rolado, laterita ou solo arenítico tipo A-2-4, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 - Seleção dos trechos utilizados na pesquisa

Rodovia	Segmento	Extensão (Km)	Ano de execução	Revestimento
BR-163/MS (a)	344,000 ao 359,000	15,00	1969	CAUQ
BR-163/MS (b)	388,000 ao 403,000	15,00	1968	CAUQ
BR-262/MS	239,000 ao 254,000	15,00	1987	CAUQ
BR-267/MS	40,000 ao 55,000	15,00	1967	CAUQ

Fonte: Autor

#### 7.3.1 Apresentação dos Dados dos Levantamentos

Os dados de irregularidade longitudinal e deflexão do pavimento para os quatro trechos selecionados estão apresentados nas Tabelas A.4.1 a A.4.5 do Apêndice A, para os levantamentos efetuados no ano de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016, respectivamente.

As deflexões foram levantadas por equipamento tipo FWD nos anos de 2004, 2012 e 2014 e convertidas para deflexão viga Benkelman de acordo com as fórmulas 5.1 a 5.3. No ano de 2008 as deflexões foram pesquisadas através de viga Benkelman e convertidas para deflexão FWD conforme a fórmulas mencionadas.

#### 7.3.2 Avaliação do Tráfego

A avaliação do tráfego foi realizada a partir de dados de contagem volumétrica de tráfego disponibilizada pelo PNCT de cada trecho. Para estimar a contagem classificatória do tráfego circulante nas rodovias objeto da pesquisa foram utilizados os dados das pesquisas de

tráfego da ACT para os quatro trechos e os dados existentes no projeto da Concesolo para a rodovia BR-262/MS.

A avaliação do tráfego tem por finalidade conhecer os tipos, volumes médios diários e a porcentagem de participação de veículos comerciais relativos a cada um dos trechos objeto da pesquisa.

Baseado na composição do tráfego atuante nas rodovias pesquisadas foram adotados os percentuais de veículos com cargas atuantes no sentido crescente e decrescente dos trechos, respectivamente, que correspondem ao sentido importação e exportação das cargas do estado de MS, tomando por base os projetos e relatórios pesquisados, além da contagem de veículos disponibilizada pelo PNCT para o ano de 2015, para a determinação do fator de veículo. Os fatores de veículos foram calculados utilizando as metodologias da AASHTO e da USACE, a partir dos fatores de equivalência de carga adotados por ambas as metodologias, e constante da publicação Brasil (2006a), e do fator de eixos, que é o percentual de veículos que utilizam a via, o qual baseou-se nos levantamentos de contagens volumétricas e classificatórias realizados pela ACT em 2012 e 2013 e no levantamento divulgado pelo PNCT 2015. Com isto foi possível a determinação do fator de veículos, que é igual ao produto do fator de eixo versus o fator de carga.

Os valores dos dados relativos ao fator de veículos de cada um dos trechos pesquisados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Fatores de veículos adotados para cada um dos trechos

Rodovia	Segmento	AASHTO	USACE
BR-163/MS (a)	344,000 ao 359,000	2,26	10,17
BR-163/MS (b)	388,000 ao 403,000	2,44	11,35
BR-262/MS	239,000 ao 254,000	2,50	11,58
BR-267/MS	40,000 ao 55,000	2,49	11,94

Fonte: Autor

A Concesolo, no projeto desenvolvido em 2008 para a rodovia BR-262/MS, encontrou os seguintes fatores de veículos: 2,51 (AASHTO) e 10,101 (USACE) no trecho objeto desta pesquisa. A Dynatest no ano de 2004 encontrou os seguintes fatores de veículos: 2,88 (AASHTO) e 9,11 (USACE) para a rodovia BR-163/MS, no trecho do km 344 ao km 359. A Contécnica no projeto desenvolvido para a rodovia BR-267/MS, no ano de 2009, encontrou os fatores de veículos: 3,424 (AASHTO) e 13,567 (USACE).

A Tabela 9 apresenta os valores de FV encontrados pelos diferentes projetistas no desenvolvimento dos projetos mencionados.

Tabela 9 - Fatores de Veículos determinados por diferentes empresas para os trechos pesquisados

Rodovia	Ano	Empresa	Tipo de Projeto	AASHTO	USACE
BR-163/MS (a)	2004	Dynatest	Restauração	2,88	9,11
BR-163/MS (b)	1994	Prodec	Restauração		
BR-262/MS	2008	Concesolo	Restauração e Manutenção	2,51	10,101
BR-267/MS	2009	Contécnica	Restauração	3,424	13,567

Fonte: Autor

### 7.3.3 Cálculo do Número “N”

O cálculo do número N de repetições do eixo padrão de 8,2 tf suportado pelo pavimento desde o ano de abertura ao tráfego, ou da última restauração, até o ano do levantamento,

inclusive, foi realizado utilizando a metodologia proposta nos métodos do DNER (SOUZA, 1981) e da AASHTO (AASHTO, 1993).

Os volumes médios diários de cada um dos trechos, para cada um dos anos anteriores à última restauração ou recapeamento com espessura mínima de 3,0 cm, até a data do levantamento foram estipulados em função do tráfego da coleta, se existente, e pelas taxas de crescimento adotadas pelo Setor de Projetos do DNIT, as quais estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Taxas de crescimento adotadas para o tráfego

Rodovia	Segmento	Taxa de Crescimento (%)
BR-163/MS (a)	344,000 ao 359,000	3,0%
BR-163/MS (b)	388,000 ao 403,000	3,0%
BR-262/MS	239,000 ao 254,000	3,0%
BR-267/MS	40,000 ao 55,000	3,0%

Fonte: DNIT (Superintendência Regional de MS)

O cálculo do valor do tráfego suportado até o ano do levantamento de 2004, por exemplo, para cada um dos trechos, foi realizado a partir da regressão dos valores obtidos com a contagem volumétrica realizada no ano de 2015.

O número de repetições ou operações do eixo padrão (N) de 8,2 tf para cada ano foi estimado pela expressão:

$$N_i = 365 \times Vm_i \times FV_i \times FR \quad (7.1)$$

onde:

$N_i$  - número operações do eixo padrão de 8,2 tf por ano;

$Vm_i$  - volume médio diário por categoria de veículo comercial, por ano, obtido por regressão através das taxas de crescimento adotadas;

$FV_i$  - fator de veículo por categoria de veículo;

$FR$  - fator climático regional (adotado:  $FR = 1,2$  (BR-163/MS) e  $FR = 1,0$  (BR-262/267/MS)).

O número de operações do eixo padrão (N) para todo o período de operação de cada trecho foi feito através do somatório dos números N de cada ano até o ano de coleta, inclusive.

Os valores de N suportados desde o início da operação da rodovia, ou da última restauração, ou recapeamento com, no mínimo, 3,0 cm de espessura, e o do ano de coleta, para cada trecho, foram obtidos pelas metodologias do DNER e da AASHTO.

Os mesmos estão apresentados nas Tabelas A.3.1 a A.3.5, do Apêndice A, para as amostras de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016, respectivamente.

### 7.3.4 Número Estrutural Corrigido

O cálculo do Número Estrutural (SN) e do Número Estrutural Corrigido (SNC) foi realizado utilizando as equações 5.7 a 5.12. Para o cálculo dos coeficientes estruturais das camadas de base e sub-base foram utilizados os valores de CBR ou do módulo de resiliência constantes do banco de dados, e apresentados nas Tabelas A.1.0, A.2.1, A.2.2 e A.2.3 do Apêndice A. Para a camada de revestimento em CAUQ ou CBUQ foi adotado o valor do Módulo de Resiliência igual a  $MR = 2.942$  MPa, de acordo com a norma DNER-PRO 159/85 (BRASIL, 1985).

Os valores dos coeficientes estruturais, do Número Estrutural (SN) e do Número Estrutural Corrigido (SNC) obtidos para cada trecho selecionado estão apresentados no Apêndice A, nas Tabelas A.2.1 a A.2.3, respectivamente, para os anos de 2004, 2008 e 2012.

O valor do Número Estrutural Corrigido (SNC) calculado para cada trecho foi usado nas equações de previsão de desempenho existentes e adotadas para esta pesquisa, e que foram apresentadas no decorrer do trabalho.

A Tabela 11 e a Figura 2 apresentam a deflexão medida em campo (viga Benkelman) versus o SNC obtido na pesquisa, bem como o valor da deflexão versus o SNC, calculados pelas equações 6.8 a 6.11.

Tabela 11 - Deflexão x SNC - para os anos objeto da pesquisa

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	base tipo	D <sub>0</sub> (VBK) (mm)	SNC (eq. 6.8/6.10)	Deflexão (mm) (eq. 6.9/6.11)	SNC pesquisa
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	GR	0,80	3,70	0,61	4,39
2	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	GR	0,86	3,52	0,44	5,38
3	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	GR	0,88	3,46	0,44	5,38
4	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	GR	0,63	4,30	0,34	6,37
5	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	GR	0,65	4,18	0,30	6,78
6	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	GR	0,68	4,06	0,30	6,78
7	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	SF	0,74	3,87	0,36	4,16
8	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000*	SF	0,38	5,85	0,25	5,15
9	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000*	SF	0,63	4,29	0,25	5,15
10	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	SF	0,61	4,37	0,28	4,82
11	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000*	SF	0,64	4,24	0,36	4,17

Legenda:

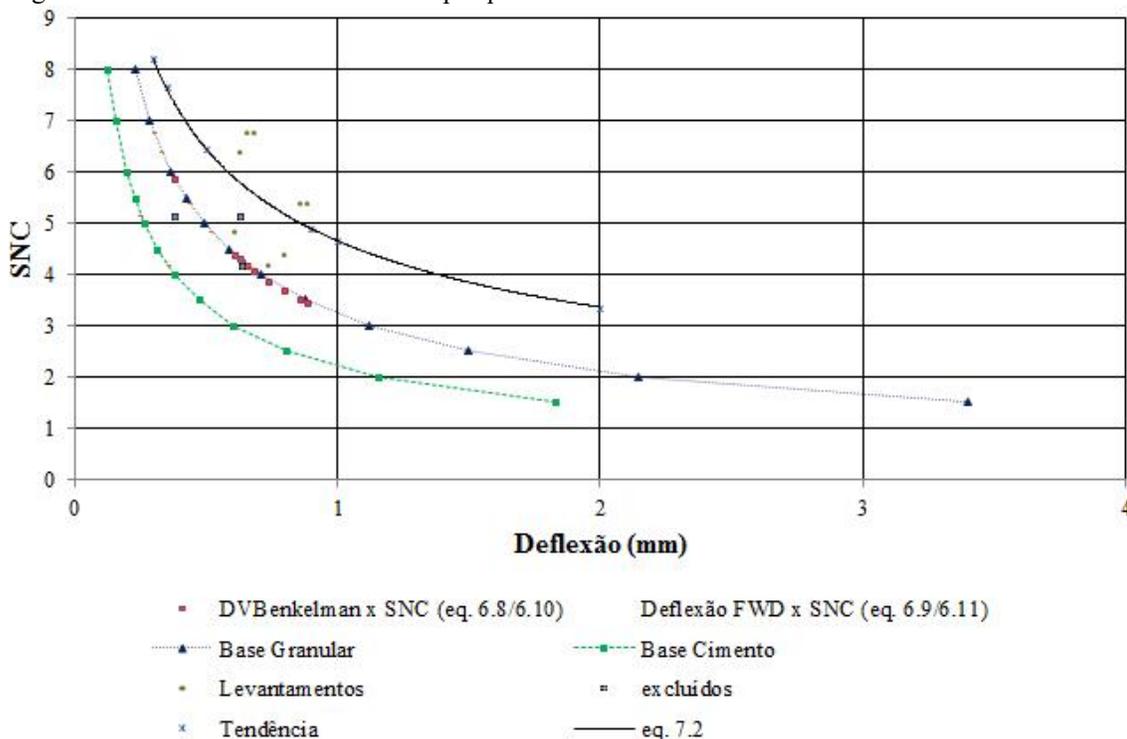
D<sub>0</sub> (VBK) - Deflexão máxima medida com o emprego da viga Benkelman (mm)

SNC - Número Estrutural Corrigido

\* - excluídos

Fonte: Autor

Figura 2 - Deflexão x SNC dos trechos pesquisados



Fonte: Autor

Os valores assinalados em asterisco foram excluídos, por apresentarem valores fora da tendência observada para os demais.

A equação que apresentou o coeficiente de determinação mais elevado para a linha de tendência foi do tipo polinomial, com  $R^2 = 0,1651$ . Entretanto, a equação potencial foi adotada por apresentar melhor tendência em comparação com os resultados obtidos com o uso das equações 6.8 a 6.11 apresentadas no Capítulo 6, mesmo com  $R^2 = 0,1244$ . A equação encontrada é a mostrada a seguir.

$$SNC = 4,6577 \times D_{VB}^{-0,472} \quad (7.2)$$

$$R^2 = 0,1244$$

onde,

$D_{VB}$  - deflexão obtida com a viga Benkelman, em milímetro;

SNC - Número estrutural Corrigido.

#### 7.4 RESUMO DA CONDIÇÃO DA REDE VIÁRIA

Conforme Haas *et al.* (1994) apud Basílio (2002), a síntese da condição da rede viária apresenta, de acordo com as informações disponíveis, as principais características dos pavimentos de uma malha viária com relação à estrutura, condições funcionais e estruturais, materiais constituintes do pavimento, tráfego atuante e idade do pavimento, de modo a auxiliar na análise do comportamento destes pavimentos e, conseqüentemente, servir de base para a tomada de decisões quanto as medidas de manutenção e reabilitação da via.

A partir dos dados dos levantamentos pesquisados foi realizado o resumo da condição da malha viária de Mato Grosso do Sul. Os resultados estão apresentados na forma de gráficos

e tabelas (DNIT/ACT, 2012/2013; DNIT/ANTT, 2014/2016; DNIT/CONCRESOLO, 2011; DNIT/CONTÉCNICA, 2009; DNIT/DYNATEST, 2004; DNIT/STE, 2004).

Em seguida são apresentados os resultados obtidos com os levantamentos subsequentes a fim de verificar a tendência da evolução dos defeitos para cada um dos levantamentos estudados nos quatro trechos de 15 km objeto da pesquisa identificados suso.

#### 7.4.1 Subleito

No que diz respeito ao subleito dos trechos pesquisados, são feitas as seguintes observações:

- a) Os valores de CBR variam de 8,2 a 29,8;
- b) Nas rodovias BR-163/MS, no trecho do km 388 ao km 403 e na BR-267/MS, no trecho do km 40 ao km 55, foram adotados como valor de CBR o valor mínimo encontrado do mesmo para a BR-163/MS, no trecho do km 344 ao km 359, conforme vê-se na Tabela 12, por falta de dados de CBR do subleito nos projetos analisados, para as duas rodovias;
- c) Os valores do módulo de resiliência do subleito encontrados nos levantamentos apontam valores entre 192 a 525 MPa;
- d) Em nenhum dos levantamentos pesquisados foi constatada a existência de reforço do subleito nos trechos analisados.

A Tabela 12 apresenta os dados característicos do subleito.

Tabela 12 - Características do subleito

Rodovia	CBR		Módulo de Resiliência (MPa)	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
BR-163/MS (a)	8,2	13,8	192	278
BR-163/MS (b)	8,2	8,2	335	525
BR-262/MS	16,2	29,8	372	435
BR-267/MS	8,2	8,2	236	382

Fonte: Autor

#### 7.4.2 Sub-base

No que diz respeito à sub-base dos trechos pesquisados, são feitas as seguintes observações:

- a) As espessuras encontradas de sub-base nos pavimentos pesquisados são de 20 cm, nos quatros trechos;
- b) Os solos que compõem estas camadas são de solo tipo A-2-4, na maior parte dos trechos, ou em seixo rolado (extensão mínima);
- c) Os valores de CBR das sub-bases pesquisadas apresentam valores de 32,6 a 77,0;
- d) Para levantamentos que não dispunham de CBR para a sub-base, os valores do módulo de resiliência da sub-base, em MPa, variavam de 126 a 932.

A Tabela 13 apresenta os dados característicos da sub-base.

Tabela 13 - Características das sub-bases

Rodovia	Material (Sub-base)	CBR		Módulo de Resiliência (MPa)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
BR-163/MS (a)	A-2-4	32,6	77,0	126	358
BR-163/MS (b)	A-2-4	-	-	164	932
BR-262/MS	A-2-4	-	-	128	243
BR-267/MS	A-2-4	-	-	160	292

Fonte: Autor

#### 7.4.3 Base

No que diz respeito às bases dos trechos pesquisados, são as seguintes as informações:

- As espessuras das bases encontradas variam de 18 a 20 cm;
- Os materiais constituintes das camadas de base são seixo rolado ou seixo arenoso (BR-267/MS), laterita e solo fino, tipo A-2-4. Nas obras de restauração das BR-262/267/MS as bases que apresentavam problemas foram recuperadas com reciclagem e adição de cimento ao material existente da base;
- Os valores do CBR das bases pesquisadas variam entre 30,5 a 90;
- Para trechos onde os projetos apresentaram os módulos de resiliência da base, em MPa, estes variavam entre 101 a 932.

A Tabela 14 apresenta os dados característicos da base.

Tabela 14 - Características das bases

Rodovia	Material (Base)	CBR		Módulo de Resiliência (MPa)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo
BR-163/MS (a)	Laterita	64,3	90,0	126	358
BR-163/MS (b)	Seixo	-	-	164	932
BR-262/MS	Solo Fino	30,5	54,3	128	243
BR-267/MS	Seixo	-	-	101	408

Fonte: Autor

#### 7.4.4 Revestimento

No que diz respeito aos revestimentos são realizadas as seguintes observações:

- A totalidade dos trechos pesquisados apresentam como revestimento o CAUQ ou CBUQ;
- Os revestimentos analisados apresentavam espessuras que variam de 5,5 a 14,0 cm no levantamento de 2004, e de 10,4 a 15,0 cm, nos levantamentos realizados em 2008 e 2012, nos quatro trechos de 15 km pesquisados, acima identificados das rodovias objeto de pesquisa;
- Os módulos de resiliência do revestimento apresentavam valores entre 1.540 a 8.625 MPa, no levantamento de 2004.

A Tabela 15 apresenta os dados característicos do revestimento.

Tabela 15 - Características dos revestimentos em CAUQ

Rodovia	Espessura (cm)		Módulo de Resiliência (MPa)	
	mínima	máxima	mínimo	máximo
BR-163/MS (a)	15,0	15,0	1.948	6.401
BR-163/MS (b)	6,8	15,3	2.729	8.625
BR-262/MS	11,3	11,5	1.540	5.291
BR-267/MS	9,0	10,5	1.688	2.992

Fonte: Autor

#### 7.4.5 Idade

No que diz respeito à idade dos pavimentos da amostra de quatro trechos pesquisados, são feitas as seguintes observações:

- Tomando como base o ano de 2004, 100% dos trechos pesquisados já haviam ultrapassado o período de projeto de 10 anos sem ter recebido intervenção significativa, à exceção da BR-262/MS que fora construída em tratamento superficial, recebeu uma capa asfáltica de 3,0 cm em PMF (Pré-Misturado a Frio) em 1994 e a rodovia BR-163/MS, no segmento entre o km 344 ao km 359 que no ano de 1984, sofrera uma intervenção com reperfilamento em CAUQ;
- A maioria das rodovias pesquisadas foi construída na década de 60, à exceção da BR-262/MS, que fora construída pelo estado de MS no período entre 1984 e 1987;
- Os quatro trechos estudados sofreram restauração entre os anos de 1999 e 2011.

Foram calculadas as idades do pavimento analisado para o ano de 2004 (ano da avaliação mais antiga das rodovias consideradas nesta pesquisa), em relação à época da construção, e para o ano de 2016, em relação à última restauração propriamente dita realizada nos trechos.

A Tabela 16 mostra a idade do revestimento e a data da construção e/ou restauração dos quatro trechos pesquisados, bem como os serviços de conservação preventiva, caso de aplicação de micro revestimento asfáltico, nos anos indicados após as obras de restauração propriamente dita.

Tabela 16 - Idade do revestimento e os respectivos períodos de construção

#### Idades do revestimento e os respectivos períodos de construção

Rodovia	Data				Idade (anos)	
	Construção	Conser. Prev.	Restauração	Conser. Prev.	Construção	Restauração
BR-163/MS (a)	1969	1984	2008	2013	35	8
BR-163/MS (b)	1968	-	2007	2009/2013	36	9
BR-262/MS	1987	1994	2006	2009/2013	17	10
BR-267/MS	1967	-	2011	2013	37	5

Observações:

As rodovias pesquisadas somente foram objeto de restauração propriamente dita no primeiro decênio deste século, estando indicadas as data de conclusão dos serviços.

As rodovias sofreram, antes dos serviços de restauração propriamente ditos, algumas intervenções de reperfilamento, caso da BR-262/MS, e de CBUQ na BR-163/MS(a) anteriormente a restauração.

Após a realização dos serviços de restauração propriamente dita, as rodovias foram objeto de intervenção com serviços de micro revestimento.

Fonte: Autor

### 7.4.6 Tráfego

No que diz respeito ao tráfego atuante nos pavimentos da malha estudada, representados pelo número equivalente de repetições do eixo padrão de 8,2 tf, são as seguintes observações:

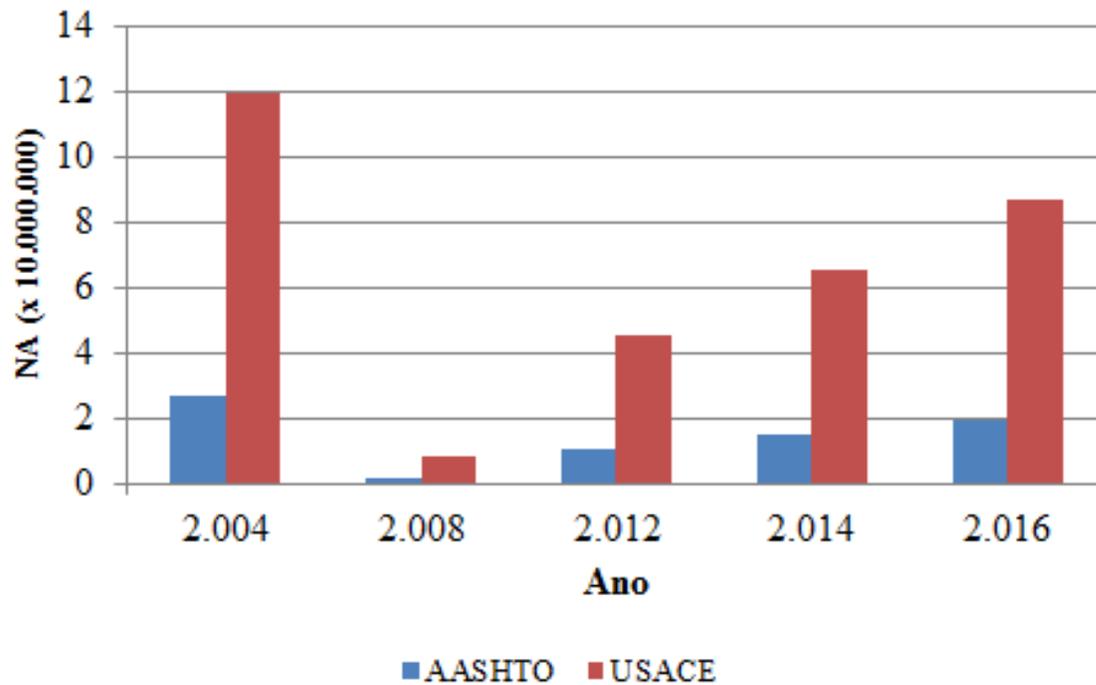
- a) Os fatores de veículos utilizados foram calculados de acordo com a metodologia constante da publicação do DNIT: Manual de Estudos de Tráfego (BRASIL, 2006a);
- b) Os valores de N foram determinados, segundo as metodologias da AASHTO e do DNIT (USACE), para a determinação do tráfego suportado pelas rodovias até o ano de 2004, com base nas contagens de tráfego pesquisadas, constantes dos levantamentos estudados, em contagens realizadas pela ACT - Assessoria e Consultoria no Transporte Ltda., e ainda, com base em contagem volumétrica realizada pelo PNCT para o ano de 2015;
- c) Os valores calculados e os dados podem ser vistos nas Tabelas A.3.1 a A.3.4 do Apêndice A deste trabalho de pesquisa;
- d) A Tabela 17 apresenta o tráfego acumulado suportado desde o início da operação da rodovia até o ano de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016, respectivamente, inclusive, pelos métodos do DNIT (USACE) e AASHTO, respectivamente, em cada sentido;
- e) As Figuras 3 a 6 apresentam os tráfegos acumulados suportados desde o início da operação pelas rodovias BR-163/262/267/MS;
- f) A Tabela 18 apresenta o TMDC para o ano de 2004, 2008, 2012, 2014, 2015 e 2016 nas rodovias BR-163/262/267/MS, em cada sentido de tráfego;
- g) A Figura 7 apresenta a evolução do tráfego médio diário comercial atuante nas rodovias federais objeto da pesquisa.

Tabela 17 - Tráfego acumulado suportado pelas rodovias até o ano de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016 (AASHTO e USACE) ( $\times 10^7$ ), em cada sentido de tráfego

Rodovia	Segmento	2004		2008		2012		2014		2016	
		AASHTO	USACE								
BR-163/MS (a)	163BMS036050000C1C	2,7	11,9	0,2	0,9	1,0	4,6	1,5	6,6	1,9	8,7
BR-163/MS (b)	163BMS037050000C1B	4,4	20,5	0,4	2,0	1,4	6,5	1,9	8,9	2,5	11,5
BR-262/MS	262BMS132550300B1B	1,1	4,9	0,4	1,7	0,9	4,2	1,2	5,6	1,5	7,0
BR-267/MS	267BMS089050300C1B	3,0	14,0	3,5	16,6	0,3	1,5	0,7	3,2	1,0	4,9

Fonte: Autor

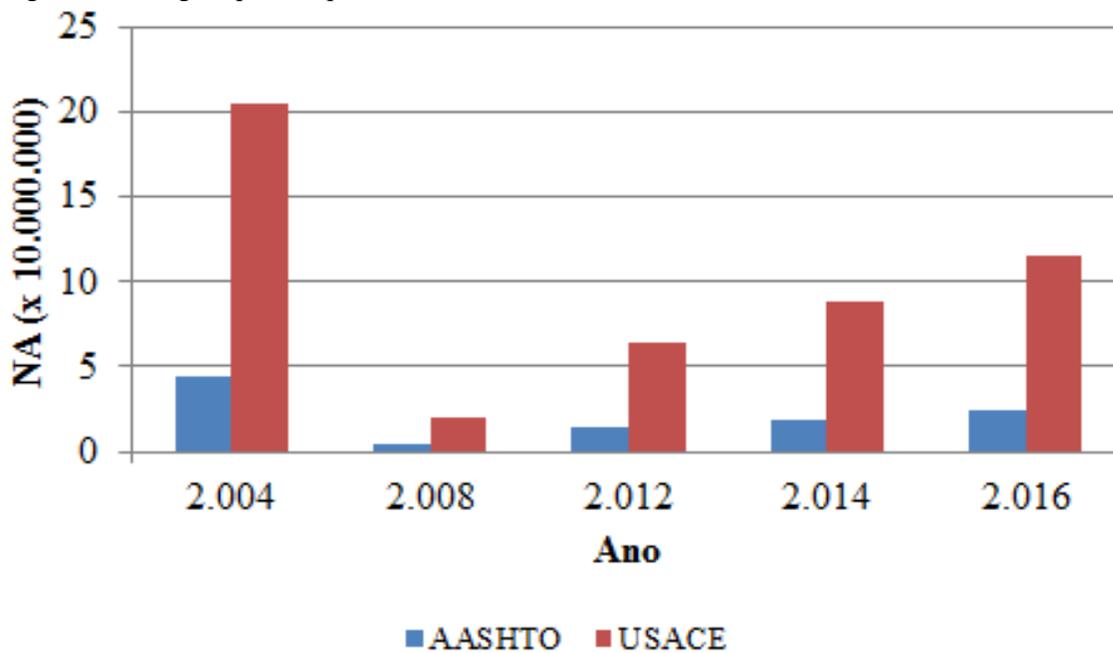
Figura 3 - Tráfego suportado pela rodovia BR-163/MS, trecho: km 344 - 359



Fonte: Autor

A restauração na BR-163/MS, no trecho km 344 ao km 359, foi concluída em agosto de 2008, o que explica o tráfego acumulado atuante na mesma no ano de 2008. No ano de 2013 a rodovia sofreu uma intervenção no pavimento com obras de conservação preventiva com a aplicação de uma camada de micro revestimento.

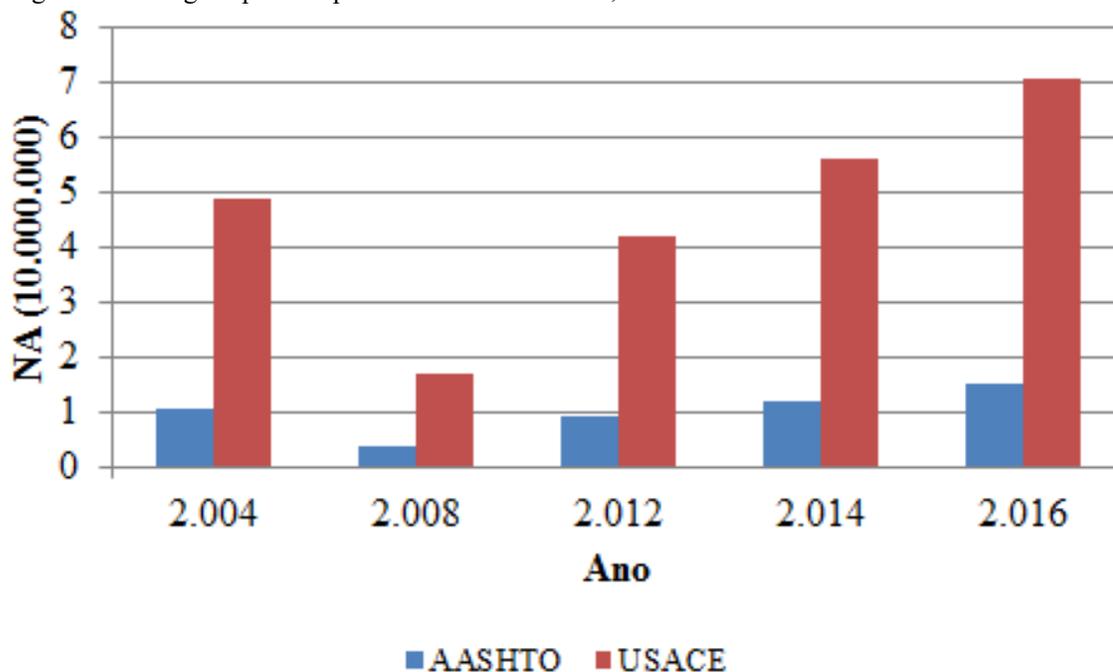
Figura 4 - Tráfego suportado pela rodovia BR-163/MS, trecho: km 388 - 403



Fonte: Autor

A BR-163/MS, no trecho do km 388 ao km 403, teve concluída a restauração no mês de agosto de 2007, o que explica o tráfego acumulado atuante na mesma no ano de 2008. Nos anos de 2009 e 2013 a rodovia sofreu intervenções no pavimento com obras de conservação preventiva com a aplicação de camadas de micro revestimento asfáltico.

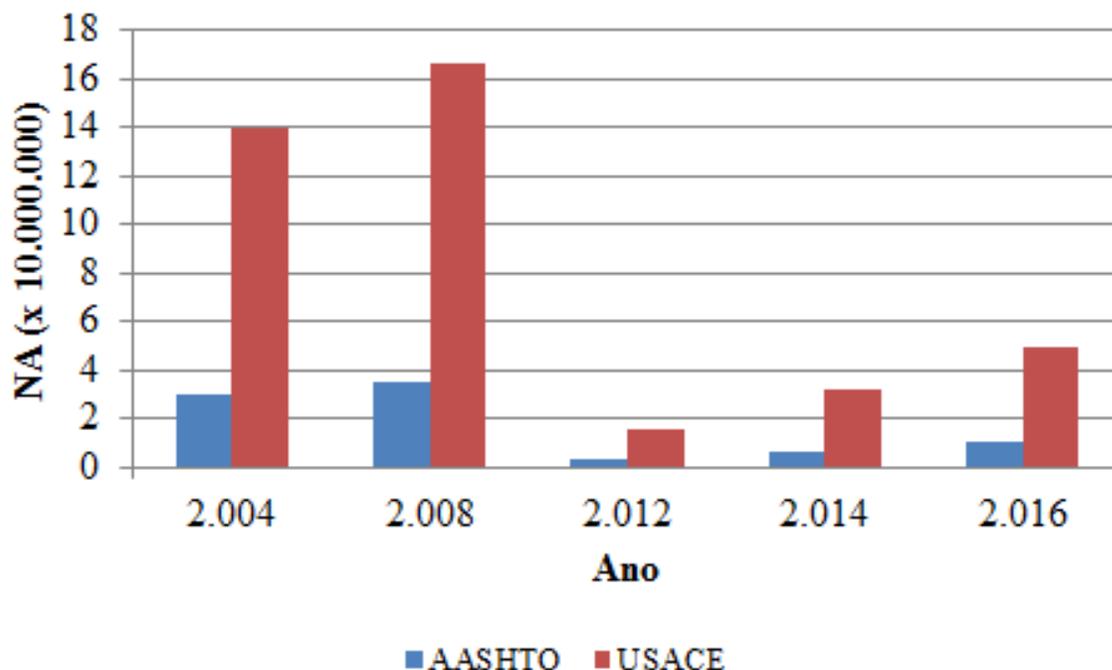
Figura 5 - Tráfego suportado pela rodovia BR-262/MS, trecho: km 239 - 254



Fonte: Autor

A restauração na BR-262/MS foi concluída no mês de outubro de 2006, no trecho do km 239 ao km 254. Nos anos de 2009 e 2013 a rodovia foi objeto de obras de conservação preventiva, com aplicações de camadas de micro revestimento asfáltico.

Figura 6 - Tráfego suportado pela rodovia BR-267/MS, trecho: km 40 - 55



Fonte: Autor

A restauração na rodovia BR-267/MS foi concluída no mês de julho de 2011, no trecho do km 40 ao km 55. No ano de 2013 a rodovia foi objeto de obras de conservação preventiva com aplicação de camada de micro revestimento asfáltico.

Para cada um dos trechos pesquisados foi determinado o volume médio diário de tráfego, a partir dos dados de tráfego disponibilizados pelo PNCT, ano 2015. A partir deste TMD foi feita a regressão do tráfego para cada um dos anos objeto da pesquisa.

Na Tabela 18 é mostrado o tráfego médio diário comercial atuante nas rodovias pesquisadas.

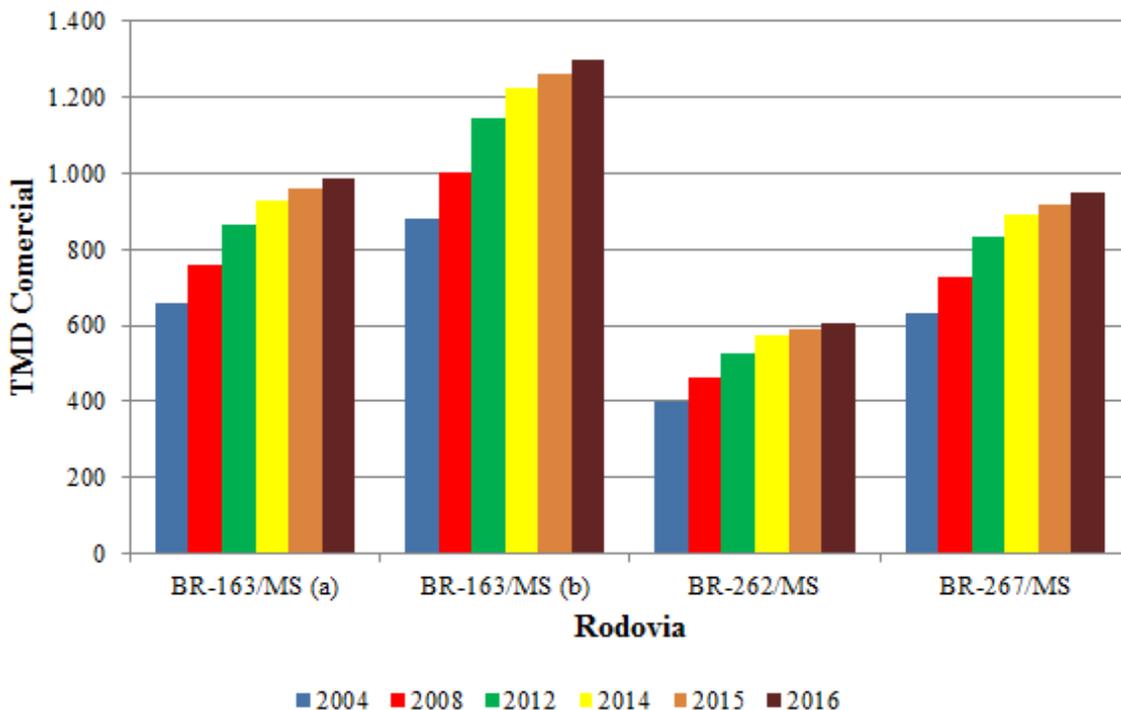
Tabela 18 - Tráfego Médio Diário Comercial (TMDC) atuante nas rodovias no ano de 2004, 2008, 2012, 2014, 2015 e 2016, em cada sentido de tráfego

Rodovia	Segmento	2004	2008	2012	2014	2015	2016
BR-163/MS (a)	163BMS036050000C1C	657	757	867	927	958	986
BR-163/MS (b)	163BMS037050000C1B	878	1.004	1.146	1.223	1.263	1.300
BR-262/MS	262BMS132550300B1B	399	463	529	574	588	605
BR-267/MS	267BMS089050300C1B	631	728	832	890	920	947

Fonte: Autor

A Figura 7 mostra a evolução do tráfego médio diário comercial observado em cada um dos trechos pesquisados. Foi utilizado o fator de crescimento de tráfego indicado na Tabela 10, para o cálculo do TMDC para cada um dos anos indicados, a partir dos dados de 2015 do PNCT.

Figura 7 - Evolução do Tráfego Médio Diário Comercial (TMDC) atuante nas rodovias pesquisadas no ano de 2004, 2008, 2012, 2014, 2015 e 2016



Fonte: Autor

#### 7.4.7 Número Estrutural Corrigido (SNC)

No que diz respeito ao SNC são efetuadas as seguintes ponderações:

- O coeficiente estrutural adotado para o revestimento asfáltico (CAUQ ou CBUQ) foi:  $a_i = 0,166$  (conforme as Tabelas A.2.1 a A.2.3 do Apêndice A);
- O valor adotado para o Módulo de Resiliência do revestimento em CAUQ ou CBUQ foi de  $MR = 2.942$  MPa, valor recomendado pela norma DNER-PRO 159/85 (BRASIL, 1985);
- Os valores de SNC calculados para cada trecho da pesquisa, junto com seus coeficientes estruturais estão apresentados nas Tabelas A.2.1 a A.2.3 do Apêndice A;
- Os trechos pesquisados, que são com revestimento em CAUQ ou CBUQ, apresentam valores de SNC variando entre 4,16 a 6,37, antes das restaurações. Após as restaurações os valores de SNC apresentam variação entre 4,17 a 6,78 nos trechos estudados, conforme mostram dos dados das Tabelas A.2.1 a A.2.3 do Apêndice A e resumo constante da Tabela 19;
- A Tabela 19 apresenta a distribuição dos valores do SNC para cada rodovia pesquisada. A Figura 8 mostra a distribuição do SNC para cada trecho.

As espessuras médias das camadas do pavimento foram determinadas com base nos projetos executivos de engenharia, especialmente, contratados pelo DNER e/ou DNIT para a execução das obras e/ou serviços de restauração dos trechos das rodovias pesquisadas.

Tabela 19 - Valores do SNC nas rodovias pesquisadas nos anos de 2004, 2008 e 2012

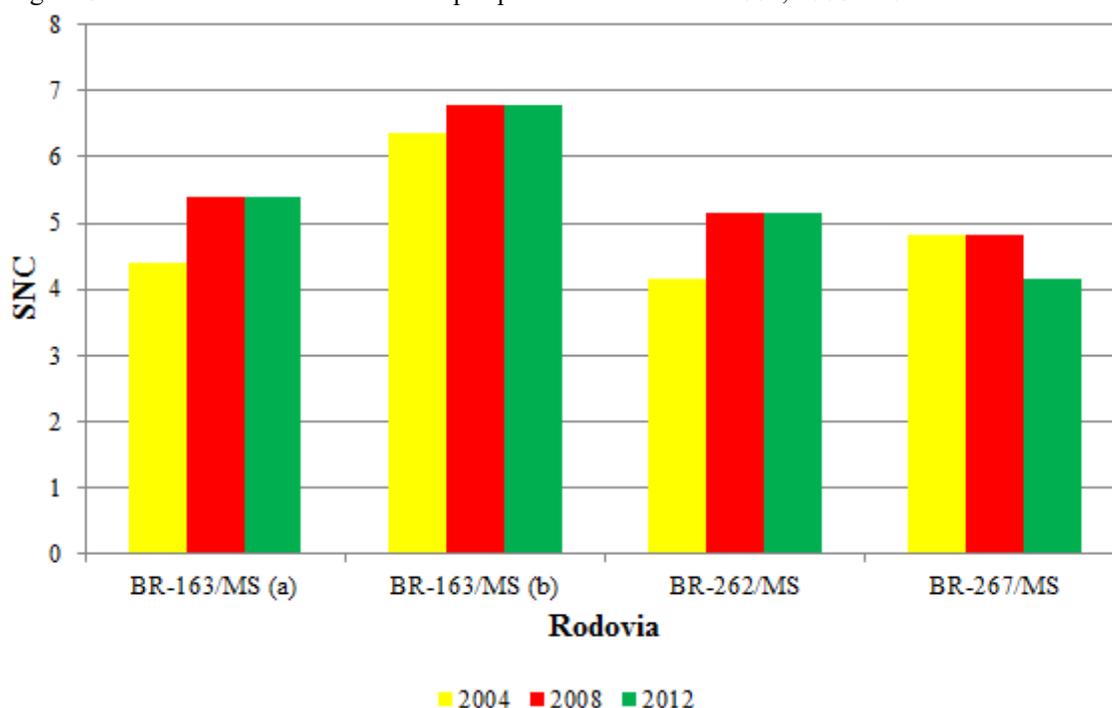
Rodovia	Data da Construção	Data da Restauração	2004	2008	2012
BR-163/MS (a)	1969	2008	4,39	5,38	5,38
BR-163/MS (b)	1968	2007	6,37	6,78	6,78
BR-262/MS	1987	2006	4,16	5,15	5,15
BR-267/MS	1967	2011	4,82	4,82	4,17

Observação:

A data da restauração refere-se ao ano de conclusão das obras.

Fonte: Autor

Figura 8 - Valores do SNC nas rodovias pesquisadas nos anos de 2004, 2008 e 2012



Fonte: Autor

## 7.5 COMPARATIVO ENTRE AS PESQUISAS

Os levantamentos de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016 não foram realizados em todos os trechos pesquisados. À exceção fica por conta do levantamento efetuado no ano de 2004 para o FWD, e nos anos de 2012 e 2014, para o IRI e IGG, em que todos os trechos foram objeto de levantamentos dos defeitos existentes no pavimento.

Na tabela seguinte observa-se que as rodovias BR-163/MS, entre o km 388 ao km 403, e a BR-262/MS, entre o km 239 ao km 254, foram objeto de aplicação de micro revestimento sobre o pavimento no ano de 2009. Sendo que no ano de 2013 todos os quatro trechos pesquisados foram objeto de aplicação de micro revestimento asfáltico.

A Tabela 20 apresenta um resumo dos valores obtidos nos levantamentos e o tráfego suportado pelos trechos pesquisados.

Tabela 20 - Resumo dos levantamentos realizados

Data do Levantamento				2004			
Rodovia	Construção	Restauração	Conservação	NA	DEFM	QI	IGG
BR-163/MS (a)	1969	1984	-	2,65E+07	65,72	51,10	
BR-163/MS (b)	1968	-	-	4,41E+07	42,65		
BR-262/MS	1987	1994	-	1,06E+07	57,03		
BR-267/MS	1967	-	-	2,99E+07	40,92		
Data do Levantamento				2008			
BR-262/MS	1987	2006	-	3,66E+06	24,84	38,24	64,79
Data do Levantamento				2012			
BR-163/MS (a)	1969	2008	-	1,01E+07	76,87	65,21	
BR-163/MS (b)	1968	2007	2009	1,39E+07	45,77	47,71	
BR-262/MS	1987	2006	2009	9,09E+06		26,50	
BR-267/MS	1967	2011	-	3,22E+06	43,98	37,90	
Data do Levantamento				2014			
BR-163/MS (a)	1969	2008	2013	1,46E+07	82,20	52,16	37,13
BR-163/MS (b)	1968	2007	2013	1,91E+07	49,37	55,19	66,45
BR-262/MS	1987	2006	2013	1,21E+07	42,67	29,34	130,04
BR-267/MS	1967	2011	2013	6,63E+06		33,75	99,45
Data do Levantamento				2016			
BR-163/MS (a)	1969	2008	-	1,94E+07		33,80	
BR-163/MS (b)	1968	2007	-	2,47E+07		46,09	

Fonte: Autor

As Figuras 9 a 12 mostram a evolução da deflexão, QI e IGG obtidos para os quatro trechos objeto da presente pesquisa.

Figura 9 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-163/MS, trecho do km 344 ao km 359

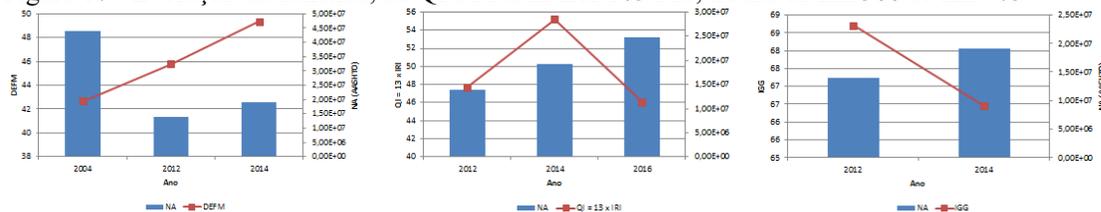


Fonte: Autor

A Figura 9 mostra o crescimento da deflexão entre os anos de 2004 a 2014. O IRI apresenta um crescimento entre 2004 e 2012 seguido de uma diminuição no período entre 2012 e 2016, na rodovia BR-163/MS, no trecho do km 344 ao km 359. Entre os anos de 2012 e 2014 houve uma redução significativa do IGG.

A rodovia sofreu uma intervenção de aplicação de micro revestimento no ano de 2013, o que pode explicar a redução do QI e do IGG.

Figura 10 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-163/MS, trecho do km 388 ao km 403



Fonte: Autor

Na Figura 10 observa um crescimento contínuo da deflexão entre os anos de 2004 e 2014 na rodovia BR-163/MS, no trecho entre o km 388 ao km 403. O QI cresceu entre 2012 e 2014, e após este ano até 2016 decresceu a níveis inferiores a 2012. Também o IGG observou queda entre os anos de 2012 e 2014.

A rodovia no segmento de estudo sofreu intervenções no pavimento com a aplicação de camada de micro revestimento asfáltico nos anos de 2009 e 2013.

Figura 11 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-262/MS, trecho do km 239 ao km 254

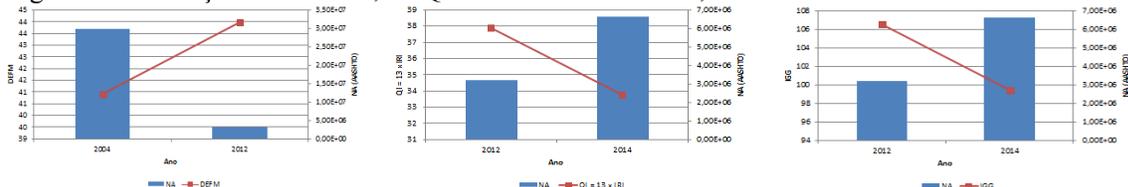


Fonte: Autor

Na Figura 11 é mostrada a diminuição da deflexão no período entre 2004 e 2008 na rodovia BR-262/MS, no trecho do km 239 ao km 254. Sendo que no período seguinte, entre 2008 e 2014, verifica-se uma elevação da deflexão. Quanto ao QI, verifica-se uma diminuição no período entre 2012 e 2014 e uma pequena elevação de 2014 a 2016. O mesmo ocorre quanto ao IGG no período entre 2012 e 2014, quando há uma elevação do mesmo.

A rodovia no segmento de estudo sofreu intervenções no pavimento com a aplicação de camada de micro revestimento asfáltico nos anos de 2009 e 2013.

Figura 12 - Evolução da deflexão, do QI e IGG na BR-267/MS, trecho do km 40 ao km 55



Fonte: Autor

Na rodovia BR-267/MS, no trecho do km 40 ao km 55, verifica-se pela Figura 12 uma elevação do valor da deflexão medida no período entre 2004 e 2012. No período entre 2012 e 2014, tanto o QI quanto o IGG, apresentam diminuição significativa. Este trecho da BR-267/MS foi objeto de restauração concluída em 2011.

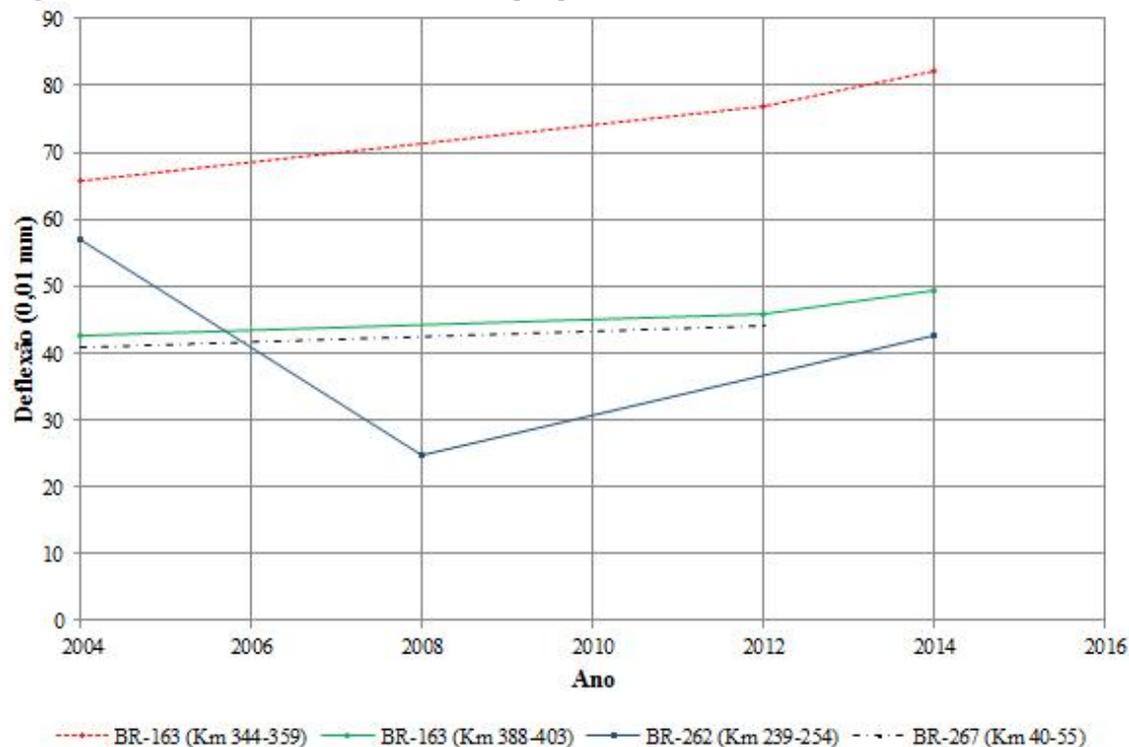
A rodovia no segmento da pesquisa sofreu intervenção no pavimento com a aplicação de camada de micro revestimento asfáltico no ano de 2013.

As Figuras 9 e 12 mostram o decréscimo, tanto do QI, quanto do IGG, no período entre 2012 e 2014, nas rodovias BR-163/MS no trecho do km 344 ao km 359, e na BR-267/MS no trecho do km 40 ao km 55. Entretanto as Figuras 10 e 11, respectivamente, mostram o crescimento do IGG e o decréscimo do QI, no mesmo período, na rodovia BR-262/MS no

trecho do km 239 ao km 254, e o crescimento do QI e o decréscimo do IGG na BR-163/MS no trecho do km 388 ao km 403.

A Figura 13 mostra a evolução das deflexões verificadas em cada um dos trechos objeto da pesquisa. Observa-se que em todas as rodovias pesquisadas houve um acréscimo da deflexão medida, exceto a rodovia BR-262/MS, no trecho do km 239 ao km 254, no período entre 2004 e 2008, que pode ser justificado pela restauração de 2006 (Tabela 20).

Figura 13 - Deflexões verificadas nos trechos pesquisados

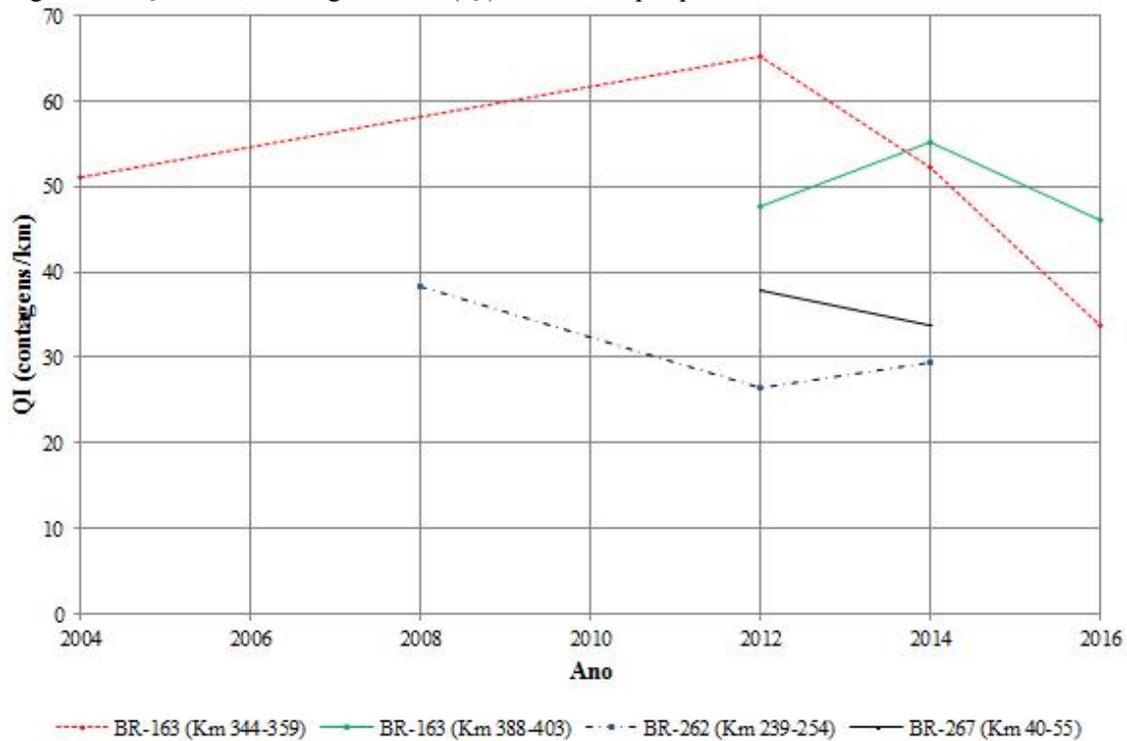


Fonte: Autor

A Figura 14 mostra a diminuição do QI em quase todos os trechos pesquisados das rodovias BR-163/262/267/MS. A exceção fica por conta da rodovia BR-262/MS, no trecho do km 239 ao km 254, e da BR-163/MS, no trecho do km 388 ao km 403, no período de 2012 a 2014, quando constata-se uma elevação do valor medido do QI.

As Figuras 15 a 18 apresentam a evolução da deflexão e do QI medidos versus o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, determinado de acordo com a metodologia da AASHTO, para os quatro trechos objeto de análise.

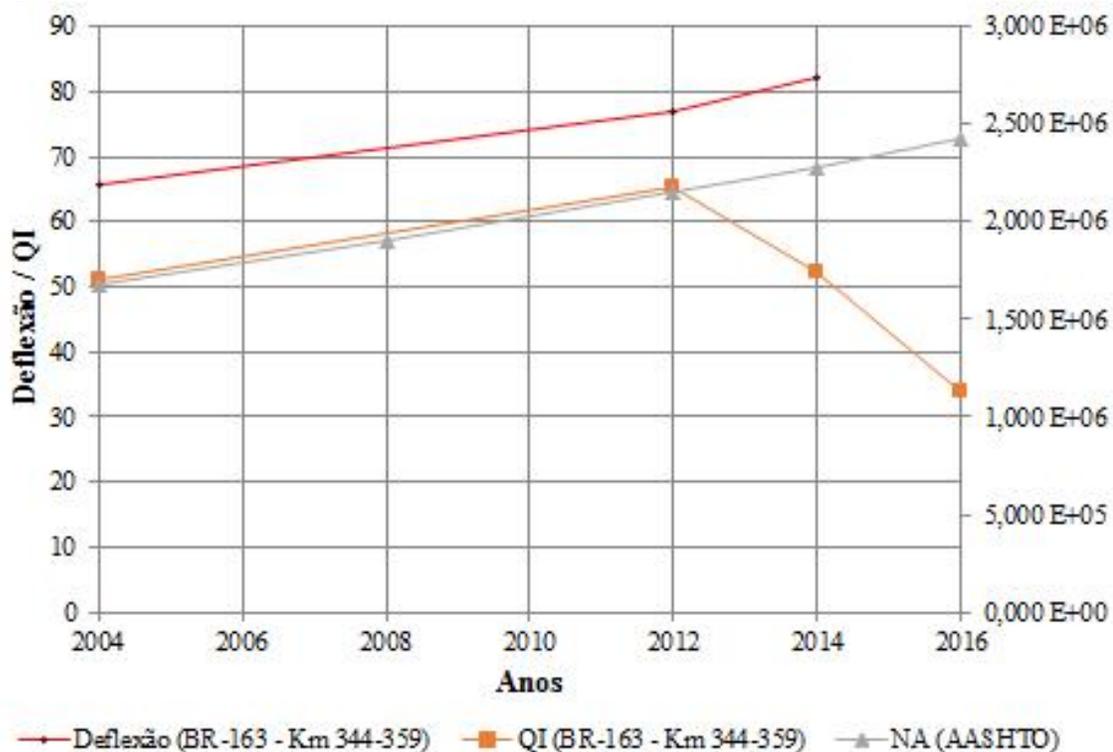
Figura 14 - Quociente de Irregularidade (QI) nos trechos pesquisados



Fonte: Autor

A Figura 15 apresenta a evolução da deflexão máxima média e do QI versus o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf para a rodovia BR-163/MS, no trecho do km 344 ao km 359. Enquanto, a deflexão aumentou no período, o QI diminuiu no período analisado. Isto pode significar que as intervenções de conservação rotineira e preventiva de 2013 melhoraram a irregularidade, mas não estão sendo eficazes para a recuperação estrutural, necessitando para isto uma intervenção de reforço estrutural.

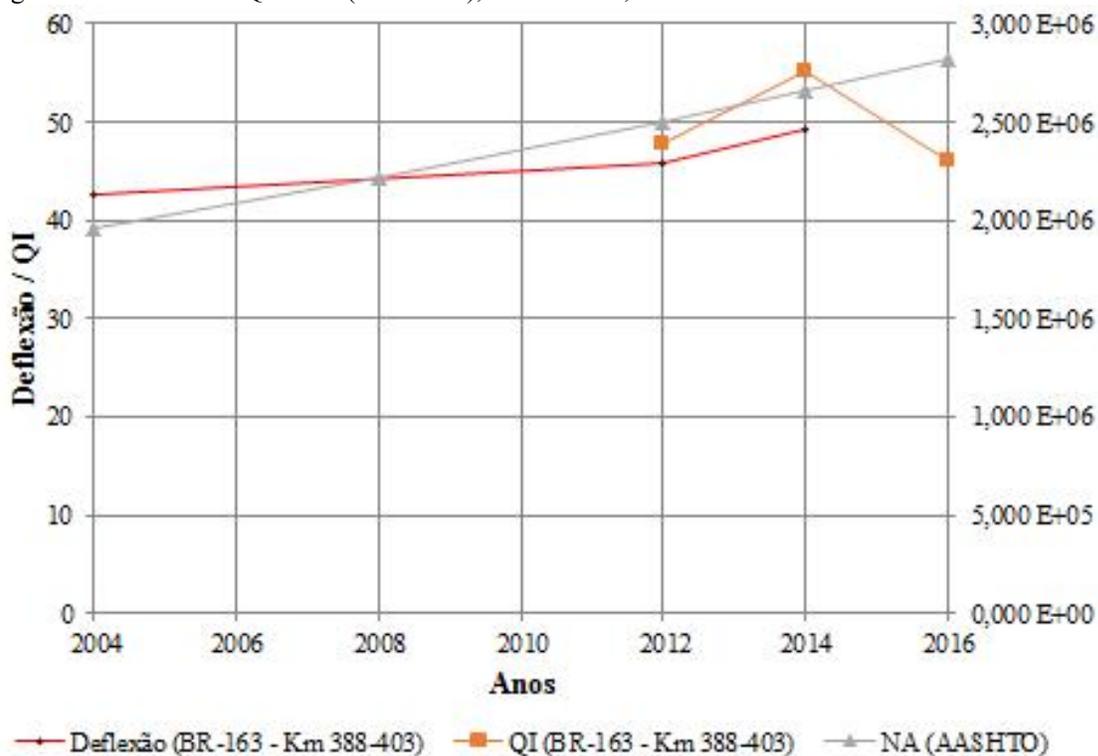
Figura 15 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-163/MS, km 344 ao km 359



Fonte: Autor

Na Figura 16 é apresentada a evolução da deflexão máxima média e do QI versus o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf para a rodovia BR-163/MS, no trecho do km 388 ao km 403. Observa-se o aumento de ambos, à exceção no período de 2012 a 2016 para o QI. A base da rodovia BR-163/MS, no trecho pesquisado entre o km 388 ao km 403, é em seixo rolado, tendo sido construída no final da década de 1960.

Figura 16 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-163/MS, km 388 ao km 403

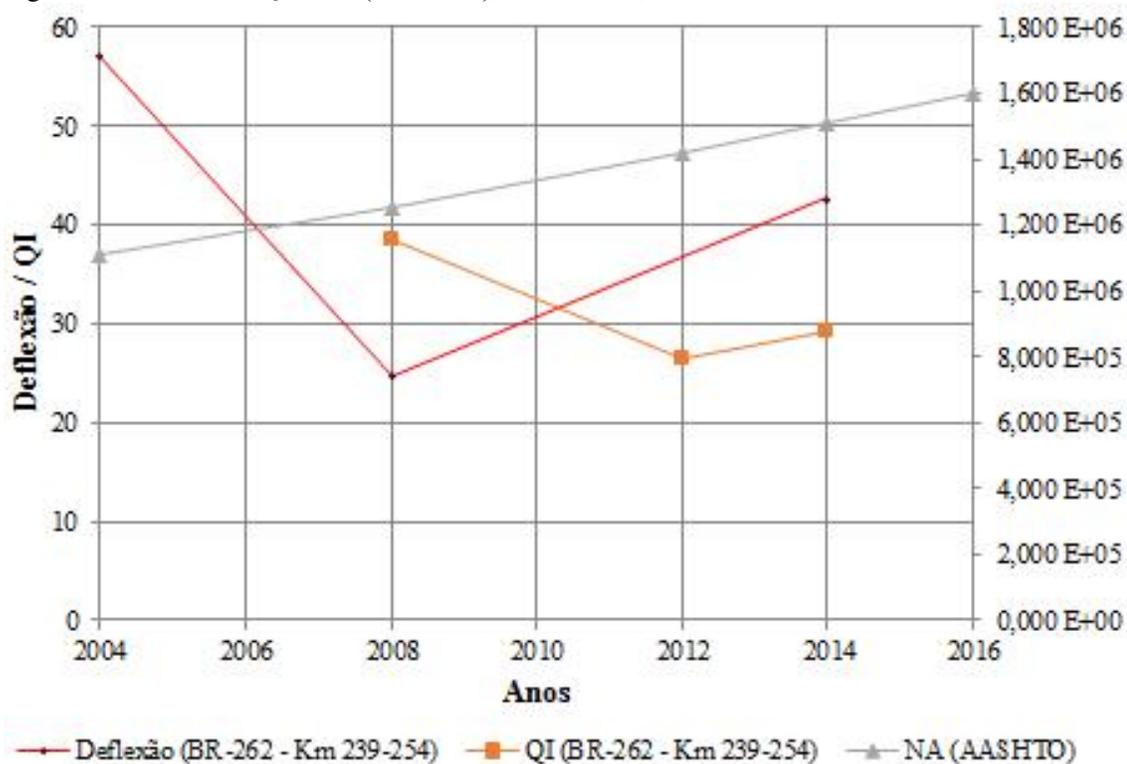


Fonte: Autor

A Figura 17 apresenta a deflexão máxima média e o QI versus o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf para a rodovia BR-262/MS, no trecho do km 239 ao km 254. A deflexão, no período entre 2004 e 2008, e o QI, no período entre 2008 a 2012, sofrem decréscimo que podem ser explicados pelo fato que o trecho foi restaurado em 2006 e houve uma intervenção de conservação em 2009. No período subsequente, verifica-se um aumento substancial para a deflexão e, em menor escala, para o QI, isto pode significar que as intervenções de conservação preventiva não estão surtindo o efeito desejado, indicando a necessidade de reforço estrutural.

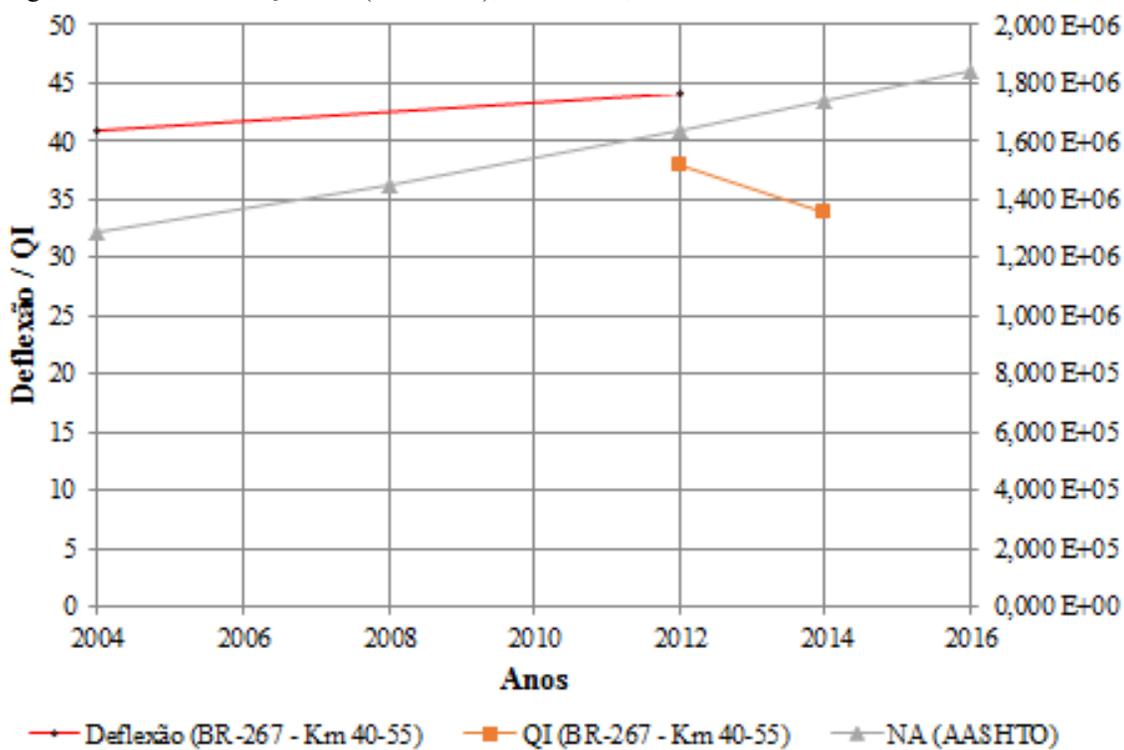
A Figura 18 mostra a deflexão máxima média e o QI versus o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf para a rodovia BR-267/MS, no trecho entre o km 40 ao km 55. Observa-se um acréscimo da deflexão entre os anos de 2004 e 2012 e um decréscimo do quociente de irregularidade (QI) no período entre 2012 e 2014.

Figura 17 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-262/MS, km 239 ao km 254



Fonte: Autor

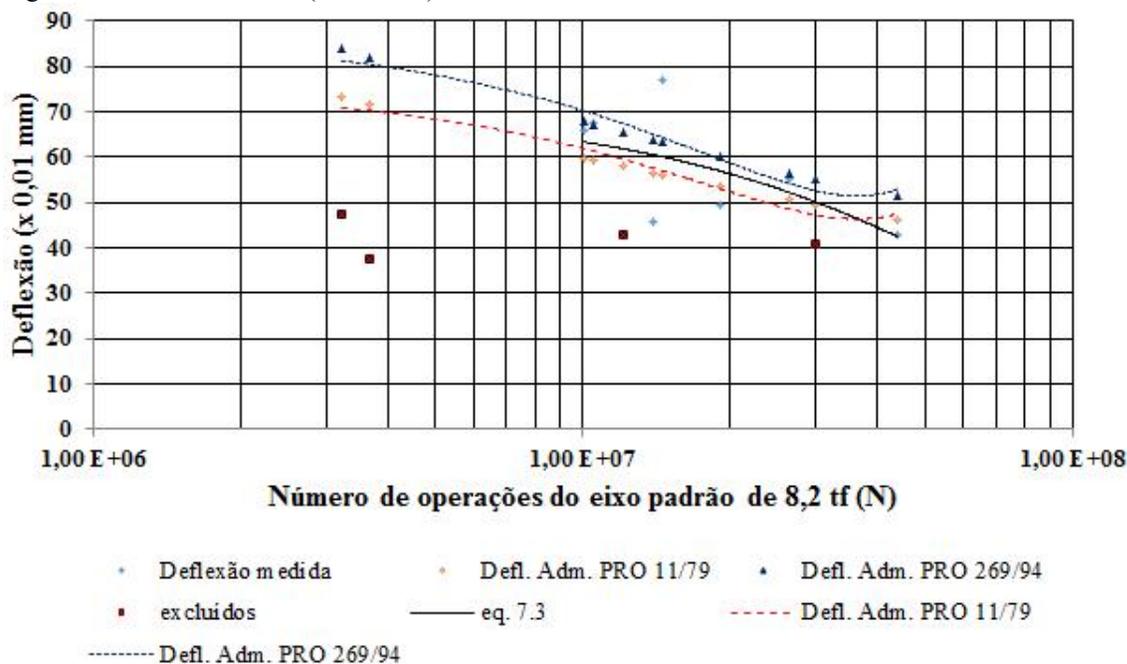
Figura 18 - Deflexão e QI x NA (AASHTO), BR-26/MS, km 40 ao km 55



Fonte: Autor

A Figura 19 apresenta as deflexões máximas médias medidas, nos quatro trechos objeto da pesquisa, correlacionadas com o número equivalente de eixos padrão de 8,2 tf atuantes no pavimento, calculados de acordo com a metodologia da AASHTO. Observa-se que curva obtida segue a tendência das curvas determinadas pelas Normas de Procedimento do DNER, em especial, a DNER-PRO 11/79 (BRASIL, 1979) e a DNER-PRO 269/94 (BRASIL, 1994e), até o número equivalente de eixo padrão de 8,2 tf igual a  $3,0 \times 10^7$ . Acima deste valor há uma inversão da tendência das curvas, conforme é visualizado na figura citada, enquanto a curva obtida dos dados levantados segue tendência oposta à obtida pelos ensaios normalizados pelos Procedimentos do DNER.

Figura 19 - Deflexão x NA (AASHTO)



Fonte: Autor

Observa-se a exclusão de quatro valores que encontravam-se totalmente abaixo da linha de tendência seguida pelos demais.

A equação que apresentou o coeficiente de determinação mais elevado para a linha de tendência foi do tipo exponencial, com o uso dos dados coletados, exceto os excluídos. A equação determinada é a mostrada a seguir.

$$Defl = 71,313e^{(-1,0 \times 10^{-8} \times NA)} \quad (7.3)$$

$$R^2 = 0,4207$$

onde,

Defl - deflexão, em centésimos de mm;

e - número de Euler (2,718281828);

NA - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf (AASHTO, 1993).

Considerando a equação 6.7, apresentada no Capítulo 6, pode-se estimar a vida útil restante dos pavimentos pesquisados, considerando como deflexão admissível a deflexão determinada pelo FWD no ano de 2014 convertida para deflexão viga Benkelman, exceto para a rodovia BR-267/MS que foi considerada a deflexão do ano de 2012.

A tabela 21 apresenta a vida útil restante dos pavimentos, se fora atingida ou não, para cada um dos trechos pesquisados.

Tabela 21 - Vida útil restante da rodovia

Rodovia	Defl. Adm. (2014)	N (AASHTO) (2014)	Defl. Adm. (eq. 6.7)	Vida útil restante
BR-163/MS (a)	88,49	1,461 E+07	56,10	atingida
BR-163/MS (b)	68,42	1,914 E+07	53,50	atingida
BR-262/MS	62,69	1,206 E+07	58,03	atingida
BR-267/MS (*)	63,88	6,635 E+06	64,47	não atingida

Legenda:

\* Deflexão admissível considerada para o ano de 2012, por inexistência de dados de 2014.

Deflexão admissível FWD convertida para deflexão viga Benkelman (x 0,01 mm)

Fonte: Autor

A vida útil da BR-267/MS ainda não foi atingida, com os dados de deflexão utilizados, no caso dados de 2012, mas está no limite de atingimento.

As Figuras 20 a 23 mostram o esquema linear de defeitos para os quatro trechos objeto de análise.

Na Figura 20 são mostrados os defeitos pesquisados na rodovia BR-163/MS, no trecho do km 344 ao km 359. As deflexões foram levantadas em 2004, 2012 e 2014. Observa-se que as mesmas tiveram um máximo de 71,40 e um mínimo de 17,80 no ano de 2004; em 2012, o máximo foi de 73,80 e o mínimo 15,50; e, em 2014, o máximo alcançou 112,65 e o mínimo 10,34. O IRI foi pesquisado em 2004, 2012, 2014 e 2016. Nota-se que em 2004, o IRI máximo atingiu a cifra de 5,10 contra o mínimo de 3,67; em 2012, o máximo de 5,13 e o mínimo de 1,18; em 2014, o máximo de 4,47 e o mínimo de 1,48; no ano de 2016 o máximo chegou a 2,67 contra o mínimo de 1,23. O IGG foi pesquisado em 2012 e 2014. No ano de 2012, o máximo foi de 150,0 contra o mínimo de 0,0; no ano de 2014, o máximo atingiu 62,59, contra o mínimo de 1,26.

Na Figura 21 são apresentados os defeitos pesquisados na rodovia BR-163/MS, no trecho do km 388 ao km 403. As deflexões foram levantadas em 2004, 2012 e 2014. Observa-se que as mesmas tiveram um máximo de 51,60 e um mínimo de 5,30 no ano de 2004; em 2012, o máximo foi de 56,60 e o mínimo 9,40; no ano de 2014, o máximo alcançou 54,03 e o mínimo 12,50. O IRI foi pesquisado nos anos de 2012, 2014 e 2016. Nota-se que em 2012, o IRI máximo atingiu a cifra de 5,01 contra o mínimo de 1,25; em 2014, o máximo de 6,76 e o mínimo de 1,45; no ano de 2016 o máximo chegou a 3,73 contra o mínimo de 1,48. O IGG foi pesquisado em 2012 e 2014. No ano de 2012, o máximo foi de 120,0 contra o mínimo de 0,0; no ano de 2014, o máximo atingiu 69,29, contra o mínimo de 4,26.

Na Figura 22 são apresentados os defeitos pesquisados na rodovia BR-262/MS, no trecho do km 239 ao km 254. As deflexões foram levantadas em 2004, 2008 e 2014. Observa-se que as mesmas tiveram um máximo de 70,60 e um mínimo de 8,30 no ano de 2004; em 2008, o máximo foi de 85,18 e o mínimo 0,00; em 2014, o máximo alcançou 57,80 e o mínimo 6,00. O IRI foi pesquisado nos anos de 2008, 2012 e 2014. Nota-se que em 2008 o IRI máximo atingiu a cifra de 2,80 contra o mínimo de 2,20; em 2012, o máximo de 3,24 e o mínimo de 1,15; no ano de 2014 o máximo chegou a 3,45 contra o mínimo de 1,48. O IGG foi pesquisado em 2012 e 2014. No ano de 2012, o máximo foi de 190,0 contra o mínimo de 0,0; em 2014, o máximo atingiu 3,45, contra o mínimo de 1,03.

Na Figura 23 são apresentados os defeitos pesquisados na rodovia BR-267/MS, no trecho do km 40 ao km 55. As deflexões foram levantadas em 2004 e 2012. Observa-se que as mesmas tiveram um máximo de 49,20 e um mínimo de 8,30 no ano de 2004; em 2012, o máximo foi de 51,90 e o mínimo 8,40. O IRI foi pesquisado nos anos de 2012 e 2014. Nota-se

que em 2012 o IRI máximo atingiu a cifra de 4,02 contra o mínimo de 0,99; no ano de 2014 o máximo chegou a 3,45 contra o mínimo de 0,88. O IGG foi pesquisado em 2012 e 2014. No ano de 2012, o máximo foi de 210,0 contra o mínimo de 0,0; em 2014, o máximo atingiu 215,21, contra o mínimo de 0,00.

Observações sobre as Figuras 20 a 23:

1 - Os valores de IGG igual a zero não foram excluídos dos gráficos da pesquisa, por dificuldade de operacionalizar a exclusão destes dados espúrios que foram detectados, quando da elaboração dos gráficos, mas não os consideramos válidos, por serem impossíveis de serem coletados em pesquisa de campo.

2 - O valor de deflexão igual a 0,00 (zero) obtido no ano de 2008 é muito difícil de ser detectado, o que sugere ter sido objeto de erro durante os levantamentos.

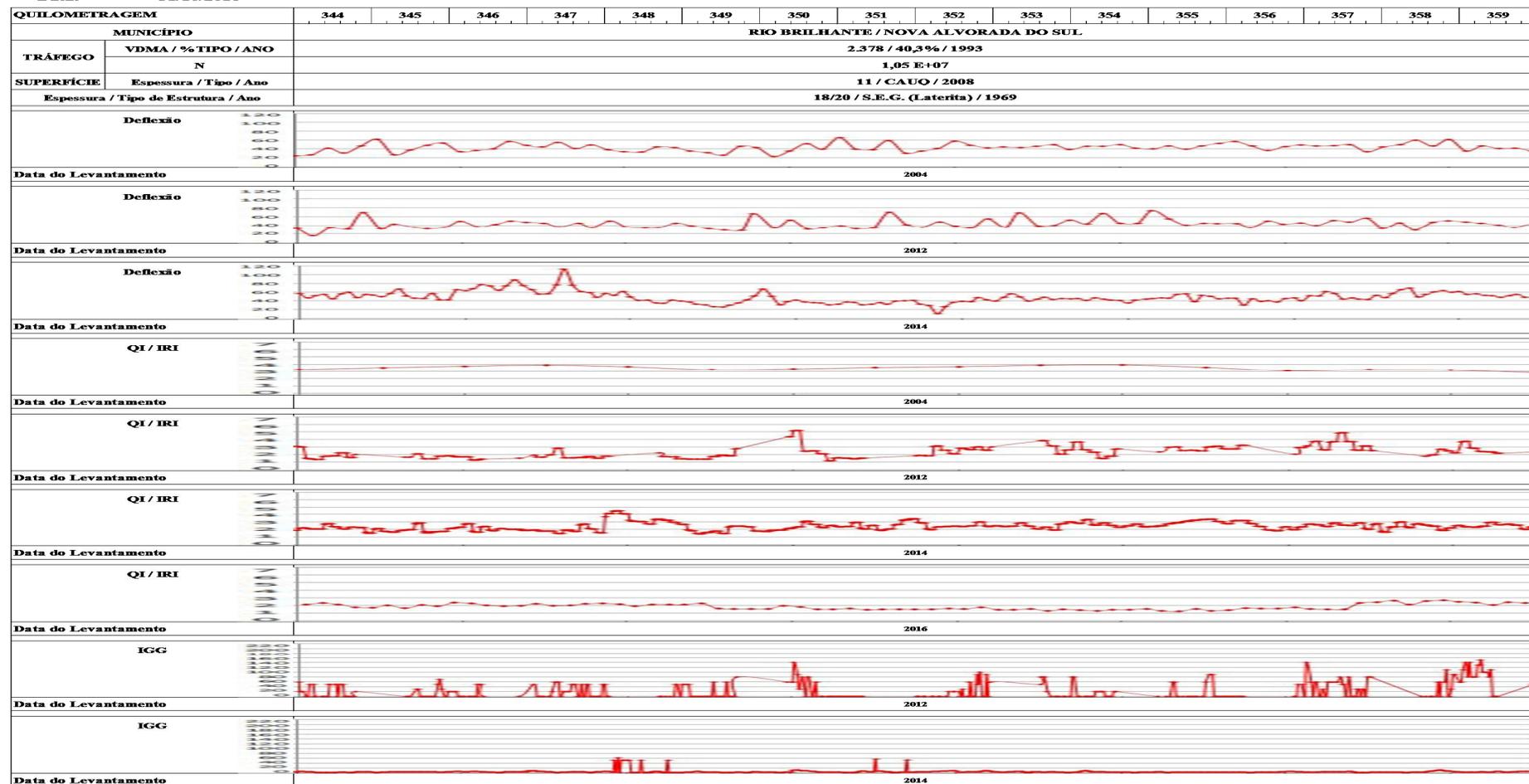
3 - A existência dos valores de IGG igual a zero, acima citados, demonstra que houve algum tipo de erro, por ocasião do levantamento de campo, que interferiu na determinação dos mesmos em campo.

Figura 20 - Esquema Linear de Defeitos, BR-163/MS, km 344 ao km 359

## RODOVIA BR-163/MS

### ESQUEMA LINEAR DE DEFETOS

Data: 31/10/2016



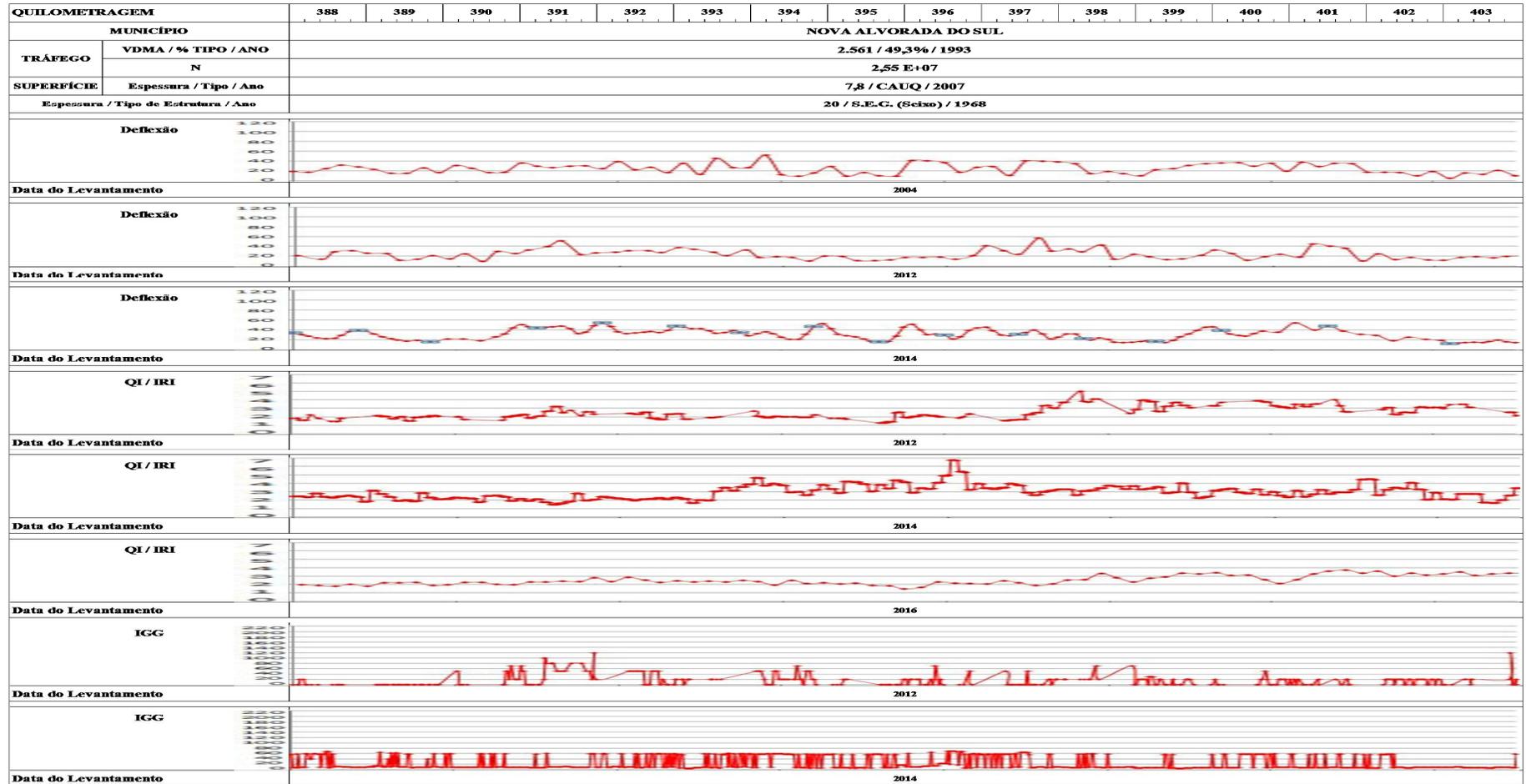
Fonte: Autor

Figura 21 - Esquema Linear de Defeitos, BR-163/MS, km 388 ao km 403

## RODOVIA BR-163/MS

### ESQUEMA LINEAR DE DEFEITOS

Data: 31/10/2016



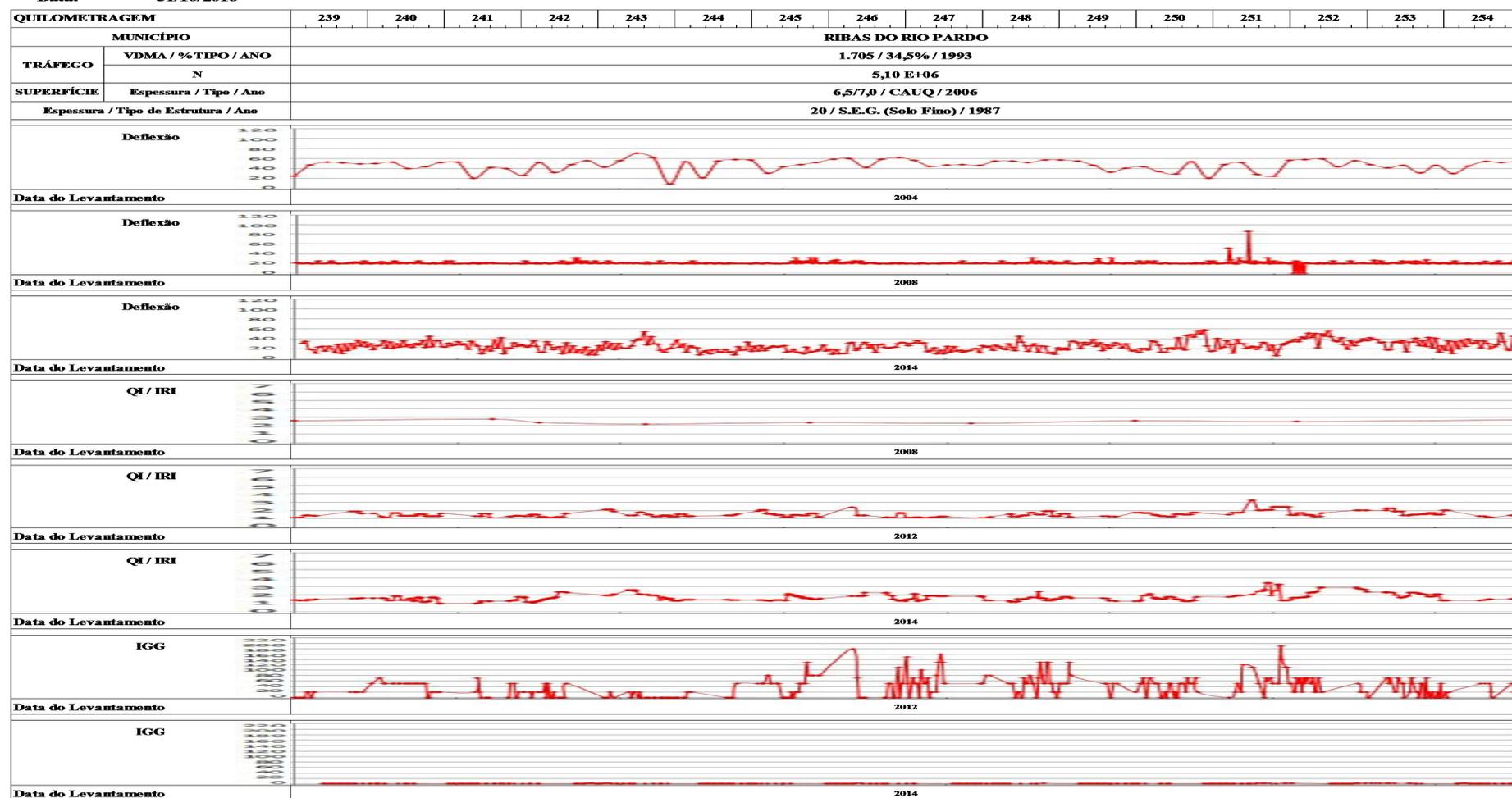
Fonte: Autor

Figura 22 - Esquema Linear de Defeitos, BR-262/MS, km 239 ao km 254

## RODOVIA BR-262/MS

### ESQUEMA LINEAR DE DEFEITOS

Data: 31/10/2016



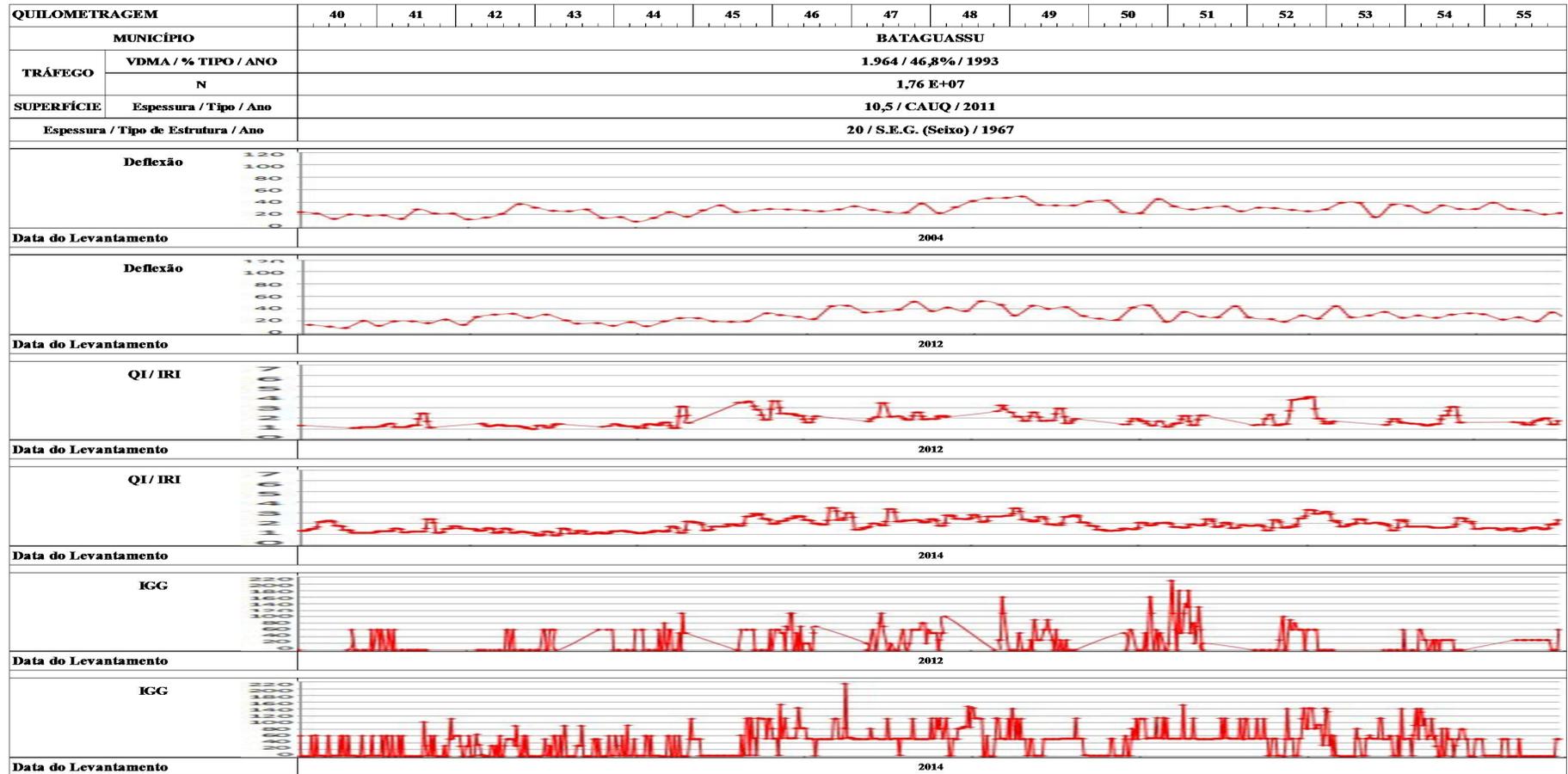
Fonte: Autor

Figura 23 - Esquema Linear de Defeitos, BR-267/MS, km 40 ao km 55

## RODOVIA BR-267/MS

### ESQUEMA LINEAR DE DEFEITOS

Data: 31/10/2016



Fonte: Autor

## 8 ANÁLISE DE DADOS

A análise do comportamento dos pavimentos foi efetuada tomando como base os procedimentos mencionados nos trabalhos de Nuñez e Shahin (1986) e Shahin *et al.* (1987) citados por Basílio (2002), para a realização deste trabalho monográfico.

A partir dos dados dos levantamentos realizados nas rodovias federais de Mato Grosso do Sul, nos anos de 2004, 2008, 2012, 2014 e 2016, foi realizado este trabalho de pesquisa com o objetivo de verificar a linha de tendência do desenvolvimento de defeitos e das condições do pavimento viário, com fins de utilização no sistema de gerência de pavimentos, de acordo com a metodologia proposta pelos autores acima mencionados.

### 8.1 ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DE DESEMPENHO E COMPARAÇÕES COM MODELOS EXISTENTES

Através de gráficos construídos, segundo a metodologia apresentada no capítulo 5, será feita a análise das linhas de tendências de desempenho e comparações com modelos existentes.

Os gráficos foram elaborados relacionando o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado segundo a metodologia da AASHTO (AASHTO, 1993), às variáveis deflexões máximas médias e irregularidade longitudinal.

Para os parâmetros deflexão máxima média e irregularidade longitudinal existem equações de desempenho que foram elaboradas em outros estudos. Em tais situações, foi confeccionada a curva de desempenho a partir dos resultados obtidos com a utilização de mencionadas equações. Com isto, foi possível a comparação com a linha de tendência observada pelos dados coletados na presente pesquisa.

A equação gerada com a utilização dos dados disponíveis na pesquisa foi impressa no gráfico sendo a mesma nominada sequencialmente com relação ao número do capítulo na qual a mesma se encontra.

Também foi indicada para cada par de variáveis a equação que apresentava o melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

As análises e as comparações realizadas com cada variável estão apresentadas adiante.

#### 8.1.1 Deflexão Máxima Média

Os dados utilizados nesta análise são apresentados nas Tabelas A.4.1 a A.4.5 e constantes da Tabela 22.

A tendência constatada em todos os dados foi comparada aos resultados obtidos com o uso de equações de previsão propostas por Basílio (2002) e Marcon (1996), e ainda com base nos dados obtidos a partir dos trechos que sofreram pelo menos dois levantamentos. Para a elaboração do gráfico a seguir foram utilizados os dados das deflexões obtidas a partir de equipamento FWD. No caso de levantamentos de deflexões a partir da viga Benkelman, foi efetuada a conversão para FWD, consoante preconiza a equação 5.4.

Em trabalho importante de pesquisa, Basílio (2002) encontrou uma equação polinomial que descreve a curva de tendência da evolução da deflexão máxima média, para rodovias do estado de Goiás, mostrada a seguir:

$$DEFM = 7 \times 10^{-13} \times NA^2 + 9 \times 10^{-7} \times NA + 57,602 \quad (5.23)$$

$$R^2 = 0,61$$

onde as variáveis mencionadas estão nomeadas no Capítulo 5.

E a segunda, com base em levantamentos realizados na década de 90, na malha rodoviária de Santa Catarina, Marcon (1996) estabeleceu modelo de previsão de desempenho, através de equação que correlaciona o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO, à variável deflexão máxima média, através da equação:

$$DEFM = 44,928 + 1,0 \times 10^{-5} \times NA \quad (5.22)$$

$$R^2 = 0,50$$

onde as variáveis estão apresentadas no Capítulo 5.

As análises do comportamento dos pavimentos em relação à deflexão máxima média são discriminadas a seguir.

Os dados utilizados nesta análise são apresentados nas Tabelas A.3.1 a A.3.5 e A.4.1 a A.4.5 do Apêndice A. A Tabela 22 apresenta os dados plotados na Figura 24.

A Figura 24 apresenta a relação entre a deflexão máxima e o número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, determinado de acordo com a AASHTO (1993), para os quatro trechos objeto da pesquisa em análise.

Foram excluídas da análise três deflexões características determinadas nos levantamentos que apresentavam valores abaixo da tendência observada pelos demais.

A equação que apresentou o coeficiente de determinação mais elevado para a linha de tendência foi do tipo potencial, com a exclusão dos três valores de deflexões características acima citadas. A equação encontrada é a mostrada a seguir.

$$DEFM = 0,1632 \times NA^{0,3577} \quad (8.1)$$

$$R^2 = 0,4286$$

onde,

DEFM - deflexão máxima média, em centésimos de milímetro;

NA - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf (AASHTO, 1993).

A equação 5.23, encontrada por Basílio (2002), está plotada no gráfico da Figura 24, assim como a equação 5.22, desenvolvida por Marcon (1996). Observa-se que os valores encontrados pela mesma são bem superiores aos valores encontrados na curva determinada nesta pesquisa. Isto, talvez se explica devido ao reduzido número de amostras pesquisadas neste trabalho, além do NA ser muito restrito na presente pesquisa, sendo apenas quatro segmentos com volumes de tráfego, aproximadamente, entre 2.000 a 3.000 veículos/dia, para o ano de 2016.

Tabela 22 - Deflexões x N (AASHTO) nos trechos pesquisados

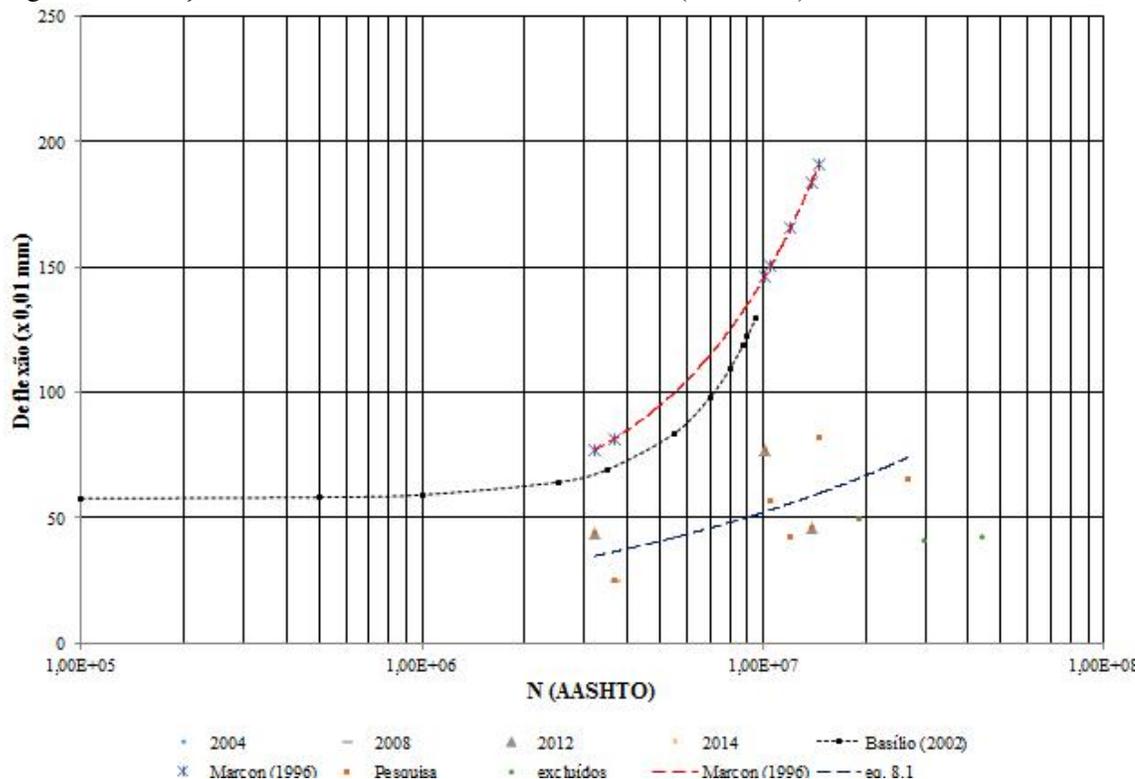
Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)											
Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	N (AASHTO)	2004	N (AASHTO)	2008	N (AASHTO)	2012	N (AASHTO)	2014	N (AASHTO)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	2,65E+07	65,72	1,90E+06		1,01E+07	76,87	1,46E+07	82,20	1,94E+07
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	4,41E+07	42,65	4,36E+06		1,39E+07	45,77	1,91E+07	49,37	2,47E+07
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	1,06E+07	57,03	3,66E+06	24,84	9,09E+06		1,21E+07	42,67	1,52E+07
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	2,99E+07	40,92	3,54E+07		3,22E+06	43,98	6,63E+06		1,03E+07

Legenda:

D<sub>0</sub> (FWD) - Deflexão máxima medida com o emprego do equipamento FWD (0,01 mm)

Fonte: Autor

Figura 24 - Relação entre a Deflexão Máxima e o Número N (AASHTO)



Fonte: Autor

### 8.1.2 Irregularidade Longitudinal

Os dados utilizados nesta análise são apresentados na Tabelas A.5.1 a A.5.5 e constantes da Tabela 23.

A tendência observada com todos os dados foi comparada aos resultados obtidos com o uso de quatro equações de previsão conhecidas e com as obtidas a partir dos trechos submetidos a pelo menos dois levantamentos.

A primeira equação foi estabelecida por Queiroz (1981), determinada por regressão com base nos dados coletados durante a PICR, realizada no Brasil. Esta equação foi escolhida por ter sido elaborada com dados coletados no Brasil e por ser utilizada no método de projeto de restauração DNER-PRO 159/85 (BRASIL, 1985). A equação é a seguinte:

$$QI = 12,63 - 5,16 \times RH + 3,31 \times ST + 0,393 \times IDADE + 8,66 \left( \log \frac{NA}{SNC} \right) + 7,17 \times 10^{-5} \times (D_{VB} \times \log NA)^2 \quad (5.16)$$

$$R^2 = 0,52$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

A segunda equação foi estabelecida por Paterson (1987), através de análise de regressão não-linear dos dados coletados na Pesquisa PICR. Esta equação foi escolhida por ter sido elaborada com dados coletados no Brasil. A equação é a seguinte:

$$RI = (RI_0 + 725 \times (1 + SNC)^{-4,99} \times YE_4) \times e^{0,0153 \times IDADE} \quad (5.18)$$

$$R^2 = 0,75$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

A terceira equação foi estabelecida por Basílio (2002), através de regressão dos dados coletados na malha viária do estado de Goiás, nos anos de 1996, 1998, 2000 e 2001. A equação é a seguinte:

$$QI = 3 \times 10^{-13} \times NA^2 + 2 \times 10^{-6} \times NA + 37,741 \quad (5.24)$$

$$R^2 = 0,61$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

A quarta equação foi determinada por Marcon (1996), através de regressão dos dados coletados na malha viária do estado de Santa Catarina, na década de 90. A equação é a seguinte:

$$QI = 25,783 + 4 \times 10^{-6} \times NA - 5 \times 10^{-14} \times NA^2 \quad (5.20)$$

$$R^2 = 0,32$$

Onde as variáveis foram apresentadas no Capítulo 5.

As tabelas A.5.1 a A.5.5, no Apêndice A, apresentam os resultados obtidos com a aplicação das equações 5.16, 5.18, 5.20 e 5.24. A Tabela 23 apresenta o resumo dos dados plotados na Figura 25.

A Figura 25 mostra que existe uma relação entre o aumento do número de repetições do eixo padrão e a irregularidade longitudinal.

A irregularidade longitudinal, na presente pesquisa, começa a apresentar valores acima de 40 contagens/km, na média, a partir do número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf (AASHTO, 1993), igual a  $3,0 \times 10^6$ . No trabalho de Basílio (2002), a irregularidade começava a apresentar valores acima de 40 contagens/km, na média, a partir do número de solicitações NA igual a  $1 \times 10^6$ .

Como observado por Basílio (2002), os valores obtidos com a equação 5.16 (QUEIROZ, 1981), foram um pouco superiores aos levantados em campo também nesta pesquisa. As configurações de ambas as curvas são bastante semelhantes.

Entretanto, os valores calculados com a equação 5.18 (Paterson, 1987), se mostram inferiores aos valores da amostra da presente pesquisa.

Os valores calculados utilizando a equação 5.24 (Basílio, 2002), foram muito superiores aos valores encontrados nesta pesquisa.

Os valores encontrados por Marcon (1996) são superiores aos encontrados por Paterson (1987) e inferiores aos calculados por Basílio (2002).

A configuração da linha de tendência desta pesquisa mostrou semelhança acentuada com a linha de tendência encontrada por Basílio (2002).

A equação que apresentou o coeficiente de determinação mais elevado para a linha de tendência foi do tipo polinomial:

$$QI = 5 \times 10^{-13} \times NA^2 - 3 \times 10^{-6} \times NA + 45,702 \quad (8.2)$$

$$R^2 = 0,3621$$

onde,

QI - quociente de irregularidade, em contagens /km;

NA - número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf (AASHTO, 1993).

Tabela 23 - Evolução do IRI/QI versus NA nas rodovias pesquisadas

Número de Repetições do Eixo Padrão de 8,2 tf(N)	IRI (Média + $\sigma$ )	IRI <sub>0</sub> (1) (adotado)	Paterson (5.18)	SNC	IDADE	QI (5.24) (Basílio)	QI (medido)	QI (5.18) (Paterson)	QI (5.20) (Marcon)	QI (5.16) (Queiroz)
3,66 E+06	2,94	1,92 (1)	2,30	5,15	2	49,1	38,2	29,9	39,8	36,5
5,43 E+06	2,06	2,30	2,93	5,15	4	57,4	26,7	38,1	46,0	33,8
2,97 E+06	2,42	2,93	3,28	5,15	2	46,3	31,5	42,6	37,2	45,9
3,22 E+06	4,10	1,92 (1)	2,61	4,17	1	47,3	53,4	33,9	38,1	56,2
3,42 E+06	2,83	2,61	3,39	4,17	2	48,1	36,8	44,1	38,9	44,7
2,65 E+07	3,93	1,92 (1)	6,22	4,39	0	301,8	51,1	80,9	96,7	66,1
1,01 E+07	5,02	1,92 (1)	2,79	5,38	4	88,7	65,2	36,3	61,1	66,7
4,50 E+06	4,01	2,79	3,21	5,38	2	52,8	52,2	41,7	42,8	65,9
4,78 E+06	2,60	3,21	3,65	5,38	2	54,1	33,8	47,4	43,8	41,8
1,39 E+07	3,67	1,92 (1)	2,47	6,78	5	123,6	47,7	32,1	71,7	54,7
5,23 E+06	4,25	2,47	2,68	6,78	2	56,4	55,2	34,9	45,3	54,4
5,56 E+06	3,55	2,68	2,92	6,78	2	58,1	46,1	37,9	46,5	40,1

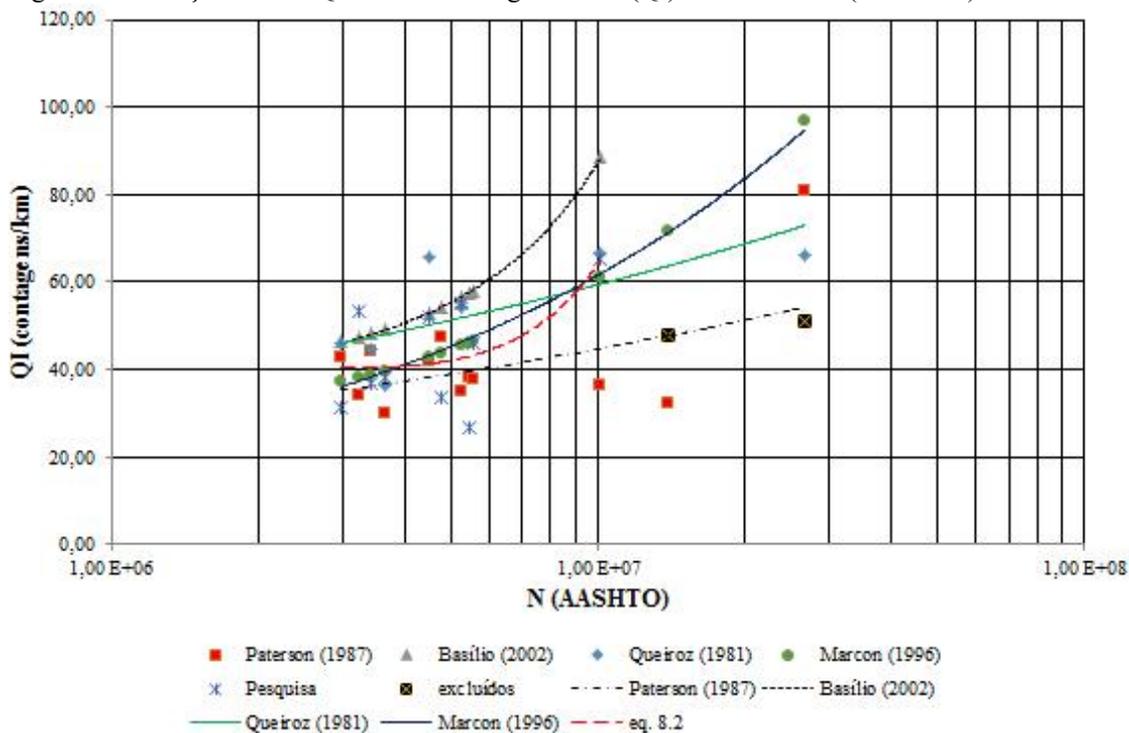
Observações:

(1) Devido a ausência de dados anteriores a época das restaurações foram adotados os valores de IRI<sub>0</sub>.

O valor do IRI calculado pela equação de Paterson (1987) [vide equação 5.18].

Fonte: Autor

Figura 25 - Relação entre o Quociente de Irregularidade (QI) e o Número N (AASHTO)



Fonte: Autor

## 9 CONCLUSÕES

Com base nos dados utilizados serão expostas as conclusões encontradas neste trabalho de pesquisa, conforme descritas a seguir:

A divisão dos trechos em segmentos homogêneos se mostrou extremamente válido para a determinação das deflexões características e do IRI de cada trecho pesquisado.

A utilização do conceito Método Família, que é o agrupamento dos trechos por tipo de pavimento, idade, tráfego, número estrutural corrigido e pluviometria, desenvolvido por Nuñez e Shahin (1986) foi muito útil para a análise dos trechos pesquisados.

A metodologia desenvolvida por Nuñez e Shahin (1986), que foi utilizada no desenvolvimento deste trabalho, demonstrou ser eficiente para a análise das tendências de desempenho do estado do pavimento para os parâmetros pesquisados.

Observou-se a tendência de crescimento da irregularidade longitudinal com o incremento do número de repetições do eixo padrão de 8,2 tf suportado pelos pavimentos pesquisados.

Para os trechos pesquisados a equação 5.16 de Queiroz (1981) apresenta configuração muito semelhante a equação 5.18 desenvolvida por Paterson (1987).

A configuração da linha de tendência encontrada nesta pesquisa, para a irregularidade longitudinal, mostrou semelhança acentuada com a linha de tendência encontrada por Basílio (2002).

As equações encontradas para as linhas de tendência de desempenho do comportamento do pavimento podem ser utilizadas com boa eficiência, pelos gestores viários, para a previsão do comportamento do estado futuro do pavimento.

Foi possível verificar pelos dados coletados ao longo do período a variação dos parâmetros de análise dos pavimentos, que mostram a eficiência de cada intervenção.

O agrupamento de um conjunto de informações de cada trecho, como efetuado para esta pesquisa, pode constituir um banco de dados preliminar cujos elementos estão disponíveis para avaliação e seleção de futuras intervenções e para análise de desempenho de pavimentos em sistemas de gerência de pavimentos.

## REFERÊNCIAS

AASHTO. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington/DC, 1993. Disponível em: <<https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

ALBUQUERQUE, Fernando Silva. **Sistema de Gerência de Pavimentos para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 261 p., 2007. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17735/000637043.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

AOUAD, Marwan F.; STOKOE, Kenneth H.; JOH, Sung-Ho. *Estimating Subgrade Stiffness and Bedrock Depth*. TRR 1716, Transportation Research Record. Washington/DC, p. 40-48, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8547**: pavimentos flexíveis e semi-rígidos - delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica - materiais, projeto e restauração**. Oficina dos Textos, São Paulo, 558 p., 2007.

BASÍLIO, Rafael. **Análise do Comportamento de Pavimentos de Rodovias Estaduais de Goiás**. Dissertação de Mestrado - PPGEC/UFSC, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/83709>>. Acesso em: 13 set. 2016.

BENNETT, Christopher R.; CHAMORRO, Alondra; CHEN, Chen; SOLMINIHAC, Hernan de; FLINTSCH, Gerardo W. *Data Collection Technologies for Road Management*. East Asia Pacific Transport Unit, The World Bank, Washington/DC, 161 p., 2007. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/07-02-12DataCollectionTechnologiesReport-v20.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras/Abeda, Rio de Janeiro, 504 p., 2010. Disponível em: <<http://www.proasfalto.com.br/pdf/>>. Acesso em: 17 abr. 2016.

BORGES, Clarissa Beatriz Sandoval. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado - PPGEC/UFSC, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/79447>>. Acesso em: 30 set. 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Aferição da viga Benkelman**, DNER-PRO 175/94. Rio de Janeiro, 11 p., 1994a.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis - Volume I - Procedimento B**, DNER-PRO 011/79. Rio de Janeiro, 16 p., 1979.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Determinação das Deflexões no Pavimento pela Viga Benkelman - Método de Ensaio**, DNER-ME 024/94. Rio de Janeiro, 6 p., 1994b.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer (FWD)” - Procedimento**, DNER-PRO 273/96, Rio de Janeiro, 4 p., 1996.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de estradas de Rodagem. **Determinação das Deflexões do Pavimento pelo Dynaflect - Método de Ensaio**, DNER-ME 039/94, Rio de Janeiro, 3 p., 1994c.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Medição da Irregularidade de Superfície de Rodovias com Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter - Procedimento**, DNER - PRO 182/94. Rio de Janeiro, 9 p., 1994d.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos - Procedimento**, DNER-PRO 159/85. Rio de Janeiro, 31 p., 1985.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis - TECNAPAV - Procedimento**, DNER-PRO 269/94. Rio de Janeiro, 17 p., 1994e.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**, Norma DNIT 006/2003 - PRO, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 10 p., 2003b.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**, Norma DNIT 009/2003 - PRO, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 6 p., 2003e.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Determinação de deflexões utilizando o Curviâmetro - Procedimento**, DNIT 170/2016 - PRO, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 12 p., 2016.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman - Método de Ensaio**, DNIT 133/2010 - ME, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 8 p., 2010.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**, Norma DNIT 005/2003 - TER, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 12 p., 2003a.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Determinação das deflexões utilizando o Deflectógrafo Lacroix - Procedimento**, Norma DNIT 162/2012 - PRO, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 9 p., 2012.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes - Especificação de Serviço**, Norma DNIT 049/2013-ES, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 15 p., 2013.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos - Procedimento**, Norma DNIT 007/2003 - PRO, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 11 p., 2003c.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**, Norma DNIT 008/2003 - PRO, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 11 p., 2003d.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Estudos de Tráfego**, Publicação IPR 723, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 384 p., 2006a.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**, Publicação IPR 720, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 310 p., 2006b.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Gerência de Pavimentos**, Publicação IPR 745, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 189 p., 2011.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Veículo de Diagnóstico de Rodovias**. Brasília, 15 p., 201\_. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/veiculo-de-diagnostico-de-rodovias.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

DNIT/ACT. **Laudo de Contagem de Tráfego**. Contagem volumétrica e classificatória de tráfego, para solicitação de AET, nas rodovias federais BR-163/262/267/MS. ACT - Assessoria e Consultoria no Transporte Ltda. 2012/2013.

DNIT/ANTT. **Relatório do Levantamento realizado através do FWD e do IRI na rodovia BR-163/MS (concedida)**. Levantamento das deflexões medidas pelo equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer*) no ano de 2014 e do IRI através de sensores a laser, na BR-163/MS. CCR - MS Vias. 2014/2016.

DNIT/CONCRESOLO. **Projeto de Recuperação e Manutenção de Rodovia (CREMA 2ª Etapa) da rodovia BR-262/MS**. Projeto de Engenharia. ConcreSolo Engenharia Ltda. 2011.

DNIT/CONTÉCNICA. **Projeto de Restauração da Rodovia BR-267/MS**. Projeto de Engenharia. Contécnica Engenharia Ltda. 2009.

DNIT/DYNATEST. **Projeto de Restauração da Rodovia BR-163/MS**. Relatório de Projeto de Engenharia. Dynatest Engenharia Ltda. 2004.

DNIT/STE. **Relatório Final da Avaliação Estrutural dos Pavimentos das rodovias federais BR-060/158/163/262/267/376/419/463/MS**. Levantamento das deflexões do pavimento medidas através do equipamento FWD (*Falling Weight Deflectometer*). STE - Serviços Técnicos de Engenharia S.A. 2004.

FERREIRA, Clóvis Madruga. **Trabalhando com viga Benkelman**. Roteiro para execução de trabalhos com a utilização de viga Benkelman. 32 p., [200?].

FIALHO, Paloma Gentil Cruz. **Validação de Resultados do Inventário Funcional de Pavimentos Flexíveis com o Emprego do Equipamento *Pavement Scanner***. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072016-080731/pt-br.php>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

FWA, T. F. **The handbook of highways engineering**. Taylor & Francis Group, New York, Estados Unidos, 847 p., 2006. Disponível em <<http://www.only4engineer.com/2014/10/the-handbook-of-highway-engineering-by.html>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

GAVILÁN, Miguel; BALCONES, David; MARCOS, Oscar; LLORCA, David F.; SOTELO, Miguel A.; PARRA, Ignacio; OCAÑA, Manuel; ALISEDA, Pedro; YARZA, Pedro; AMÍROLA, Alejandro. **Adaptive Road Crack Detection System by Pavement Classification**. Publicação on line Sensors, v. 11, n. 10, p. 9.628-9.657, out. 2011. Disponível em <<http://www.mdpi.com/1424-8220/11/10/9628/>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

GOMES, Luiz Henrique Costa. **Equivalência Operacional entre equipamentos defletométricos - Estudo de Caso em Rodovia Localizada em Ouro Branco - MG**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica da UFOP, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2880>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

MARCON, Antônio Fortunato. **Gerenciamento de Pavimentos**. Material Apostilado do Curso de Especialização em Operações Rodoviárias (UFSC/DNIT), Florianópolis, 225 p., 2016.

MEDINA, Jacques de. **Mecânica dos Pavimentos**. Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 380 p., 1997.

NASCIMENTO, Deise Menezes. **Análise comparativa de modelos de previsão de desempenho de pavimentos flexíveis**. Tese de Mestrado em Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 86 p., 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14082005-180708/es.php>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

NUÑEZ, Maria Margarita; SHAHIN, Mohamed Y. **Pavement condition data analysis and modeling**. *Transportation Research Record* 1070, *Transportation Research Board, University Texas at Austin*, Austin, EUA, p. 125-132, 1986. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1986/1070/1070-015.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2016.

OLIVEIRA, Henrique José Monteiro. ***Crack Detection and Characterization in Flexible Road Pavements using Digital Image Processing***. Tese de Doutorado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 306 p., 2013. Disponível em: <[http://www.img.lx.it.pt/publications/Theses/HenriqueOliveira\\_PhD.pdf](http://www.img.lx.it.pt/publications/Theses/HenriqueOliveira_PhD.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2016.

PATERSON, William D. O. ***Road Deterioration and Maintenance Effects - Models for Planning and Management***. World Bank - The Johns Hopkins University Press - Baltimore - Maryland/USA, 1987. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/222951468765265396/Road-deterioration-and-maintenance-effects-models-for-planning-and-management>>. Acesso em: 13 set. 2016.

PRESTES, Marilez Pôrto. ***Método de avaliação visual de pavimentos flexíveis - Um estudo comparativo***. Tese de Mestrado em Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 106 p., 2001. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2304/000317458.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

RADAMBRASIL. ***Folha SF-21 Campo Grande: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial do solo***. Departamento Nacional de Produção Mineral, projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, 416 p., 1982.

RYDEN, Nils; ULRIKSEN, P.; EKDAHL, U.; PARK, C. B.; MILLER, R. D. ***Multichannel Analysis of Seismic for Layer Moduli Evaluation of Pavements***. In: *Proceedings of the 6th Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*. Lisboa, Portugal, v. 1, p. 705-714, 2002.

SAYERS, Michael W.; KARAMIHAS, Steven M. ***The Little Book of Profiling - Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles***. University Michigan, 100 p., 1988. Disponível em: <<http://www.umtri.umich.edu/content/LittleBook98R.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.

SEVERO, Luis Eduardo Paiva; RUWER, Paulo; KLEIN, Rui Juarez; BARELLA, Rodrigo Maluf; MASSARA, Sergio; GONÇALVES, Fernando José Pugliero. ***Utilização de perfilômetro laser para a medida de irregularidade longitudinal e do afundamento em trilhas de roda***. 9º ENACOR - Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Natal, RN, 14 p., 2004. Disponível em: <<http://pavesys.com.br/download/27%20-%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20Perfil%C3%B4metro%20Laser%20para%20a%20medida%20de%20QI%20e%20ATR.pdf>>. Acesso em 10 out. 2016.

SHAHIN, Mohamed Y.; NUÑEZ, Margarita M.; BROTON, Margaret R.; CARPENTER, Samuel H.; SAMEH, Ahmed. ***New Techniques for Modeling Pavement Deterioration***. *Transportation Research Record* 1123 - Washington/USA, p. 40-46, 1987. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1987/1123/1123-005.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2016.

SOUZA, Murillo Lopes de. ***Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis***. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Publicação IPR 667, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 34 p., 1981.

STRIEDER, Adelir J. GONÇALVES, Fernando Pugliero; SALVADORETTI, Paulo; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; KLEIN, Sérgio L.; HIRAKATA, Ângelo M. **Aplicação de Geo-Radar em investigação de pavimentos rodoviários: estudo de casos em estruturação estratigráfica e em degradação.** In: 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Anais do 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio Claro, SP, v. 01, 13 p., 1999. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~pugliero/arquivos/02.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

VIEIRA, Paulo Henrique. **Análise Ambiental de Bataguassu/MS com o uso das Geotecnologias: um estudo de caso das bacias hidrográficas do Sapê e do Uerê.** Monografia de mestrado do curso de Geografia, UFMS, Três Lagoas/MS, 134 p., 2014. Disponível em: <<http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/handle/123456789/2031>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

WATANATADA, Thawat; HARRAL, Clell G.; PATERSON, William D. 0.; DHARESHWAR, Ashok M.; BHANDARI, Anil; TSUNOKAWA, Koji. ***The Highway Design and Maintenance Standards Model. Description of the HDM III Model.*** World Bank, The Johns Hopkins University Press, Maryland/USA, v. 1, 280 p., 1987. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/129721468326428758/pdf/multi-page.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

### APÊNDICE A - Descrição

Tabela A.1.0	Características Físicas da Amostra Pesquisada no ano da pavimentação
Tabela A.2.1	Número Estrutural Corrigido para os trechos selecionados para o ano de 2004
Tabela A.2.2	Número Estrutural Corrigido para os trechos selecionados para o ano de 2008
Tabela A.2.3	Número Estrutural Corrigido para os trechos selecionados para o ano de 2012
Tabela A.3.1	Características do tráfego no levantamento de 2004 para os trechos pesquisados
Tabela A.3.2	Características do tráfego no levantamento de 2008 para os trechos pesquisados
Tabela A.3.3	Características do tráfego no levantamento de 2012 para os trechos pesquisados
Tabela A.3.4	Características do tráfego no levantamento de 2014 para os trechos pesquisados
Tabela A.3.5	Características do tráfego no levantamento de 2016 para os trechos pesquisados
Tabela A.4.1	Resultados do levantamento de 2004 para os trechos pesquisados
Tabela A.4.2	Resultados do levantamento de 2008 para os trechos pesquisados
Tabela A.4.3	Resultados do levantamento de 2012 para os trechos pesquisados
Tabela A.4.4	Resultados do levantamento de 2014 para os trechos pesquisados
Tabela A.4.5	Resultados do levantamento de 2016 para os trechos pesquisados
Tabela A.5.1	Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2004
Tabela A.5.2	Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2008
Tabela A.5.3	Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2012
Tabela A.5.4	Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2014
Tabela A.5.5	Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2016
Mapa A.1	Rodovia BR-163/MS, trecho km 344 ao km 359
Mapa A.2	Rodovia BR-163/MS, trecho do km 388 ao km 403
Mapa A.3	Rodovia BR-262/MS, trecho do km 239 ao km 254
Mapa A.4	Rodovia BR-267/MS, trecho do km 40 ao km 55
Mapa A.5	Mapa Multimodal do Estado de Mato Grosso do Sul
Mapa A.6	Mapa Rodoviário do Estado de Mato Grosso do Sul

Fonte: desenvolvido pelo autor

## APÊNDICE A

**Tabela A.1.0 - Características Físicas da Amostra Pesquisada no ano da pavimentação**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Pedologia	Pluviometria (mm anuais)	Altitude (m)	Extensão (km)	ano de execução	revestimento (*) tipo	base tipo	sub-base tipo	subleito CBR
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	Latossolo Roxo Álico	1.442	324	15,00	1969	CAUQ 15,0	GR 18,0	A-2-4	20 14,0
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	Latossolo Roxo Distrófico	1.442	513	15,00	1968	CAUQ 10,5	GR 20,0	A-2-4	20 8,2 (1)
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	Areias Quatzosas Álicas	1.425	437	15,00	1987	CAUQ 11,4	SF 18,7	A-2-4	20 28,5
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	Argiloso Quartzarenio Distrófico / Latossolo Vermelho-escuro Álico	1.198	365	15,00	1967	CAUQ 8,0	GR 20,0	A-2-4	20 8,2 (1)

Legenda:

revestimento(\*) - dados relativos à última restauração

CAUQ - Concreto Asfáltico Usinado a Quente

esp. - espessura (cm)

GR - base granular

SF - solo fino (areia silteosa cor vermelha)

(1) Adotado o CBR mínimo para o subleito, para o trecho em questão, dentre o valor mínimo do CBR encontrado nos demais trechos.

Fonte: Autor

**Tabela A.2.1 - Número Estrutural Corrigido para os trechos selecionados para o ano de 2004**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	revestimento			base				sub-base			subleito				
					tipo	esp.	MR	a <sub>1</sub>	tipo	esp.	CBR <sup>(1)</sup>	a <sub>2</sub>	tipo	esp.	CBR <sup>(1)</sup>	a <sub>3</sub>	CBR	SN	SNC
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	CAUQ	9,0	2,942	0,166	Laterita	18,0	64,3	0,046	A-2-4	20	32,6	0,045	14,0	3,24	4,39
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	CAUQ	7,8	2,942	0,166	Seixo	20,0	23.786,2 (1)	0,113	A-2-4	20	23.786,2 (1)	0,045	8,2 (2)	5,31	6,37
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	CAUQ	5,5	2,942	0,166	Solo Fino	18,7	30,5	0,040	A-2-4	20	18.564,8 (1)	0,045	28,5	2,54	4,16
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	CAUQ	14,0	2,942	0,166	Seixo	20,0	14.648,8 (1)	0,060	A-2-4	20	23.206,0 (1)	0,045	8,2 (2)	3,76	4,82

Legenda:

esp. - espessura (cm)

a<sub>1</sub> - coeficiente estrutural da camada i

SN - Número Estrutural

SNC - Número Estrutural Corrigido

CBR - Índice de Suporte Califórnia

CBR<sup>(1)</sup> - Na ausência de dados do Índice de Suporte Califórnia foram utilizados o Módulo Resiliente do Material em psi.

CBR (2) - Adotado o menor Índice de Suporte Califórnia

MR - Módulo Resiliente do CAUQ ou CBUQ (MPa) (DNER-PRO 159/85)

MR (1) - Módulo Resiliente do Material (em psi)

Fonte: Autor

**Tabela A.2.2 - Número Estrutural Corrigido para os trechos selecionados para o ano de 2008**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	revestimento			base				sub-base			subleito				
					tipo	esp.	MR	a <sub>1</sub>	tipo	esp.	CBR <sup>(1)</sup>	a <sub>2</sub>	tipo	esp.	CBR <sup>(1)</sup>	a <sub>3</sub>	CBR	SN	SNC
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	CAUQ	15,0	2,942	0,166	Laterita	18,0	64,3	0,046	A-2-4	20	32,6	0,045	14,0	4,24	5,38
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	CAUQ	12,1	2,942	0,166	Seixo	20,0	23.786,2 (1)	0,113	A-2-4	20	23.786,2 (1)	0,045	8,2 (2)	5,72	6,78
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	CAUQ	11,4	2,942	0,166	Solo Fino	18,7	30,5	0,040	A-2-4	20	18.564,8 (1)	0,045	28,5	3,51	5,15
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	CAUQ	14,0	2,942	0,166	Seixo	20,0	14.648,8 (1)	0,060	A-2-4	20	23.206,0 (1)	0,045	8,2 (2)	3,76	4,82

Legenda:

esp. - espessura (cm)

a<sub>1</sub> - coeficiente estrutural da camada i

SN - Número Estrutural

SNC - Número Estrutural Corrigido

CBR - Índice de Suporte Califórnia

CBR<sup>(1)</sup> - Na ausência de dados do Índice de Suporte Califórnia foram utilizados o Módulo Resiliente do Material em psi.

CBR (2) - Adotado o menor Índice de Suporte Califórnia

MR - Módulo Resiliente do CAUQ (MPa) (DNER-PRO 159/85)

MR (1) - Módulo Resiliente do Material (em psi)

Fonte: Autor

**Tabela A.2.3 - Número Estrutural Corrigido para os trechos selecionados para o ano de 2012**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	revestimento			base				sub-base			subleito				
					tipo	esp.	MR	a <sub>1</sub>	tipo	esp.	CBR <sup>(1)</sup>	a <sub>2</sub>	tipo	esp.	CBR <sup>(1)</sup>	a <sub>3</sub>	CBR	SN	SNC
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	CAUQ	15,0	2,942	0,166	Laterita	18,0	64,3	0,046	A-2-4	20	32,6	0,045	14,0	4,24	5,38
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	CAUQ	12,1	2,942	0,166	Seixo	20,0	23.786,2 (1)	0,113	A-2-4	20	23.786,2 (1)	0,045	8,2 (2)	5,72	6,78
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	CAUQ	11,4	2,942	0,166	Solo Fino	18,7	30,5	0,040	A-2-4	20	18.564,8 (1)	0,045	28,5	3,51	5,15
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	CAUQ	10,4	2,942	0,166	Seixo	20,0	14.648,8 (1)	0,060	A-2-4	20	23.206,0 (1)	0,045	8,2 (2)	3,11	4,17

Legenda:

esp. - espessura (cm)

a<sub>1</sub> - coeficiente estrutural da camada i

SN - Número Estrutural

SNC - Número Estrutural Corrigido

CBR - Índice de Suporte Califórnia

CBR<sup>(1)</sup> - Na ausência de dados do Índice de Suporte Califórnia foram utilizados o Módulo Resiliente do Material em psi.

CBR (2) - Adotado o menor Índice de Suporte Califórnia

MR - Módulo Resiliente do CAUQ (MPa) (DNER-PRO 159/85)

MR (1) - Módulo Resiliente do Material (em psi)

Fonte: Autor

**Tabela A.3.1 - Características do tráfego no levantamento de 2004 para os trechos pesquisados**

Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)												
Trecho	Segmento homogêneo	Passaio	Ônibus	Caminhão Médio	Caminhão Pesado	Reboque	VMD Total	VMD Comercial	NA 2004	NA	NU 2004	NU
1	163BMS036050000C1C	1.022	83	111	169	293	1.679	657	1,684 E+06	2,652 E+07	7,577 E+06	1,193 E+08
2	163BMS037050000C1B	934	118	158	218	384	1.812	878	1,958 E+06	4,411 E+07	9,107 E+06	2,052 E+08
3	262BMS132550300B1B	802	55	73	94	178	1.201	399	1,113 E+06	1,056 E+07	5,155 E+06	4,892 E+07
4	267BMS089050300C1B	750	67	89	146	330	1.381	631	1,290 E+06	2,987 E+07	6,122 E+06	1,399 E+08

Legenda:

NA 2004 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento no ano de 2004

NA - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento até o ano de 2004

NU 2004 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento no ano de 2004

NU - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento até o ano de 2004

VMD - Volume Médio Diário de Tráfego

Fonte: Autor

**Tabela A.3.2 - Características do tráfego no levantamento de 2008 para os trechos pesquisados**

Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)												
Trecho	Segmento homogêneo	Passaio	Ônibus	Caminhão Médio	Caminhão Pesado	Reboque	VMD Total	VMD Comercial	NA 2008	NA	NU 2008	NU
1	163BMS036050000C1C	1.152	95	127	193	341	1.909	757	1,902 E+06	1,902 E+06	8,559 E+06	8,559 E+06
2	163BMS037050000C1B	1.053	135	180	250	440	2.057	1.004	2,211 E+06	4,357 E+06	1,029 E+07	2,027 E+07
3	262BMS132550300B1B	905	63	84	110	206	1.368	463	1,257 E+06	3,659 E+06	5,823 E+06	1,695 E+07
4	267BMS089050300C1B	846	76	102	167	383	1.574	728	1,451 E+06	3,543 E+07	6,916 E+06	1,664 E+08

Legenda:

NA 2008 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento no ano de 2008

NA - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento até o ano de 2008

NU 2008 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento no ano de 2008

NU - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento até o ano de 2008

VMD - Volume Médio Diário de Tráfego

Fonte: Autor

**Tabela A.3.3 - Características do tráfego no levantamento de 2012 para os trechos pesquisados**

Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)												
Trecho	Segmento homogêneo	Passaio	Ônibus	Caminhão Médio	Caminhão Pesado	Reboque	VMD Total	VMD Comercial	NA 2012	NA	NU 2012	NU
1	163BMS036050000C1C	1.298	109	145	222	392	2.165	867	2,148 E+06	1,012 E+07	9,668 E+06	4,552 E+07
2	163BMS037050000C1B	1.187	153	204	284	505	2.333	1.146	2,498 E+06	1,391 E+07	1,162 E+07	6,469 E+07
3	262BMS132550300B1B	1.021	72	96	127	235	1.550	529	1,420 E+06	9,088 E+06	6,577 E+06	4,210 E+07
4	267BMS089050300C1B	954	87	116	190	439	1.786	832	1,634 E+06	3,219 E+06	7,812 E+06	1,539 E+07

Legenda:

NA 2012 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento no ano de 2012

NA - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento até o ano de 2012

NU 2012 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento no ano de 2012

NU - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento até o ano de 2012

VMD - Volume Médio Diário de Tráfego

Fonte: Autor

**Tabela A.3.4 - Características do tráfego no levantamento de 2014 para os trechos pesquisados**

Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)												
Trecho	Segmento homogêneo	Passaio	Ônibus	Caminhão Médio	Caminhão Pesado	Reboque	VMD Total	VMD Comercial	NA 2014	NA	NU 2014	NU
1	163BMS036050000C1C	1.378	116	154	237	420	2.305	927	2,283 E+06	1,461 E+07	1,027 E+07	6,577 E+07
2	163BMS037050000C1B	1.260	163	217	303	540	2.483	1.223	2,655 E+06	1,914 E+07	1,235 E+07	8,902 E+07
3	262BMS132550300B1B	1.084	77	102	136	259	1.658	574	1,509 E+06	1,206 E+07	6,990 E+06	5,587 E+07
4	267BMS089050300C1B	1.013	93	124	204	469	1.903	890	1,733 E+06	6,635 E+06	8,303 E+06	3,175 E+07

Legenda:

NA 2014 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento no ano de 2014

NA - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento até o ano de 2014

NU 2014 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento no ano de 2014

NU - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento até o ano de 2014

VMD - Volume Médio Diário de Tráfego

Fonte: Autor

**Tabela A.3.5 - Características do tráfego no levantamento de 2016 para os trechos pesquisados**

<b>Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)</b>												
Trecho	Segmento homogêneo	Passeio	Ônibus	Caminhão Médio	Caminhão Pesado	Reboque	VMD Total	VMD Comercial	NA 2016	NA	NU 2016	NU
1	163BMS036050000C1C	1.462	123	164	251	444	2.444	982	2,425 E+06	1,939 E+07	1,091 E+07	8,727 E+07
2	163BMS037050000C1B	1.336	173	230	322	573	2.633	1.297	2,819 E+06	2,469 E+07	1,311 E+07	1,149 E+08
3	262BMS132550300B1B	1.150	79	105	141	278	1.753	603	1,602 E+06	1,522 E+07	7,423 E+06	7,050 E+07
4	267BMS089050300C1B	1.075	99	132	214	497	2.016	941	1,839 E+06	1,026 E+07	8,816 E+06	4,912 E+07

Legenda:

NA 2016 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento no ano de 2016

NA - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (AASHTO) suportado pelo pavimento até o ano de 2016

NU 2016 - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento no ano de 2016

NU - Número de solicitações do eixo-padrão de 8,2 t (USACE) suportado pelo pavimento até o ano de 2016

VMD - Volume Médio Diário de Tráfego

Fonte: Autor

**Tabela A.4.1 - Resultados do levantamento de 2004 para os trechos pesquisados**

<b>Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)</b>								
Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	D <sub>0</sub> (FWD) (0,01 mm)	D <sub>0</sub> (VBK) (0,01 mm)	QI (cont./km)	
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	65,72	79,58	51	
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	42,65	62,67		
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	57,03	74,04		
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	40,92	61,02		

Legenda:

D<sub>0</sub> (FWD) - Deflexão máxima medida com o emprego do equipamento FWD (0,01 mm)

D<sub>0</sub> (VBK) - Deflexão máxima medida com o emprego da viga Benkelman (0,01 mm)

QI - quociente de irregularidade (contagens/quilômetro)

Fonte: Autor

**Tabela A.4.2 - Resultados do levantamento de 2008 para os trechos pesquisados**

<b>Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)</b>								
Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	D <sub>0</sub> (FWD) (0,01 mm)	D <sub>0</sub> (VBK) (0,01 mm)	QI (cont./km)	IGG
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969				
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968				
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	24,84	38,35	38,24	64,8
4	267BMS089050300C1B	55,000 ao 40,000	15,00	1967				

Legenda:

D<sub>0</sub> (FWD) - Deflexão máxima medida com o emprego do equipamento FWD (0,01 mm)

D<sub>0</sub> (VBK) - Deflexão máxima medida com o emprego da viga Benkelman (0,01 mm)

QI - quociente de irregularidade (contagens/quilômetro)

Fonte: Autor

**Tabela A.4.3 - Resultados do levantamento de 2012 para os trechos pesquisados**

<b>Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)</b>								
Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	D <sub>0</sub> (FWD) (0,01 mm)	D <sub>0</sub> (VBK) (0,01 mm)	QI (cont./km)	IGG
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	76,87	85,79	65,21	120,58
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	45,77	65,45	47,71	68,70
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987			26,50	103,92
4	267BMS089050300C1B	55,000 ao 40,000	15,00	1967	43,98	63,88	37,90	106,53

Legenda:

D<sub>0</sub> (FWD) - Deflexão máxima medida com o emprego do equipamento FWD (0,01 mm)

D<sub>0</sub> (VBK) - Deflexão máxima medida com o emprego da viga Benkelman (0,01 mm)

QI - quociente de irregularidade (contagens/quilômetro)

Fonte: Autor

**Tabela A.4.4 - Resultados do levantamento de 2014 para os trechos pesquisados  
Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	D <sub>0</sub> (FWD) (0,01 mm)	D <sub>0</sub> (VBK) (0,01 mm)	QI (cont./km)	IGG
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	82,20	88,49	52,16	37,13
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	49,37	68,42	55,19	66,45
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	42,67	62,69	29,34	130,04
4	267BMS089050300C1B	55,000 ao 40,000	15,00	1967			33,75	99,45

Legenda:

D<sub>0</sub> (FWD) - Deflexão máxima medida com o emprego do equipamento FWD (0,01 mm)

D<sub>0</sub> (VBK) - Deflexão máxima medida com o emprego da viga Benkelman (0,01 mm)

QI - quociente de irregularidade (contagens/quilômetro)

Fonte: Autor

**Tabela A.4.5 - Resultados do levantamento de 2016 para os trechos pesquisados  
Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de execução	D <sub>0</sub> (FWD) (0,01 mm)	D <sub>0</sub> (VBK) (0,01 mm)	QI (cont./km)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969			33,80
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968			46,09
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987			
4	267BMS089050300C1B	55,000 ao 40,000	15,00	1967			

Legenda:

D<sub>0</sub> (FWD) - Deflexão máxima medida com o emprego do equipamento FWD (0,01 mm)

D<sub>0</sub> (VBK) - Deflexão máxima medida com o emprego da viga Benkelman (0,01 mm)

QI - quociente de irregularidade (contagens/quilômetro)

Fonte: Autor

**Tabela A.5.1 - Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2004  
Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de pavimentação	ano do último reperfilamento	QI (eq. 5.16)	QI (5.24)	QI (*) (eq. 5.18)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	1984	55,0	301,8	93,6
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	1968	48,5	709,8	56,3
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	1994	45,4	92,3	47,5
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	1967	50,4	365,2	98,4

Legenda:

QI - Quociente de Irregularidade (contagens/quilômetro)

TRI - Início do trincamento

As equações 5.16, 5.18 e 5.24 são apresentadas no Capítulo 05

(\*) Adotado IRI inicial igual a 1,000:  $QI = IRI \times 13 = 1,000 \times 13 = 13,0$  contagens/km para o ano de 1984

Fonte: Autor

**Tabela A.5.2 - Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2008**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de pavimentação	ano do último restauração	QI (eq. 5.16)	QI (5.24)	QI (*) (eq. 5.18)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	2008	17,6	42,6	14,7
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	2007	16,3	52,1	14,7
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	2006	23,8	49,1	17,5
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	1967	37,1	485,2	158,6(*)

Legenda:

QI - Quociente de Irregularidade (contagens/quilômetro)

TRI - Início do trincamento

As equações 5.16, 5.18 e 5.24 são apresentadas no Capítulo 05

(\*) Adotado IRI inicial igual ao IRI final do ano de 2004

Fonte: Autor

**Tabela A.5.3 - Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2012**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de pavimentação	ano do último restauração	QI (eq. 5.16)	QI (5.24)	QI (*) (eq. 5.18)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	2008	46,2	88,7	23,6
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	2007	34,2	123,6	19,1
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	2006	21,5	80,7	24,9
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	2011	33,8	47,3	21,7

Legenda:

QI - Quociente de Irregularidade (contagens/quilômetro)

TRI - Início do trincamento

As equações 5.16, 5.18 e 5.24 são apresentadas no Capítulo 05

(\*) Adotado IRI inicial igual ao IRI final do ano de 2008

Fonte: Autor

**Tabela A.5.4 - Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2014**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de pavimentação	ano do último restauração	QI (eq. 5.16)	QI (5.24)	QI (*) (eq. 5.18)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	2008	50,2	131,0	28,5
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	2007	37,3	185,9	21,5
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	2006	36,6	105,5	29,0
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	2011	22,8	64,2	31,5

Legenda:

QI - Quociente de Irregularidade (contagens/quilômetro)

TRI - Início do trincamento

As equações 5.16, 5.18 e 5.24 são apresentadas no Capítulo 05

(\*) Adotado IRI inicial igual ao IRI final do ano de 2012

Fonte: Autor

**Tabela A.5.5 - Valores encontrados para o parâmetro Quociente de Irregularidade (QI) com o uso de equações de previsão conhecidas para o ano de 2016**

**Rodovias em Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ)**

Trecho	Segmento homogêneo	Km ao Km	Extensão (km)	ano de pavimentação	ano do último restauração	QI (eq. 5.16)	QI (5.24)	QI (*) (eq. 5.18)
1	163BMS036050000C1C	344,000 ao 359,000	15,00	1969	2008	22,3	189,4	33,9
2	163BMS037050000C1B	388,000 ao 403,000	15,00	1968	2007	20,5	270,1	24,1
3	262BMS132550300B1B	239,000 ao 254,000	15,00	1987	2006	23,5	137,7	33,5
4	267BMS089050300C1B	40,000 ao 55,000	15,00	1967	2011	24,0	89,8	42,2

Legenda:

QI - Quociente de Irregularidade (contagens/quilômetro)

TRI - Início do trincamento

As equações 5.16, 5.18 e 5.24 são apresentadas no Capítulo 05

(\*) Adotado IRI inicial igual ao IRI final do ano de 2014

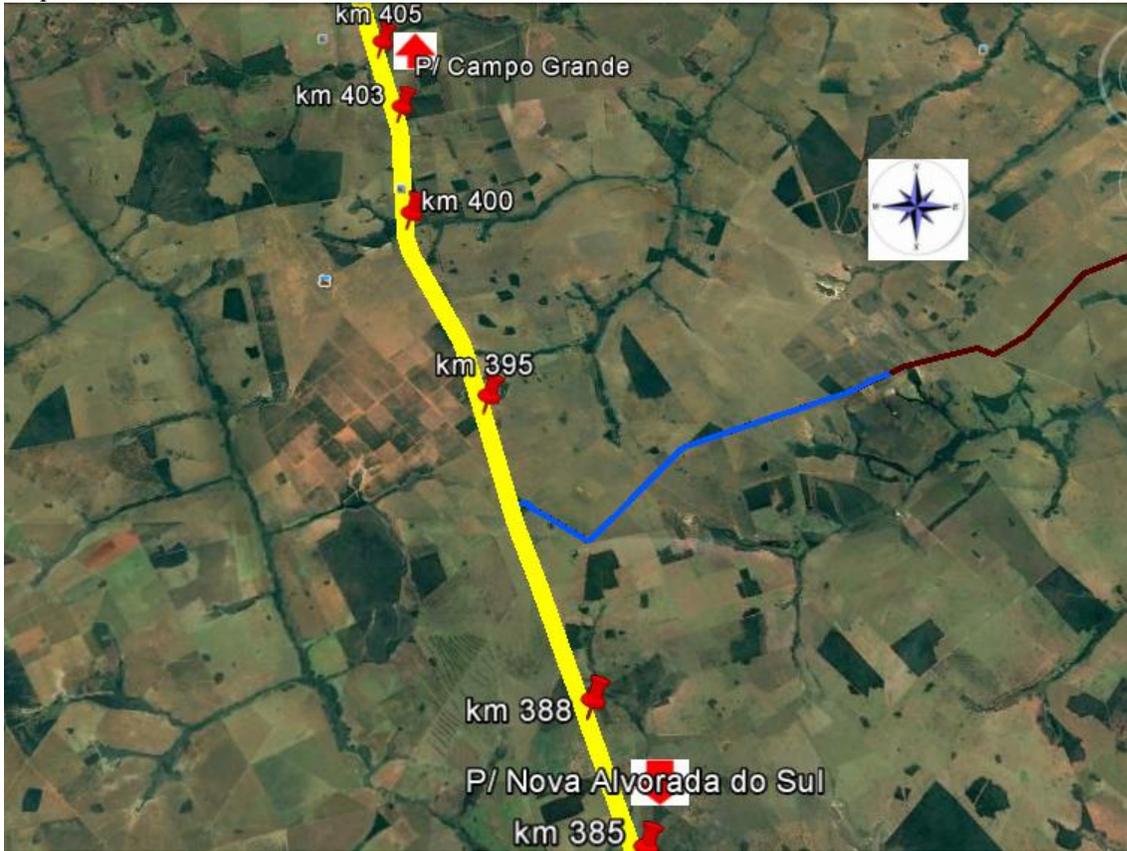
Fonte: Autor

Mapa A.1 - Rodovia BR-163/MS, trecho km 344 ao km 359



Fonte: Google Earth

Mapa A.2 - Rodovia BR-163/MS, trecho do km 388 ao km 403



Fonte: Google Earth

Mapa A.3 - Rodovia BR-262/MS, trecho do km 239 ao km 254



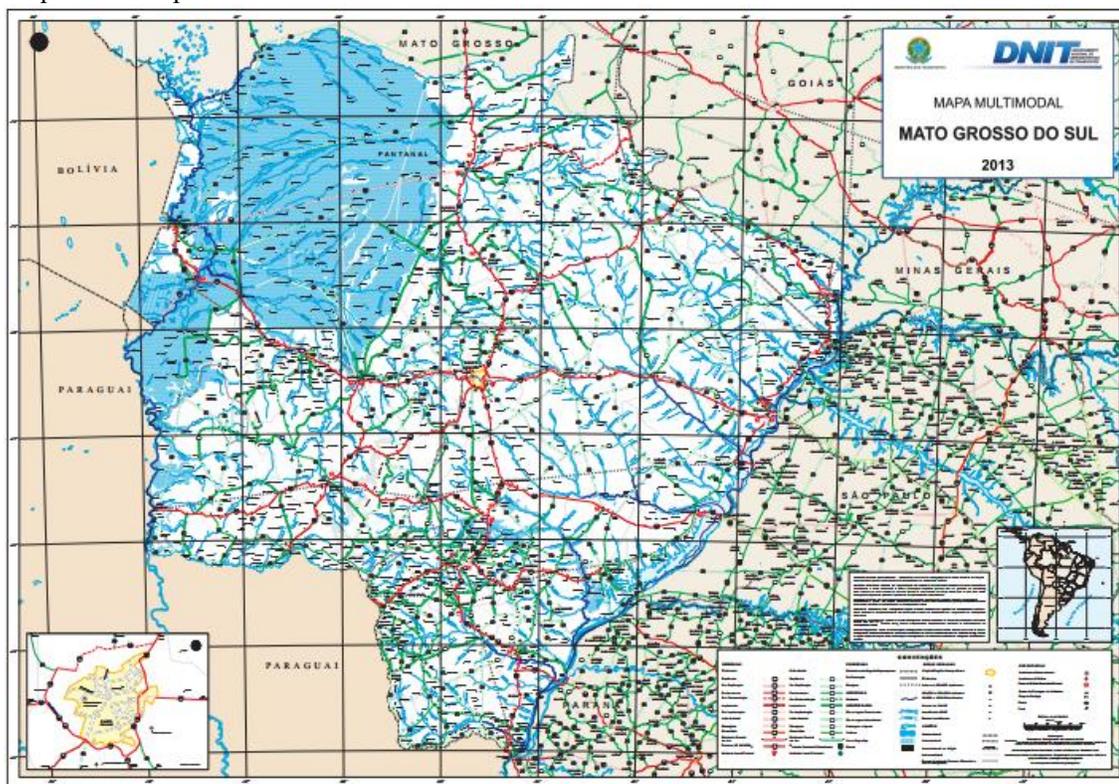
Fonte: Google Earth

Mapa A.4 - Rodovia BR-267/MS, trecho do km 40 ao km 55



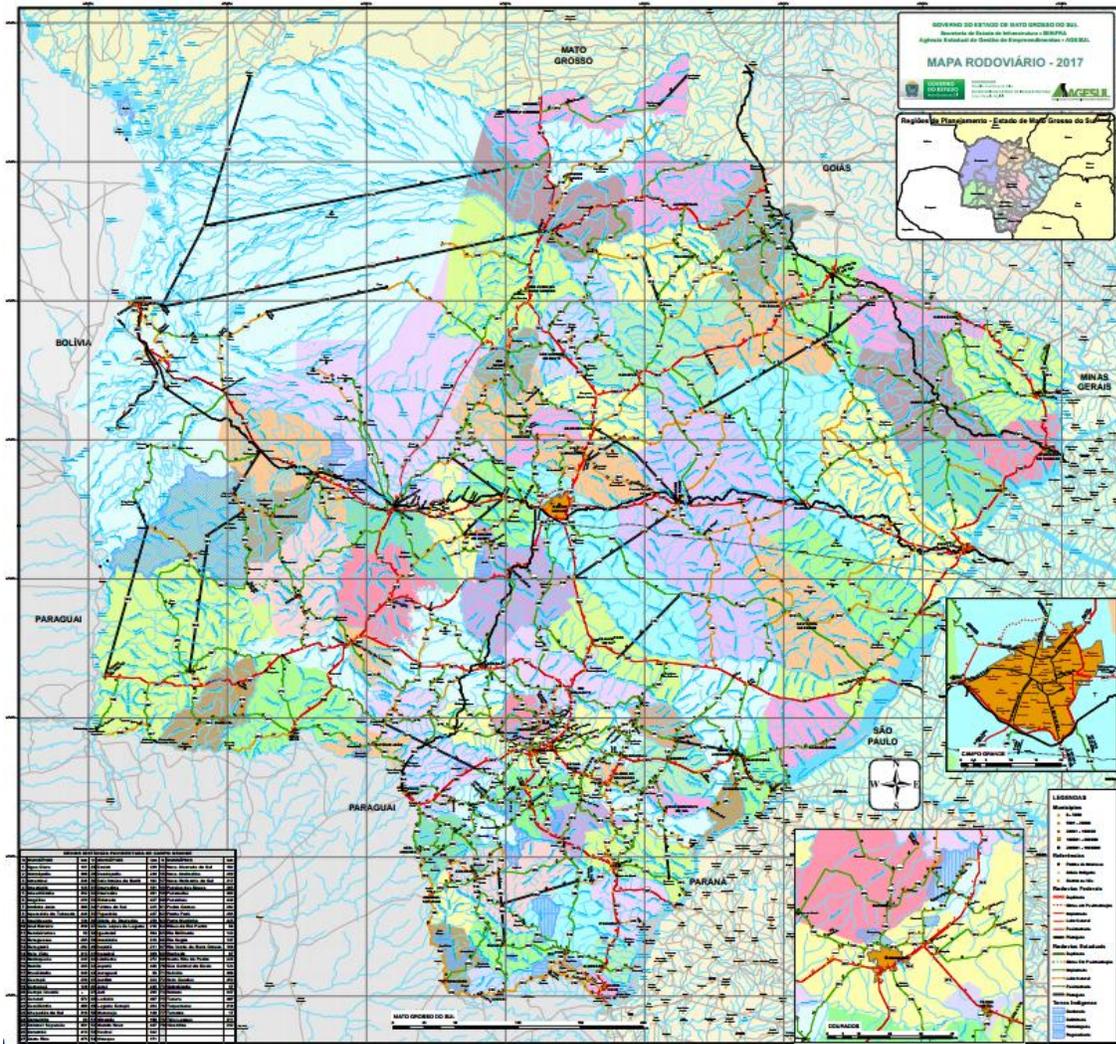
Fonte: Google Earth

Mapa A.5 - Mapa Multimodal do Estado de Mato Grosso do Sul



Fonte: DNIT

Mapa A.6 - Mapa Rodoviário do Estado de Mato Grosso do Sul



Fonte: AGESUL