

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**ALINE CALHEIROS ESPÍNDOLA**

**MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS  
FLEXÍVEIS PARA UMA RODOVIA NO RIO DE JANEIRO**

**Rio de Janeiro**

**2014**

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**ALINE CALHEIROS ESPÍNDOLA**

**MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS  
FLEXÍVEIS PARA UMA RODOVIA NO RIO DE JANEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador:  
Prof. Ben-Hur de Albuquerque e Silva – D.Sc.

Rio de Janeiro

2014

c 2014

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22.290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

625.7	Espindola, Aline Calheiros.
E77m	Modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis para uma Rodovia no Rio de Janeiro / Aline Calheiros Espindola; orientado por Ben-Hur de Albuquerque e Silva – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.
	163 p.: il.
	Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2014.
	1. Engenharia de Transportes – teses, dissertações. 2. Pavimento Flexível. 3. Desempenho do Pavimento. I. Espindola, A C. II. Modelos de Previsão de Desempenho de Pavimentos Flexíveis. III. Instituto Militar de Engenharia.

CDD 625.7

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**ALINE CALHEIROS ESPÍNDOLA**

**MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO DE PAVIMENTOS  
FLEXÍVEIS PARA UMA RODOVIA NO RIO DE JANEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Ben-Hur de Albuquerque e Silva – D.Sc.

Aprovada em 25 de Abril de 2014 pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof. Ben-Hur de Albuquerque e Silva – D.Sc. do IME – Presidente

---

Prof. Antônio Carlos Rodrigues Guimarães – D.Sc. do IME

---

Prof<sup>ª</sup>. Michéle Dal Toé Casagrande – D.Sc. da PUC/Rio

Rio de Janeiro

2014

Dedico este trabalho a meus familiares, pelo incentivo  
apoio e amor!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me proporcionar a oportunidade e condições de realizar um sonho.

Ao Instituto Militar de Engenharia – IME pela oportunidade de realização desse curso e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio financeiro.

A toda a minha família, em especial os meus pais, Afonso e Alice, por me darem condições de realizar essa conquista, pelo carinho, incentivo, motivação, preocupação, principalmente por serem exemplos a seguir. A vocês, o meu carinho e amor eterno.

A meus irmãos, Alisson e Alicia, meu agradecimento especial, pois sempre, se orgulharam de mim e confiaram em meu trabalho. A meus sobrinhos, Artur e Sofia, pela alegria de tantos momentos.

A Vovó Flora (*in memoriam*), Tia Sandra e Rute pelo carinho, incentivo e preocupação sempre demonstradas durante o período que estive longe. A Tia Help, pelo acolhimento e apoio no início dessa jornada.

Aos amigos Alline, Bruno, Celso, Gabriela, Hélio, Larissa e Pedro por compartilharem momentos maravilhosos e transformar a estadia no Rio de Janeiro mais agradável. A Ana, Helena, Ítalo, Larissa, Matos, Raisal e Ylana pelo incentivo, amizade e compreensão da ausência em muitos momentos.

Aos colegas de turma de mestrado, em especial ao Cap. Alexandre, Bernardo, Café, Camila, Celso, Fernando, Katty e Kíssyla por compartilharem as dificuldades e conquistas nessa etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Maj. Ben-Hur de Albuquerque, por me apresentar essa área de trabalho tão maravilhosa, que me abriu inúmeras portas de crescimento. Por acreditar na minha capacidade, sempre motivando e incentivando o avançar das atividades. Pela orientação, ensinamentos, paciência e compreensão nos momentos de ausência.

A todos os demais Professores do Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes, pois a conclusão deste estudo somente foi possível por meio da aquisição do conhecimento contido em suas aulas. A todos os funcionários do Instituto Militar de Engenharia, em especial ao Sgt. Eduardo Oazem, sempre presente e pronto para ajudar.

A concessionária pela disponibilização do seu banco de dados do pavimento, fato que viabilizou o desenvolvimento da dissertação, em especial ao diretor presidente e aos setores de engenharia e gestão contratual.

A coordenadora geral do IPR/DNIT Prepredigna Almeida e aos engenheiros Olimpio Moraes e Sandro Scarpelini da coordenação de planejamento do DNIT por mostrarem os estudos relacionados a desempenho do pavimento realizados IPR/DNIT, o panorama da SGP das rodovias federais no Brasil e por permitir a participação no curso de HDM-4 do DNIT, abrindo a visão sobre o SGP.

A Prof<sup>a</sup> Laura Motta por me apresentar as possibilidades de origem de dados para o desenvolvimento da dissertação e principalmente pela disponibilização dos contatos das mesmas.

Aos queridos gerentes, Danielle Brito e Tibério Augusto, pelo apoio e principalmente pela compreensão dos momentos de ausência.

A todos: colegas, amigos e familiares que torceram por mim e me incentivaram.

Aos membros da banca pela gentileza em aceitar o convite para examinar este trabalho.

*“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”*

*Eleanor Roosevelt*



## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÃO .....	11
LISTA DE TABELA.....	13
LISTA DE SIGLAS.....	15
LISTA DE EQUAÇÕES .....	17
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>22</b>
1.1 Considerações Iniciais.....	22
1.2 Objetivos .....	23
1.3 Justificativa.....	23
1.4 Estrutura do Trabalho .....	24
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
2.1 Sistema de Gerência do Pavimento - SGP .....	26
2.1.1 Definições e Conceitos do SGP.....	26
2.1.2 Objetivos / Principais Atividades .....	27
2.1.3 Composição / Sistemática do SGP .....	28
2.2 Histórico do SGP e Estudos de Desempenho de Pavimento.....	32
2.2.1 Long-Term Pavement Performance – LTPP/ FHWA.....	34
2.2.2 SGP e Estudos de Desempenho de Pavimento no Brasil.....	35
2.3 Deterioração dos Pavimentos .....	41
2.3.1 Desempenho e Serventia do Pavimento.....	41
2.3.2 Fatores que Influenciam a Deterioração / Desempenho do Pavimento .....	43
2.4 Modelos de Previsão de Desempenho .....	47
2.4.1 Irregularidade Longitudinal – IRI.....	50
2.4.2 Afundamento de Trilha de Roda – ATR.....	59
2.4.3 Deflexão .....	62

<b>3</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>65</b>
3.1	Concepção do Trecho de Estudo .....	65
3.2	Características Climáticas .....	66
3.2.1	Coleta de Dados.....	66
3.2.2	Característica da Região.....	67
3.2.3	Regime Pluviométrico da Região .....	68
3.3	Características do Tráfego.....	71
3.3.1	Metodologia para Cálculo no Número N.....	71
3.3.2	Apresentação dos Resultados de Tráfego .....	73
3.4	Características do Pavimento .....	76
3.4.1	Materiais e Espessuras .....	76
3.4.2	Intervenções Realizadas .....	85
<b>4</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>88</b>
4.1	Número Estrutural Corrigido (SNC).....	88
4.2	Comparação entre Equipamentos de Medição de Deflexão.....	88
4.3	Regressão Linear Múltipla .....	89
4.3.1	Abordagem Matricial para Regressão Linear Múltipla .....	90
4.3.2	Propriedades dos Estimadores de Mínimos Quadrados e Estimação de $\sigma^2$ .....	91
4.3.3	Teste para a Significância da Regressão .....	93
4.3.4	Intervalo de Confiança e Previsão para Regressão Linear Múltipla.....	94
4.4	Análise Estatística.....	95
4.5	Variáveis Dependentes.....	96
4.6	Variáveis Independentes .....	96
4.7	Critério de Expurgo de Dados .....	99
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>101</b>
5.1	Históricos de Desempenho.....	101

5.1.1	Histórico de Afundamento de Trilha de Roda – ATR .....	101
5.1.2	Histórico de Deflexão (FWD) .....	104
5.1.3	Histórico de Irregularidade – IRI.....	107
5.2	Regressão de Deflexão .....	109
5.3	Regressão de Irregularidade .....	113
5.4	Comparação entre Modelos.....	119
5.4.1	Comparação dos Modelos de Deflexão .....	119
5.4.2	Comparação dos Modelos de Irregularidade.....	123
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>126</b>
6.1	Conclusões .....	126
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros .....	127
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>129</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>135</b>
8.1	Anexo A – Modulo de Resiliência.....	136
8.2	Anexo C – Histórico de Deflexão.....	144
8.3	Anexo D – Histórico de Irregularidade Longitudinal.....	148
8.4	Anexo E – Comparativo entre Modelos de Deflexão .....	151
8.5	Anexo F – Intervalo de Predição de Deflexão.....	154
8.6	Anexo G – Comparativo entre os Modelos de Irregularidade.....	157
8.7	Anexo H – Intervalo de Predição da Irregularidade .....	160

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 1 - Exemplo de concepção de um banco de dados corporativo (BDC). Fonte: Cunha 2008. .....	30
FIG. 2 - Macro-fluxo de um SGP. (Fonte: Zheng Li, 2005).....	32
FIG. 3 - Conceito de serventia-desempenho (modificada de HAAS <i>et al.</i> , 1994).....	43
FIG. 4 - Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas (Fonte: IPR-720, 2006).....	51
FIG. 5 - Curva de degradação do Pavimento. (Fonte: IPR-720, 2006).....	53
FIG. 6 - Tipos de curvas de afundamento nas trilhas de roda considerando os efeitos de umidade e conservação. (Fonte: IPR-720, 2006) .....	60
FIG. 7 - Deformação das camadas do pavimento .....	62
FIG. 8 – Concepção do Trecho de Estudo .....	65
FIG. 9 - Precipitação Totais Anuais .....	71
FIG. 10 - Precipitações Mensais .....	71
FIG. 11 - Categorias de veículos utilizados para Cálculo do número N .....	73
FIG. 12 - Volume Classificatório do Tráfego .....	74
FIG. 13 - Taxa de Crescimento ao longo dos anos .....	76
FIG. 14 - Estrutura do Pavimento sentido JF.....	77
FIG. 15 - Estrutura do Pavimento sentido RJ. ....	77
FIG. 16 - Esquemático do Funcionamento do GPR. (Fonte: Site Dynatest).....	77
FIG. 17 - Exemplo de Levantamento em GPR. (Fonte: Site Dynatest) .....	78
FIG. 18 - Abertura das Trincheiras na Rodovia .....	80
FIG. 19 - Realização dos Ensaios dos Materiais Coletados .....	81
FIG. 20 - Comparativo das Bacias de Deflexão.....	83
FIG. 21 - Telas do Programa do Calculo do MR .....	84
FIG. 22 - Intervenções realizadas em 2004/2005.....	86
FIG. 23 – Intervenções realizadas em 2007/2008 .....	86
FIG. 24 – Intervenções realizadas em 2009.....	86
FIG. 25 – Intervenções realizadas em 2010.....	87
FIG. 26 – Intervenções realizadas em 2011 .....	87
FIG. 27 – Intervenções realizadas em 2012.....	87
FIG. 28 – Média dos ATR nas Faixas de Rolamento.....	101

FIG. 29 - ATR nas Faixas de Rolamento no Sentido RJ .....	102
FIG. 30 - ATR nas Faixas de Rolamento no Sentido JF .....	104
FIG. 31 - Evolução das deflexões por faixa e sentido. ....	105
FIG. 32 - Média do Módulo de Resiliência do Subleito por faixa .....	106
FIG. 33 – Evolução da deflexão nos segmentos, sentido JF.....	106
FIG. 34 - Evolução da deflexão nos segmentos, sentido RJ.....	107
FIG. 35 - Evolução da irregularidade por faixa e sentido.....	108
FIG. 36 - Evolução da irregularidade no segmento, sentido JF .....	108
FIG. 37 - Evolução da irregularidade no segmento, sentido RJ .....	109
FIG. 38 - Linha de tendência de irregularidade .....	116
FIG. 39 – Comparação dos modelos de previsão da deflexão. ....	120
FIG. 40 - Comparação dos modelos previsão de deflexão sentido JF.....	121
FIG. 41 - Comparação dos modelos previsão de deflexão sentido RJ. ....	122
FIG. 42 - Comparação dos modelos de previsão de irregularidade. ....	123
FIG. 43 - Comparação dos modelos previsão de irregularidade sentido JF. ....	124
FIG. 44 - Comparação dos modelos previsão de irregularidade sentido RJ.....	125

## LISTA DE TABELAS

TAB. 1 - Periodicidade de cada levantamento (Fonte:Manual de Trecho Monitorado, 2010)	40
TAB. 2 - Apresentação dos modelos desenvolvidos .....	49
TAB. 3 - Origem dos dados dos modelos .....	50
TAB. 4 - Condições de Superfície do Pavimento .....	53
TAB. 5 - Codificação para a variável independente C .....	58
TAB. 6 - Resumo das causas e tipos de deformação permanente.....	60
TAB. 7 - Informações Cadastrais da Estação Pluviométricas de Xerém .....	66
TAB. 8 - Dados climatológicos para Rio de Janeiro .....	67
TAB. 9 - Precipitações e Número de Dias de Chuva por Ano.....	71
TAB. 10 - Fatores de Carga da AASHTO e do USACE .....	72
TAB. 11 - Volume Classificatório do Tráfego .....	74
TAB. 12 - Apresenta os valores do Número N e Taxa de Crescimento.....	75
TAB. 13 - Taxa de Crescimento nos Períodos.....	75
TAB. 14 - Espessuras dos Segmentos por GPR.....	79
TAB. 15 - Característica do Pavimento nas Trincheiras .....	81
TAB. 16 - Legenda do diagrama unifilar das intervenções .....	86
TAB. 17 – Análise de variância para testar a significância da regressão na regressão múltipla .....	94
TAB. 18 - Ano base do IRI.....	98
TAB. 19 - Ano base da Deflexão .....	98
TAB. 20 - Intervalo de tempo entre $IRI_{med0}$ e $IRI$ .....	99
TAB. 21 - Intervalo de tempo entre $D_{med0}$ e $D_{med}$ .....	99
TAB. 22 – Média do Afundamento de Trilha de Roda em ambos os sentidos.....	101
TAB. 23 - Média do Afundamento de Trilha de Roda (mm) por km sentido RJ .....	102
TAB. 24 - Média do Afundamento de Trilha de Roda por km sentido JF .....	103
TAB. 25 – Evolução das deflexões por faixa e sentido.....	105
TAB. 26 - Média da irregularidade em ambos os sentidos.....	107
TAB. 27 - Resumo dos Resultados da Regressão 1 – Deflexão .....	110
TAB. 28 - Resumo dos Resultados da Regressão 2 – Deflexão .....	111
TAB. 29 - Resumo dos Resultados da Regressão 3 – Deflexão .....	112

TAB. 30 - Verificação da Regressão de Deflexão .....	112
TAB. 31 - Variáveis contempladas na previsão de deflexão .....	113
TAB. 32 - Resumo dos Resultados da Regressão 1 – Irregularidade.....	114
TAB. 33 - Resumo dos Resultados da Regressão 2 – Irregularidade.....	115
TAB. 34 - Variáveis contempladas na previsão de irregularidade.....	115
TAB. 35 - Verificação da Regressão 2 de Irregularidade.....	116
TAB. 36 - Resumo dos Resultados da Regressão 3 – Irregularidade.....	117
TAB. 37 - Resumo dos Resultados da Regressão 4 – Irregularidade.....	118
TAB. 38 - Variáveis contempladas na previsão de irregularidade.....	118
TAB. 39 - Verificação da Regressão 2 de Irregularidade.....	119
TAB. 40 – Eficiência da regressão em prever as deflexões de 2013 .....	120
TAB. 41 - Eficiência da regressão em prever as irregularidades de 2013.....	124

## LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANA	Agência Nacional de Águas
ATR	Afundamento de Trilha de Roda
BDC	Banco de Dados Corporativo
BGR	Brita Graduada
BIRD	Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente - Concreto Asfáltico
CGPLAN	Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CPGP	Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos
DFWD	Deflexão com FWD
$D_{med0}$	Deflexão Inicial
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DVB	Deflexão com Viga Benkelman
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fator de Carga
FE f	Fator de Eixos
FEC	Fator de Equivalência de Carga
FHWA	Federal Highway Administration
Fv	Fator de Veículo
FWD	Falling Weight Deflectometer
GPR	Ground Penetrating Radar
HDM	Highway Development and Management
ICPF	Índice de Condição do Pavimento Flexível
IGG	Índice de Gravidade Global
IME	Instituto Militar de Engenharia
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	Índice de Irregularidade Internacional



IRI <sub>med0</sub>	Irregularidade Longitudinal Inicial
LTPP	Long-Term Pavement Performance
LV	Levantamento Visual
LVC	Levantamento Visual Contínuo
MR	Modulo de Resiliência
MRAF	Micro-Revestimento Asfáltico a Frio
PCI	Índice de Condição do Pavimento
PER	Programa de Exploração da Rodovia
PICR	Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários
PMS	Pavement Management System
PNV	Plano Nacional de Viação
PREMEF	Projeto de Transporte de Rodoviárias
PRO	Procedimento
QI	Quociente de Irregularidade
REDE	Rede Temática de Asfaltos
RMS	Root Mean Square Error
SAC	Sistema de Administração da Conservação
SAM	Sistema de Acompanhamento da Manutenção
SAT	Sistema de Acompanhamento do Tráfego
SER	Sistema Rodoviário Estadual
SGO	Sistema de Gerenciamento das Obras de Arte Especiais
SGR	Solo Estabilizado Granulometricamente
SHRP	Strategic Highway Research Program
SIB	Sistema de Informações Básicas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIH	Sistema de Informações Hidrológicas
SNC	Número Estrutural Corrigido
SNV	Sistema Nacional de Viação
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
TR	Trincamento
USACE	United State Army Corps Enginners
VDM	Volume Diário Médio
Vt	Vida de Projeto Pavimento

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQ. 1- Correlação entre IRI em QI .....	51
EQ. 2 - Modelo de Irregularidade - Queiroz (1984)_a.....	53
EQ. 3 - Modelo de Irregularidade - Queiroz (1984)_b.....	53
EQ. 4 - Modelo de Irregularidade - Queiroz (1984)_c.....	53
EQ. 5 - Modelo de Irregularidade - Queiroz (1984)_d.....	54
EQ. 6 - Modelo de Irregularidade - Queiroz (1984)_e.....	54
EQ. 7 - Modelo de Irregularidade - Paterson (1987).....	54
EQ. 8 - Modelo de Irregularidade - Marcon (1996)_a .....	55
EQ. 9 - Modelo de Irregularidade - Marcon (1996)_b .....	55
EQ. 10 - Modelo de Irregularidade - Basílio (2002) .....	55
EQ. 11 - Modelo de Irregularidade - Yshiba (2003)_a.....	55
EQ. 12 - Modelo de Irregularidade - Yshiba (2003)_b .....	56
EQ. 13 - Modelo de Irregularidade - Lerch (2003) .....	56
EQ. 14 - Modelo de Irregularidade - Nakahara (2005)_a.....	56
EQ. 15 - Modelo de Irregularidade - Nakahara (2005)_b.....	57
EQ. 16 - Modelo de Irregularidade - Nakahara (2005)_c.....	57
EQ. 17 - Modelo de Irregularidade - Nakahara (2005)_d.....	57
EQ. 18 - Modelo de Irregularidade - Benevides (2006)_a .....	57
EQ. 19 - Modelo de Irregularidade - Benevides (2006)_b .....	57
EQ. 20 - Modelo de Irregularidade - Albuquerque (2007).....	58
EQ. 21 - Modelo de Irregularidade - Vitorello (2008) .....	58
EQ. 22 - Modelo de Afundamento de Trilha de Roda- Paterson (1987).....	61
EQ. 23 - Modelo de Afundamento de Trilha de Roda - Basílio (2002) .....	61
EQ. 24 - Modelo de Afundamento de Trilha de Roda - Vitorello (2008) .....	61
EQ. 25 - Modelo de Deflexão - Marcon (1996)_a .....	63
EQ. 26 - Modelo de Deflexão - Marcon (1996)_b.....	63
EQ. 27 - Modelo de Deflexão - Basílio (2002).....	63
EQ. 28 - Modelo de Deflexão - Yshiba (2003)_a .....	63
EQ. 29 - Modelo de Deflexão - Yshiba (2003)_b .....	64
EQ. 30 - Modelo de Deflexão - Albuquerque (2007)_a.....	64

EQ. 31 - Modelo de Deflexão - Albuquerque (2007)_b.....	64
EQ. 32 - Modelo de Deflexão - Vitorello (2008).....	64
EQ. 33 - Volume Médio Diário.....	71
EQ. 34 - Volume Total de Tráfego.....	71
EQ. 35 - Número N .....	71
EQ. 36 - Fator de Veículo .....	71
EQ. 37 - Fatores de Carga da AASHTO - Eixo Simples de rodagem simples .....	72
EQ. 38 - Fatores de Carga da USACE - Eixo Simples de rodagem simples_.....	72
EQ. 39 - Fatores de Carga da AASHTO - Eixo Simples de rodagem dupla .....	72
EQ. 40 - Fatores de Carga da USACE - Eixo Simples de rodagem dupla .....	72
EQ. 41 - Fatores de Carga da AASHTO - Eixo Tandem duplo de rodagem dupla .....	72
EQ. 42 - Fatores de Carga da USACE - Eixo Tandem duplo de rodagem dupla P<11t.....	72
EQ. 43 - Fatores de Carga da USACE - Eixo Tandem duplo de rodagem dupla P>11t.....	72
EQ. 44 - Fatores de Carga da AASHTO - Eixo Tandem triplo de rodagem dupla.....	72
EQ. 45 - Fatores de Carga da USACE - Eixo Tandem triplo de rodagem dupla P< 8t.....	72
EQ. 46 - Fatores de Carga da USACE - Eixo Tandem triplo de rodagem dupla P>18t.....	72
EQ. 47 - Root Mean Square Error.....	83
EQ. 48 - Número Estrutural Corrigido .....	88
EQ. 49 - Correlação entre a Viga Benkelman e FWD .....	89
EQ. 50 - Modelo de Regressão Múltipla .....	90
EQ. 51 - Modelo de Regressão Múltipla (em notação matricial) .....	90
EQ. 52 - Função L.....	90
EQ. 53 - Função para obter o Estimador de Mínimos Quadrados $\hat{\beta}$ .....	91
EQ. 54 - Equações Normais de Mínimos Quadrados (forma matricial) .....	91
EQ. 55 - Estimativa de Mínimo Quadrados de $\beta$ .....	91
EQ. 56 - Notação Matricial do Modelo Ajustado .....	91
EQ. 57 - Resíduo .....	91
EQ. 58 - Estimadores Não Tendenciosos dos Coeficientes de Regressão .....	91
EQ. 59 - Variâncias e Covariância - Exemplo k=2 regressores.....	92
EQ. 60 - Variâncias e Covariância .....	92
EQ. 61 - Covariância de $\hat{\beta}$ .....	92
EQ. 62 - Soma Quadrática dos Resíduos.....	92
EQ. 63 - Média Quadrática Residual.....	92

EQ. 64 - Soma Quadrática Resíduo_a .....	93
EQ. 65 - Soma Quadrática Resíduo_b.....	93
EQ. 66 - Variância.....	93
EQ. 67 - Soma Quadrática Total.....	93
EQ. 68 - Soma Quadrática Resíduo_c .....	94
EQ. 69 - Soma Quadrática Resíduo_d.....	94
EQ. 70 - Soma Quadrática da Regressão.....	94
EQ. 71 - Estimador de mínimos quadrados $\hat{\beta}$ normalmente distribuído .....	94
EQ. 72 - Coeficiente de Regressão $\beta_j$ .....	95
EQ. 73 - Estimativa da Futura Observação.....	95
EQ. 74 - Intervalo de Previsão .....	95
EQ. 75 - Modelo de Deflexão desenvolvido na dissertação .....	113
EQ. 76 - Modelo de Irregularidade desenvolvido (sem o refino dos dados) .....	115
EQ. 77 - Modelo de Irregularidade desenvolvido na dissertação .....	118

## RESUMO

Pesquisas Rodoviárias Brasileiras mostraram, em 2012, que o investimento público em rodovias no país foi insuficiente para solucionar os problemas de infraestrutura rodoviária. O baixo nível de investimento na manutenção afeta a qualidade das rodovias, fator que origina problemas como o aumento do custo operacional do transporte e a elevação do número de acidentes. A utilização do Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) pelos organismos rodoviários e concessionárias surgiu como uma alternativa para reversão do quadro atual do setor e proporcionar uma melhoria no desempenho dos pavimentos. Os modelos de previsão de desempenho do pavimento são uma das principais ferramentas de um SGP. No entanto, pouca atenção tem se dado para o desenvolvimento, calibração e validação dos modelos. Em geral, adotam-se modelos genéricos ou obtidos em condições diferentes das existentes na malha administrada. O conhecimento do modelo que melhor representa a situação real de desempenho de pavimento permitirá ao sistema de gerência de pavimentos melhores condições de realizar o planejamento de manutenções nas vias e maior eficácia na aplicação dos recursos. A pesquisa é referente ao desenvolvimento de equações para prever a deflexão e a irregularidade do pavimento flexível de uma rodovia federal. As equações desenvolvidas apresentaram as melhores aproximações, ao se comparar os dados reais e os previstos por modelos, reforçando a importância do desenvolvimento de modelos específicos para as rodovias, principalmente para instituições que trabalham gerenciando em nível de projeto uma rodovia. Fator importante observado foi a necessidade de montar um banco de dados robusto e com informações confiáveis, para minimizar os erros incorporados na regressão, aumentar a quantidade de variáveis independente para a elaboração de modelos mais confiáveis e efetuar a análise com base no intervalo de confiança.

## ABSTRACT

Brazilian Road Researches showed, in 2012, that public investment in highways in the country was insufficient to solve problems of road infrastructure. The low level of investment in maintenance affects the quality of the roads, this factor causes problems such as increasing the operating costs of transportation and the increased number of accidents. Use of Pavement Management System (PMS) by road agencies and concessionaires arise as an alternative to reverse the current situation of the sector and to provide an improvement in performance of pavements. Models performance prediction of the pavement are one of the main tools of a PMS. However, little attention has been given to the development, calibration and validation of those models. In general, it is adopted generic models and models obtained in completely different conditions existing in administered highways. The knowledge of the model which best represents the actual situation of a pavement performance, will allow the pavement management system make better planning of maintenance on roads and to implementate more efficiently the resources. This research is the development of equations to predict the deflection and irregularity of flexible pavement in a federal highway. The equations developed showed best approaches, comparing with actual data and the values predicted by models, reinforcing the importance of developing specific models for highways, mainly for institutions working on project level managing. An important factor noted was the need to mount a robust database and reliable informations to minimize errors incorporated in the regression, increasing the number of independent variables to the development of more reliable models and to execute the analysis based on trustfull interval.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Pesquisa Confederação Nacional de Transporte (CNT) de Rodovias 2012 mostrou que o investimento público em rodovias no país é insuficiente para solucionar os gargalos de infraestrutura do setor. O baixo nível de investimento afeta a qualidade das rodovias, o que pode gerar problemas como o aumento do custo operacional do transporte e a elevação do número de acidentes.

O Plano Plurianual para 2012/2015 prevê investimentos de R\$ 82,7 bilhões para infraestrutura rodoviária. Entretanto, até outubro de 2012, apenas R\$ 6,9 bilhões foram investidos em rodovias. Mesmo se o valor total previsto for investido até 2015, ainda assim o país não eliminará os gargalos do setor. Segundo o Plano CNT de Transporte e Logística 2011, são necessários R\$ 177,56 bilhões para solucionar os atuais problemas das rodovias do Brasil, incluindo construção e restauração, aumento de capacidade e melhorias viárias.

Uma alternativa para reversão desse quadro e conseqüente melhoria no desempenho dos pavimentos, é a implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP) pelos organismos rodoviários.

Os Modelos de Previsão de Desempenho são uma das principais ferramentas de um SGP. Lytton *et al. apud* Soncim (2011) afirmaram que eles são absolutamente essenciais à gerência de pavimentos, tanto em nível de rede quanto em nível de projeto, seja para decisões técnicas ou econômicas.

No entanto, especificamente no Brasil, pouca atenção tem se dado para a calibração e validação desses modelos. Acaba-se adotando modelos genéricos, até mesmo internacionais, obtidos em condições totalmente diferentes das existentes na malha administrada.

Outro fato que não pode ser ignorado é a restrição de recursos para a coleta de dados e informações necessários para o gerenciamento de uma rede de rodovias no Brasil. Por ser um país de grande área territorial e dependente de extensa malha rodoviária, necessita de mudanças

no sentido de se incentivar as pesquisas, os investimentos e também a cultura de coleta e manutenção das informações necessárias para o gerenciamento de suas rodovias.

## 1.2 OBJETIVOS

A partir dos dados disponíveis do trecho em estudo, esta pesquisa pretende atingir os seguintes objetivos:

- a. Apresentar as condições estruturais e funcionais do pavimento, conformando os dados obtidos em levantamentos efetuados em diferentes épocas;
- b. Analisar o comportamento dos pavimentos que compõem o trecho em estudo através da determinação de modelos de evolução dos defeitos em termo deflexão e irregularidade longitudinal;
- c. Comparar as linhas de tendências obtidas nesta pesquisa com os modelos de previsão de desempenho existentes na literatura;

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho se justifica por revelar a importância dos modelos de previsão de desempenho de pavimentos para o sistema de gerência de pavimentos, essenciais para o planejamento das atividades de manutenção e reabilitação, assim como para a estimativa dos recursos necessários para a preservação das rodovias, permitindo assim uma maior eficácia nos investimentos dos recursos para essas atividades.

Os modelos matemáticos de desempenho desenvolvidos nas últimas décadas são capazes de simular o comportamento do pavimento ao longo de sua vida útil sob os efeitos do clima, do tráfego, características do pavimento e das políticas de conservação e manutenção. No entanto, a eficácia desses modelos de previsão depende fundamentalmente da qualidade das informações obtidas no campo e da interpretação e ajustes desses dados.



A previsão do comportamento do pavimento ao longo do tempo torna-se uma arma poderosa nas tomadas de decisão quanto às futuras necessidades da rodovia.

Nos Programas de Exploração da Rodovia (PER) da primeira etapa de concessões rodoviárias, além dos limites máximos dos parâmetros de desempenho do pavimento, também é exigência a implantação de um Sistema de Gerência de Pavimento (SGP) e a elaboração dos próprios modelos de desempenho do pavimento.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em seis capítulos, descritos a seguir:

O assunto em questão é apresentado neste Capítulo 1, enfatizando a importância do estudo para o adequado uso do Sistema de Gerência de Pavimentos. Em seguida, estão listados os objetivos da pesquisa.

O Capítulo 2 descreve o estudo prévio existente sobre o tema deste trabalho, através de uma revisão bibliográfica estruturada nos tópicos referentes a sistema de gerência de pavimentos, estudos de desempenhos e modelos de previsão de desempenho, descrevendo, os principais modelos desenvolvidos no Brasil.

No Capítulo 3 é apresentado o cenário do estudo, descrevendo as características da rodovia, como estrutura do pavimento, materiais que a compõe, intervenções realizadas, carga aplicada devido ao tráfego passante e características climáticas da região.

A seguir, no Capítulo 4 é detalhado o método empregado, ou seja: a metodologia de análise estatística, as variáveis dependentes e independentes consideradas para a regressão e as correlações necessárias para aplicação dos modelos.

Os resultados obtidos pelo conjunto de informações e suas análises estão apresentados no Capítulo 5. Considerando o histórico de dados dos parâmetros estudados, analisando o comportamento dos mesmos ao longo do tempo, as regressões dos parâmetros de deflexão e irregularidade, com a análise estatística considerando as variáveis disponíveis e selecionando as de maior significância, e o comparativo entre a EQ. proposta e os modelos disponíveis na literatura técnica.

O Capítulo 6 é referente às conclusões desta dissertação, obtidas após uma minuciosa análise dos resultados, e sua relação com o prévio conhecimento existente na literatura técnica. Em seguida, são sugeridos alguns temas relacionados à presente linha de pesquisa, para que possa ser dada continuidade ao trabalho desenvolvido.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão de literatura enfoca os temas principais da pesquisa, sendo eles Sistema de Gerencia de Pavimento (SGP), desempenho de pavimento e modelos de previsão de deterioração / desempenho de pavimentos.

### 2.1 SISTEMA DE GERÊNCIA DO PAVIMENTO - SGP

#### 2.1.1 DEFINIÇÕES E CONCEITOS DO SGP

A definição de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é distinta entre os especialistas, entretanto mantem os princípios básicos e conceitos alinhados. Destacam-se as definições apresentadas a seguir:

- Consiste em um conjunto amplo e coordenado de atividades associadas com planejamento, projeto, construção, manutenção, avaliação e pesquisa de pavimentos (Haas e Hudson (1978) *apud* Danieleski, 2004).
- Constitui-se de um conjunto de ferramentas que auxiliam na administração da infraestrutura rodoviária. Envolvem, num sentido mais amplo, todas as atividades relacionadas ao projeto, construção, manutenção, reabilitação e pesquisa na área de pavimentos (QUEIROZ, 1984).
- É o conjunto de ferramentas ou métodos que tem por finalidade auxiliar os tomadores de decisão na busca de estratégias viáveis, para avaliar, prover e manter os pavimentos em uma condição aceitável durante um determinado período de tempo (AASHTO, 1993).
- Haas *et al.* (1994) afirmam que a gerência de pavimentos é um processo que abrange todas as atividades envolvidas com o propósito de fornecer e manter pavimentos em um nível adequado de serviço. Envolve desde a obtenção inicial de informações para o

planejamento e elaboração de orçamento até a monitorização periódica do pavimento em serviço, passando pelo projeto e construção do pavimento e sua manutenção e reabilitação ao longo do tempo.

- A ideia geral de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) é aumentar a eficiência das decisões tomadas nas administradoras rodoviárias, expandir seu escopo, proporcionar uma retroalimentação das consequências destas decisões e assegurar a consistência das decisões tomadas em diferentes níveis, dentro da mesma organização (HAAS *et al*, 1994).
- Sistema de gerência de pavimentos engloba um conjunto de atividades destinadas a ajudar a seleção de medidas mais adequadas para planejar, projetar, construir e manter pavimentos visando a melhor utilização de recursos disponíveis (MARCON, 1996).
- Segundo Fernandes Jr. (2001), um Sistema de Gerência de Pavimentos visa à obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Deve ainda possibilitar a melhoria das condições dos pavimentos e a redução dos custos de manutenção e reabilitação e dos custos de operação dos veículos.
- Constitui-se atualmente em importante ferramenta do administrador para traçar a forma mais eficaz da aplicação dos recursos públicos disponíveis, nas rodovias que necessitam de recuperação em diversos níveis de intervenção, de sorte a responder às necessidades dos usuários dentro de um plano estratégico que garanta o alcance de um maior número de quilômetros recuperados (IPR-745/DNIT, 2011).

### 2.1.2 OBJETIVOS / PRINCIPAIS ATIVIDADES

RTAC (1977) *apud* Marcon (1996) destaca que o maior objetivo do SGP é o atendimento aos tomadores de decisão, ou seja, as informações devem chegar de forma clara, concisa e personalizada. Os técnicos devem compreender a linguagem de seus dirigentes e emitir relatórios com informações gerenciais palatáveis e suficientes para se tomar uma decisão (CUNHA, 2008).

Resumidamente, os objetivos de um SGP podem ser os seguintes (HAAS *et al*, 1994; SHAHIN, 1994; CUNHA, 1989; MARCON, 1996; FERNANDES JR, 1996):

- Facilitar a coordenação das atividades dentro do órgão administrador da rede;
- Planejar os melhoramentos da rede de acordo com o orçamento disponível;
- Determinar os efeitos, quanto aos custos dos usuários e do órgão responsável, quando a manutenção for protelada;
- Priorizar ações de manutenção e/ou reabilitação baseada na comparação dos custos e benefícios gerados por elas;
- Implementar e manter uma ampla e eficiente base de dados;
- Diagnosticar o estado dos pavimentos da rede e identificar os trechos que necessitam de intervenção;
- Selecionar métodos de manutenção que mais se adaptem às necessidades da rede;
- Desenvolver modelos de previsão de desempenho dos pavimentos da rede a partir do contínuo processo de coleta e análise de dados dos pavimentos a compõem;
- Gerar critérios de decisão e priorização consistentes;
- Prever a condição futura dos pavimentos, com e sem manutenção, a partir do uso dos modelos de desempenho desenvolvidos para a rede;
- Proporcionar uma reavaliação das decisões a partir da análise de suas consequências;
- Determinar as consequências dos diferentes níveis de investimentos nas condições dos pavimentos;
- Fornecer elementos para decisões políticas.

### 2.1.3 COMPOSIÇÃO / SISTEMÁTICA DO SGP

Paterson (1987) destaca que um SGP pode ter vários níveis de complexidade, que é baseado em duas premissas: (1) sistema de informação e (2) sistema de decisão.

Semelhante a Paterson (1987), Vitorello (2008) divide a estrutura de um SGP em dois grandes componentes:

- Sistema de informação: responsável pela coleta, organização e gerência dos dados e informações;

- Sistemas de suporte à decisão: compreende os módulos de aplicação para processar os seus “inputs” e para propiciar a informação na qual as decisões serão embasadas e, em último estágio, implementadas.

Um SGP é composto por diversos grupos de informações (DOMINGUES, 1999). São eles:

- Inventário da rede viária;
- Avaliação das condições dos pavimentos;
- Estrutura;
- Tráfego (volumes e carregamentos);
- Aspectos Financeiros;
- Atividades;
- Recursos.

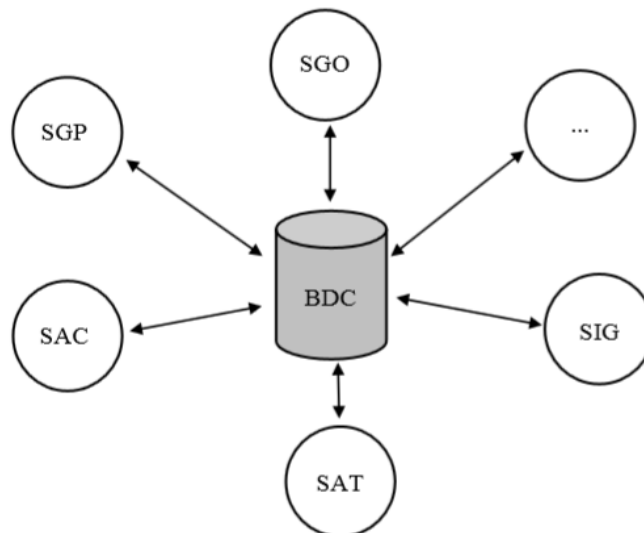
Através da obtenção dessas informações é possível orientar os investimentos, definindo as intervenções e serviços prioritários para a manutenção da via. A informação é a base para todas as decisões e grande parte das atividades é desenvolvida no setor de infraestrutura viária. A tomada de decisões sólidas, por sua vez, depende de informações confiáveis, relevantes, acessíveis e viáveis para que julgamentos racionais e embasados possam ser feitos. (VITORELLO, 2008)

A decisão de se restaurar um pavimento pode ser tomada a partir de uma série de parâmetros indicativos, tais como: custos de conservação elevados, necessidade muito frequente de intervenções, irregularidade elevada e degradação de superfície acentuada. Um dos benefícios que vêm sendo obtidos com a aplicação de SGP em todo o mundo é a determinação do momento ótimo, em termos econômicos, para se executar a restauração dos pavimentos de uma rede viária (RODRIGUES, 2003).

Segundo Cunha (2008) é necessário a implementação de um banco de dados corporativo (BDC) capaz de armazenar, organizar e validar adequadamente as informações. Dentre os diversos sistemas que se inter-relacionam com o SGP, destacam-se:

- a. Sistema Rodoviário, baseado no Sistema Rodoviário Estadual (SER) ou no Plano Nacional de Viação (PNV);

- b. Sistema de Informações Básicas (SIB), que mantém os cadastros das rodovias, como: histórico e estrutura do pavimento, pontos notáveis, etc.;
- c. Sistema de Administração da Conservação (SAC) ou Sistema de Acompanhamento da Manutenção (SAM) referente às ações de manutenção rotineira nas estradas ou ruas;
- d. Sistema de Gerenciamento das Obras de Arte Especiais (SGO);
- e. Sistema de Acompanhamento do Tráfego (SAT), que mantém e monitora as informações de tráfego;
- f. Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde se estabelecem a base cartográfica e as geo-informações;
- g. Plano Diretor Rodoviário, onde são traçadas as políticas macro de desenvolvimento da infraestrutura, etc.



**FIG. 1 - Exemplo de concepção de um banco de dados corporativo (BDC). Fonte: Cunha 2008.**

Um SGP deve ser atualizado, considerar estratégias alternativas, basear decisões sobre atributos, critérios e restrições quantificáveis e usar retroalimentação da informação com respeito às consequências das decisões tomadas (QUEIROZ *et al.*, 1992).

### 2.1.3.1 SUBSISTEMAS DO SGP

Um Sistema de Gerência de Pavimentos é constituído, usualmente, pelos seguintes componentes (Cardoso *et al.*, 2000; Rodrigues, 2003; AASHTO, 2001):

- Banco de dados (dados relacionados ao desempenho: irregularidade, desgaste de superfície, deflexão, atrito e propriedades das camadas; dados relacionados ao histórico: manutenção, construção, tráfego e acidentes; dados relacionados à política: orçamentos e alternativas; dados relacionados à geometria: dimensões de seções, curvatura vertical, curvatura longitudinal, espessura da camada e greide; dados relacionados aos custos: construção, manutenção, reabilitação e custos ao usuário; dados relacionados ao meio ambiente: drenagem e clima);
- Subsistema de pesquisa (responsável por realizar estudos que visam dar suporte técnico: técnicas de avaliação de pavimentos, modelos de previsão de desempenho, características dos materiais de construção, técnicas de conservação e restauração, estrutura do SGP existente e da organização e problemas específicos que envolvam custos significativos para a organização administradora ou para o público usuário);
- Subsistema de planejamento;
- Subsistema de projeto;
- Subsistema de construção e manutenção; e,
- Subsistema de avaliação e monitoramento.

Esses subsistemas, devidamente estruturados, levam um SGP a funcionar de maneira coordenada, conforme o fluxo da FIG. 2. Nas seções seguintes serão descritos, resumidamente, o que consiste cada subsistema que compõe um SGP.



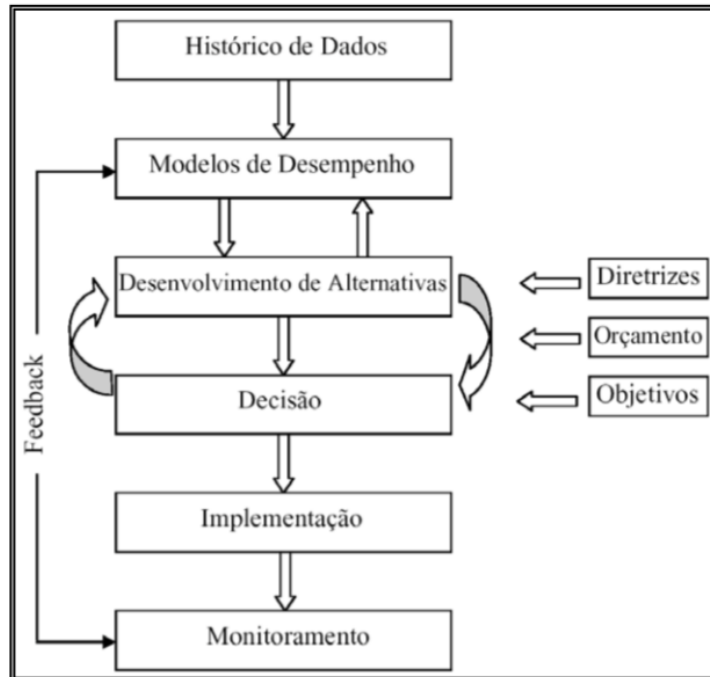


FIG. 2 - Macro-fluxo de um SGP. (Fonte: Zheng Li, 2005).

## 2.2 HISTÓRICO DO SGP E ESTUDOS DE DESEMPENHO DE PAVIMENTO

Os primeiros estudos sobre desempenho do pavimento surgiram no final da década de 50 quando a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) desenvolveu estudos experimentais, o AASHO Road Test, em uma pista teste com o objetivo de coletar dados para estabelecer relações entre o desempenho do pavimento (flexível e rígido) e os fatores relevantes, como o projeto da estrutura de pavimento (superfície e espessuras de sub-base e base) e carregamento de tráfego (número de repetições de eixos, cargas aplicadas e configuração).

De acordo com Núñez (1997) a partir da AASHO Road Test foram criadas as primeiras equações de desempenho de pavimento, relacionando a serventia com o carregamento e espessuras das camadas do pavimento. Os Estados Unidos da América foram pioneiros no desenvolvimento do Sistema de Gerência de Pavimentos. Segundo NHI (1998) o mais antigo SGP foi desenvolvido na metade dos anos de 1970, com parte dos conceitos e base de dados oriundos das pesquisas do AASHO Road Test.

Em 1985 a AASHTO publicou o seu primeiro guia sobre gerência de pavimentos, válido em todo o território americano. Em seguida foi estabelecido pela Federal Highway Administration (FHWA) que todos os estados americanos necessitavam implantar um SGP em suas malhas rodoviárias federais, como requisito para receber investimentos (NHI, 1998).

A AASHTO publicou novos guias sobre gerência de pavimento, em 1990, 2001 e 2012. Em 2001 foi publicada a primeira edição do Pavement Management Guide, o qual sofreu atualização em 2012.

Segundo Marques & Lopes (2004) desde a década de 60, com o objetivo de criar um critério para tomada de decisão sobre qual investimento traria maior retorno social, o Banco Mundial financiou pesquisas sobre custos rodoviários em diversos países, dentre eles o Brasil.

O Banco Mundial desenvolveu um programa de gerência de pavimento o Highway Development and Management (HDM), com a base técnica conceitual estabelecida nas pesquisas anteriormente financiadas pelo próprio órgão, principalmente através das pesquisas do PICR - Pesquisa Inter-relacionamento de Custos Rodoviários (1975 a 1981), Watanatada *et al.* (1987) e Paterson (1987). Ao estabelecer como requisito para a obtenção de investimentos em infraestrutura rodoviária a aplicação do HDM, o Banco Mundial impulsionou a implantação do SGP pelo mundo, principalmente em países em desenvolvimento (ALBUQUERQUE, 2007).

Pesquisas realizadas nas rodovias brasileiras auxiliaram no desenvolvimento das primeiras versões do HDM nos anos 1970 (HDM-I e HDM-II). A versão HDM-III foi utilizada por duas décadas, combinando análises técnicas e econômicas de projetos de rodovias, para preparar programas de investimentos em rodovias e análise de estratégias (VISCONTI, 2000).

Na atualização do software, com a versão atual HDM-4, foram implementadas novas ferramentas que auxiliam na análise regionalizada, permitindo a calibração de modelos utilizados no software e conhecimentos locais de engenharia.

Segundo Albuquerque (2007) países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia e Comunidade Europeia optaram pela implantação de SGPs próprios, considerando pesquisas de base técnica realizadas nas suas malhas rodoviárias. Países de economia periférica estão, similarmente, desenvolvendo seus SGPs, baseados nas características das suas rodovias, tendo como destaque o Brasil e a África do Sul.

## 2.2.1 LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE – LTPP/ FHWA

A Federal Highway Administration (FHWA) dos Estados Unidos deu início em 1987 aos estudos do programa Long-Term Pavement Performance (LTPP), dentro do programa Strategic Highway Research Program (SHRP), que tem por objetivo: aumentar a vida de serviço dos pavimentos pela investigação de diversos projetos de estruturas de pavimentos, novos ou restaurados, que utilizem diferentes materiais e sob diferentes carregamentos, ambientes, solo de subleito e práticas de conservação (RAUGHT & GENDELL, 1987).

Através de um longo e rigoroso monitoramento de mais de 2400 seções de pavimentos em concreto asfáltico e concreto de cimento Portland, abrangendo as mais variadas condições nos EUA e Canadá, essa pesquisa coleciona informações sobre o desempenho de pavimentos e elementos que podem influenciar no desempenho de pavimentos em serviço e/ou seções experimentais.

Para tanto, está sendo acompanhado o desempenho de seções de pavimentos em diversas condições ambientais e de tráfego durante um período de 20 anos. Os dados da pesquisa LTPP foram armazenados em um banco de dados chamado DataPave, o qual é atualizado à medida que novos dados são obtidos.

Foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos para a pesquisa LTPP, que segundo a ASCE Task Group (1997) são:

- Desenvolver métodos de projeto aperfeiçoados para a restauração de pavimentos existentes;
- Avaliar métodos de projeto existentes;
- Desenvolver equações de projetos aperfeiçoados para o projeto de pavimentos novos e reconstruídos;
- Determinar os efeitos de: carregamento, meio ambiente, propriedades dos materiais e sua variabilidade, qualidade da construção e nível de conservação no desempenho dos pavimentos, expressando o desempenho em termos de defeitos de superfície;
- Determinar os efeitos das características do projeto para o desempenho do pavimento;
- Estabelecer uma base de dados de longo prazo para atender os objetivos da pesquisa SHRP e às necessidades futuras da indústria da pavimentação.

## 2.2.2 SGP E ESTUDOS DE DESEMPENHO DE PAVIMENTO NO BRASIL

Por volta de 1982, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) do DNER (atualmente incorporado ao DNIT) criou a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos (CPGP) para a implantação do SGP no Brasil (VISCONTI, 2000).

Segundo o Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais do DNIT/SGP (2013) a Gerência de Pavimentos vem sendo desenvolvida e implementada desde 1983. Em 1992 foi implantado um SGP, com base em uma campanha de levantamentos em toda a Rede Rodoviária Federal. Em 1996, o SGP foi totalmente reestruturado, e sofreu uma remodelagem em 2001, e em 2007 integrado com o HDM-4.

Segundo Visconti (2000), a partir de 1985 o DNER começou a utilizar a metodologia e os procedimentos para utilização dos resultados dos levantamentos de campo do modelo HDM-III, com o objetivo de selecionar economicamente as alternativas de manutenção para todos os trechos da rede federal pavimentada. A metodologia do HDM-III foi completamente implantada em 1990, quando o Banco Mundial avaliou como incompleta a metodologia de levantamento de defeitos em superfície (levantamento visual contínuo) realizada pelo DNER.

Conforme Albuquerque (2007) o Banco Mundial ainda determinou, em complementação à avaliação econômica com o HDM-III, a necessidade de utilização de modelo para avaliar as estratégias de manutenção rodoviária em condição de restrição orçamentária (modelo EBM).

No início dos anos 2000, o Brasil migrou para a utilização do novo modelo de análise técnica e econômica de rodovias do Banco Mundial (HDM-4). Muitos dos estados brasileiros utilizam atualmente o HDM-4, mas estão em fase de implantação de SGPs próprios para suas malhas rodoviárias (a maioria em estruturação de Bancos de Dados) (ALBUQUERQUE, 2007).

### 2.2.2.1 PESQUISA DE INTER-RELACIONAMENTO DE CUSTOS RODOVIÁRIOS - PICR

Os estudos (de 1975 a 1981) sobre o Inter-relacionamento dos Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias, Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos Rodoviários (PICR) financiada pelo Banco Mundial, desenvolvida pela Empresa

Brasileira de Planejamento de Transportes, foram conduzidos pelo GEIPOT. Essa pesquisa tinha como objetivo produzir parâmetros, métodos e modelos que permitissem a otimização de investimentos em construção e conservação rodoviárias, a fim de minimizar o custo total do transporte rodoviário (CUNHA, 2008).

Dois estudos com a base de dados levantadas na PICR se destacam: o de Queiroz (1981) e o de Paterson (1987).

Queiroz (1981) utilizou dados obtidos da observação de 63 seções de pavimento em serviço, da malha rodoviária compreendida no quadrilátero Brasília, Goiânia, Belo Horizonte e São Paulo, para o desenvolvimento de modelos, empíricos e empírico-mecanísticos, de desempenho, previsão da irregularidade longitudinal e do trincamento de pavimentos (SONCIM, 2011).

Paterson (1987) desenvolveu as equações de desempenho de pavimentos utilizadas no The Highway Design and Maintenance Standards Model (WATANADA *et al.*, 1987). A base empírica para o desenvolvimento dos modelos de regressão foi a mesma utilizada por Queiroz (1981) durante a PICR. O motivo da escolha foi a grande quantidade de dados observados ao longo do tempo que incluem irregularidades, trincamento, desgaste, deformações permanentes, atividades de manutenção, tráfego e pluviometria para uma programação fatorial de trechos de pavimentos em serviço (PATERSON (1989) *apud* SONCIM, 2011).

#### 2.2.2.2 PESQUISAS DESENVOLVIDAS E COORDENADAS PELO IPR/DNIT

##### a. Avaliação de Desempenho de Pavimentos Típicos Brasileiros – IPR/DNIT

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, através da Diretoria de Planejamento e Pesquisa/Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, com o intuito de rever, adequar e aperfeiçoar metodologias e procedimentos desenvolveu uma pesquisa na qual uma série de atividades foi realizada com o objetivo principal de verificar o comportamento dos pavimentos que compõem a rede rodoviária federal, a fim de, especificamente, permitir uma “Avaliação de Desempenho de Pavimentos Típicos Brasileiros”.

O estudo foi planejado e realizado, no período de 2001 a 2004, através da seleção inicial de 40 (quarenta) trechos-teste, representativos da malha rodoviária federal e com características

compatíveis com os trechos-teste do experimento Strategic Highway Research Program (SHRP)/Long Term Pavement Performance (LTPP), dos Estados Unidos da América (EUA), para o acompanhamento, a longo prazo, do desempenho de pavimentos.

Os trechos-teste nacionais foram, então, implantados e devidamente materializados em segmentos de rodovias federais, e acham-se localizados nos Estados do Pará, Ceará, Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, procurando-se abranger as cinco regiões climáticas do país (Equatorial, Tropical Semiárida, Tropical, Litorânea Úmida e Subtropical Úmida).

As atividades desenvolvidas nos trechos-teste verificaram as medidas de deflexões, determinação do atrito pneu-pavimento, verificação da irregularidade longitudinal, medição da profundidade das trilhas de roda e levantamento das condições de superfície, todas caracterizadoras das condições estrutural e funcional dos pavimentos. Em cada trecho-teste foi feito um poço de sondagem, onde ensaios “in situ” foram conduzidos, e de onde foram coletados materiais das camadas do pavimento para ensaios laboratoriais.

A pesquisa contemplou, também, outras atividades fundamentais, tais como: avaliação de métodos de projeto existentes, estudos das causas dos defeitos e da influência dos fatores atuantes nos pavimentos, proposições de modificações de procedimentos, bem como o desenvolvimento e implantação de um banco de dados, compatível com o banco de dados SHRP/LTPP.

A fase da pesquisa desenvolvida possibilitou diagnosticar o estado dos pavimentos, bem como verificar o seu comportamento e indicar procedimentos a serem adotados com vistas a monitorar o seu desempenho futuro. A monitoração dos trechos-teste, fator fundamental para a elaboração dos modelos de desempenhos, infelizmente não teve continuidade.

#### b. Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais

O DNIT, anualmente, realiza levantamentos de campo que permitem o real conhecimento da situação do pavimento das rodovias federais e que servem para subsidiar o Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT (SGP-DNIT).

O SGP foi idealizado visando à obtenção de um Banco de Dados que, ao ser periodicamente atualizado, permita a análise das condições da rede e a alimentação do HDM (sistema informatizado para a definição de prioridades e de soluções para a restauração e manutenção da

rede dentro de um programa plurianual, visando a melhor relação custo/benefício para diversos níveis de investimento).

O Banco de Dados do SGP é alimentado com os dados de tráfego, estrutura, deflexão, irregularidade e defeitos do pavimento. O levantamento é realizado por segmentos homogêneos, respeitando-se os limites da divisão em trechos do atual Sistema Nacional de Viação – SNV. Os dados da deflexão foram obtidos através do Levantamento de 2002/2003 – evoluído, dados do CREMA e atualmente está com uma campanha em andamento de 24.000km.

Para se conhecer a real situação da malha rodoviária federal foram realizados levantamentos de campo (Levantamento Visual Contínuo – LVC e Índice de Irregularidade Internacional – IRI) no período compreendido entre os meses de janeiro de 2011 a dezembro de 2011, correspondendo a aproximadamente, uma extensão de 55.000 km de rodovias pavimentadas.

O Levantamento Visual Contínuo consiste na avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos através da observação, a cada 20 metros, dos defeitos existentes no pavimento da rodovia em análise.

No levantamento do Índice de Irregularidade Internacional (IRI) são aferidos os desvios da superfície da rodovia em relação a um plano de referência. Esses desvios afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre as vias. Esse levantamento também é feito por meio de deflectômetros a laser, acoplados no veículo, que fornecem leituras correspondentes à irregularidade do pavimento.

#### c. Calibração e aferição do modelo HDM-4 para as condições da rede de rodovias do Brasil

O Brasil recebeu financiamento do Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento - BIRD para execução das ações junto ao Projeto de Transporte de Rodoviárias - PREMEF e parte do montante dos recursos são destinados à calibração e aferição do modelo HDM-4 para as condições da rede de rodovias do Brasil.

A atividade de calibração dos modelos iniciou em 2013 e está sobre a responsabilidade da Coordenação Geral de Planejamento e Programação de Investimentos – CGPLAN/DNIT. As principais atividades desenvolvidas:

- Calibração e aferição do modelo HDM-4 com as subatividades;
- Seleção de 50 trechos representativos da malha rodoviária federal;
- Levantamento e monitoramento das condições nos trechos selecionados;

- Identificação e agrupamento dos segmentos homogêneos;
- Validação e complementação dos resultados decorrentes dos níveis 1 e 2 do modelo HDM-4;
- Calibração e Aferição do Modelo HDM-4;
- Atualização da base de dados do HDM-4.

### 2.2.2.3 REDE TEMÁTICA DE ASFALTO – PETROBRÁS

Projeto da Rede Temática de Asfaltos envolve mais de 20 Universidades, o IPR/DNIT e o CENPES-Petrobrás, tem como objetivos:

- Desenvolvimento de um método de dimensionamento nacional de pavimentos flexíveis;
- Construção e monitoramento de pistas experimentais em todo o país;
- Uso de materiais alternativos regionais;
- Criação e calibração de modelos de desempenho laboratoriais baseados em ensaios; e,
- Desenvolvimento de Recursos Humanos em instituições de pesquisa.

No projeto prevê a construção e monitoramento sistemático de seções monitoradas em diversas regiões do Brasil, sempre vinculadas a uma instituição participante da REDE. O monitoramento das seções tem como objetivo o desenvolvimento de um banco de dados de materiais e de desempenho de pavimentos para validar o desenvolvimento de um Método Brasileiro de Dimensionamento Mecânico de Pavimentos Asfálticos (Novos e de Reforço).

Conforme o Manual de Trecho Monitorado (2010) deverá ocorrer o monitoramento dos trechos executados com avaliação das condições funcional e estrutural dos pavimentos, através do acompanhamento e da análise de degradações relacionadas com o tráfego da seguinte forma:

- (i) primeira avaliação após uma semana da construção (caso não se tenha realizado o controle do tempo “0” em todos os aspectos);
- (ii) segunda avaliação após um mês da construção - levantamento visual (LV);
- (iii) terceira avaliação após 6 meses da construção;
- (iv) quarta avaliação após um ano da construção, e a partir desta realizar o levantamento uma vez por ano.



O banco de dados formado pela REDE permitirá o desenvolvimento de modelos de desempenho dos pavimentos monitorados. A TAB. 1 mostra a periodicidade de todos os levantamentos necessários para o cadastro das informações no banco de dados da REDE.

**TAB. 1 - Periodicidade de cada levantamento. (Fonte: Manual de Trecho Monitorado, 2010)**

	Tempo 0 ou uma semana	1 mês	6 meses	Ano 1	Ano 2 a 5
Amostra do Revestimento usinado (CPs)	x		x	x	x
Deflexão	x		x	x	x
IRI	x		x	x	x
Pêndulo e Mancha de Areia	x	x	x	x	x
Levantamento de Defeitos	x	x	x	x	x
Atrito (com equipamentos contínuos)	*		*	*	*
Permeabilidade	x		x	x	x
LV		x		x	

#### 2.2.2.4 SGP NAS CONCESSÕES RODOVIÁRIAS FEDERAIS

Atualmente no Brasil existem Concessões Rodoviárias Federais de três etapas de concessões distintas, cada concessão possui seu próprio Programa de Exploração Rodoviária – PER, onde se especificam todas as atividades/serviços/obras e níveis de exigências para cada um deles.

No PER da primeira etapa de concessões além dos limites máximos dos parâmetros de desempenho do pavimento também é exigência a implantação de um Sistema de Gerência de Pavimento – SGP e a elaboração dos próprios modelos de desempenho do pavimento.

Nos primeiros anos de concessão poderiam se utilizar dos modelos de desempenho adotados pelo DNER (atualmente DNIT) em seu SGP em nível de rede. Posteriormente, deveriam construir um banco de dados, composto pelos dados levantados anualmente pela concessionária e em seguida desenvolver um modelo de desempenho do pavimento específico para a rodovia concessionada. Uma das recomendações do PER era a utilização da ferramenta

HDM-III, porém estando a cargo da concessionária optar em utilizar o mesmo ou adotar outra metodologia de SGP.

Ao observar o PER das demais etapas de concessões o item com a exigência da implementação do SGP e desenvolvimento de modelos próprios de desempenho do pavimento foi se excluído do corpo texto, permanecendo apenas a exigência dos valores limites dos parâmetros de desempenho.

Estados de destaque no desenvolvimento de estudos de desempenho do pavimento e implantação do SGP são: Bahia, Ceará, Goiás, Paraíba, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

## 2.3 DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Segundo Yoder e Witczak *apud* Soncim (2011), o processo de deterioração de pavimentos tem dois aspectos, o estrutural e o funcional. No primeiro caso há a fratura de uma ou mais partes da estrutura do pavimento, até o ponto que o pavimento seja incapaz de suportar as solicitações impostas pelo tráfego. Já a ruptura funcional, que pode ou não vir acompanhada da estrutural, ocorre quando o pavimento não consegue fornecer condições de segurança e conforto aos seus usuários, devido, particularmente, à irregularidade longitudinal.

### 2.3.1 DESEMPENHO E SERVIENTIA DO PAVIMENTO

Com o decorrer do período de vida útil os pavimentos sofrem interferência em sua estrutura e funcionamento por fatores como tráfego, clima, deficiências no processo construtivo e características dos materiais. A interação destes fatores resulta no surgimento de patologias de variadas gravidades (BALBO, 1997).

DOMINGUES (1993) classificou os defeitos em duas classes:

- *Funcionais*: os defeitos desta classe são relacionados com as qualidades de conforto e segurança no rolamento;

- *Estruturais*: relacionados ao desempenho da estrutura do pavimento para suportar a carga de projeto.

Pavimentos estruturalmente afetados por defeitos também apresentam defeitos funcionais, enquanto que os pavimentos funcionalmente defeituosos podem estar estruturalmente sadios (DOMINGUES, 1993).

De acordo com Haas e Hudson *apud* Benevides (2006), a ruptura do pavimento acontece ao se atingir os limites de tensões e/ou deformações do material empregado, o que ocasiona a ocorrência de defeitos estruturais em forma de trincas ou deformações permanentes. Os defeitos estruturais não constituem a “ruptura” do pavimento, isto ocorre quando o acúmulo de defeitos reduz a serventia do pavimento a um nível abaixo do aceitável pelos usuários ou estabelecidos pelos gestores da rodovia.

#### a. Desempenho

Desempenho de um pavimento é a capacidade deste de atender seus objetivos ao longo do tempo (AASHTO, 1990). O desempenho pode ser definido como a habilidade de um pavimento servir satisfatoriamente ao tráfego ao longo de um período de tempo (MOTTA, 1991).

Haas *et al.*, (1994) relaciona os fatores que afetam o desempenho dos pavimentos:

- **Tráfego**: carga por eixo, pressão dos pneus, velocidade e volume;
- **Meio ambiente**: temperatura, umidade, radiação, congelamento-degelo, etc.;
- **Estrutura**: espessuras, propriedades dos materiais empregados e condição do subleito;
- **Construção**: métodos de cálculo, qualidades construtivas e mão-de-obra;
- **Manutenção**: material utilizado, determinação do momento propício para a execução e estado e tipo da rodovia.

Ou seja, os defeitos estruturais o qual Domingues (1993) exprime estão relacionados com o desempenho apresentado por Haas *et al.*, (1994)

#### b. Serventia

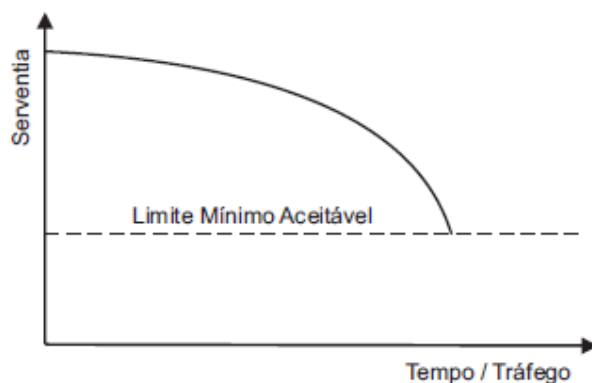
A serventia como a habilidade de um pavimento servir ao tráfego para o qual foi projetado, medida numa certa data (MOTTA, 1991).

A serventia mede a qualidade do serviço que o pavimento proporciona ao usuário em termos de conforto, segurança e economia. A sua recomposição pode ser necessária por uma ou mais das seguintes razões (PATERSON, 1987):

- Qualidade de rolamento inadequada;
- Excesso de defeitos na superfície;
- Redução do coeficiente de atrito entre pneu e pavimento;
- Necessidade excessiva de serviços de conservação;
- Custos elevados para o usuário;
- Capacidade estrutural inadequada para a solicitação de tráfego prevista.

Ou seja, os defeitos funcionais que Domingues (1993) comentam estão relacionados com a serventia do pavimento explicada por Paterson (1987).

A FIG. 3 de Haas *et al.* (1994) modificada, ilustra o conceito de serventia-desempenho e a curva representa um modelo de desempenho a ser estabelecido em cada caso. Ao se estabelecer o limite mínimo aceitável, define-se a vida útil do segmento.



**FIG. 3 - Conceito de serventia-desempenho (modificada de HAAS *et al.*, 1994)**

### 2.3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A DETERIORAÇÃO / DESEMPENHO DO PAVIMENTO

Fernandes Jr. (1994) apresenta como principais fatores que contribuem para o início, propagação e acúmulo da deterioração do pavimento o ambiente (temperatura e teor de

umidade) e as solicitações causadas pelo tráfego (carga por eixo, pressão de enchimento dos pneus, tipo de suspensão etc.). Outros fatores como qualidade dos materiais, as técnicas e cuidados construtivos e as estratégias de manutenção e reabilitação também influenciam a deterioração dos pavimentos ao longo da vida em serviço.

A condição do pavimento depende de fatores relacionados à volume e composição do tráfego, as condições climáticas e meio ambiente, às técnicas construtivas, características estruturais do pavimento, materiais de construção empregados e o histórico de manutenção, como também as iterações entre si.

### 2.3.2.1 FATORES CLIMÁTICOS

As condições ambientais a que o pavimento está sujeito, onde se incluem as condições de temperatura do ar, a insolação, a pluviometria e as condições de drenagem subsuperficial e profunda, afetam as velocidades com que a degradação estrutural se processa, por influírem nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos materiais das camadas do pavimento e por gerarem tensões quando a estrutura tende a restringir movimentações volumétricas de natureza térmica ou de variação de umidade.

Segundo Manual da AASHTO (1986), a temperatura e as precipitações de águas de chuvas são os principais fatores ambientais que influenciam o pavimento, pois alteram o teor de umidade das camadas que o constituem. Causando a redução da resistência do subleito e das camadas do pavimento e bombeamento de material fino das camadas inferiores, resultando na perda da capacidade de suporte dos pavimentos flexíveis.

Yoder e Witczak *apud* Soncim (2011) afirmam que a infiltração da água da chuva no pavimento tem impacto direto na capacidade estrutural do pavimento. A infiltração da água pode ocorrer através das trincas ou panelas na superfície dos pavimentos, ou ainda de defeitos nas bordas ou nos acostamentos. A água entra nas camadas do pavimento e ao subleito, aumentando o teor de umidade das camadas infiltradas, resultando em uma umidade superior a ótima, por consequência reduzindo sua capacidade estrutural, o que pode resultar na aceleração do seu processo de deterioração.

De acordo com Huang (1993), a temperatura e umidade são os dois fatores climáticos que afetam a deflexão dos pavimentos. Para pavimentos asfálticos, temperaturas mais altas causaram o amolecimento do asfalto, aumentando a deflexão.

A variação das temperaturas médias durante a vida em serviço, pode afetar a estabilidade, a susceptibilidade a deformações permanentes e a progressão de trincas sob a aplicação de cargas repetidas do tráfego. Já as baixas temperaturas do pavimento em serviço, que podem resultar no aparecimento de trincas térmicas por retração (HAAS *et al.*, 1994).

Segundo Medina e Motta (2005), a rigidez dos revestimentos asfálticos depende da temperatura, pois a mesma controla a viscosidade dos ligantes. As variações diárias e sazonais da temperatura causam alterações na rigidez, ou seja, a deformabilidade do pavimento é condicionada pelas variações no clima.

#### 2.3.2.2 FATORES DE TRÁFEGO

Um pavimento é construído para resistir às solicitações, impostas pelo meio ambiente e pelo tráfego, ao longo do período considerado em projeto para sua vida útil.

De acordo com Fernandes Jr. (1994), a carga por eixo, independentemente dos fatores ambientais, do comportamento estrutural dos pavimentos e da ação combinada de outros fatores de tráfego, é a que mais afeta a deterioração dos pavimentos. Pode, muitas vezes, não ser o único fator significativo, mas tem de ser considerada, sempre, quando se tratar dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho dos pavimentos.

O processo de deterioração ocorre devido ao acúmulo do dano causado pela aplicação de cargas sucessivas pelos eixos dos veículos, ou seja, elementos de transferência de carga para os pavimentos (SONCIM, 2011).

Durante o cálculo do efeito cumulativo das solicitações do tráfego também deveriam ser considerados os efeitos da pressão de enchimento dos pneus, do tipo de rodagem, do tipo de pneu e do sistema de suspensão, pois esses fatores influenciam durante uma análise mecânica ou empírico-mecânica de projetos e de desempenho de pavimentos (MEDINA E MOTTA, 2005).

### 2.3.2.3 OUTROS FATORES

Fatores como os critérios de projeto, as técnicas construtivas, o tipo de estrutura e materiais utilizados e as estratégias de manutenção e reabilitação, também poderiam ser incluídos como variáveis explicativas do processo de deterioração dos pavimentos, segundo Hass e Hudson *apud* Soncim (2011).

O projeto estrutural de pavimentos inclui informações como a capacidade de suporte das camadas que compõem o pavimento e do subleito, com o objetivo de determinar as espessuras necessárias para atender a um determinado tráfego, durante sua vida em serviço. A escolha dos materiais é baseada nas propriedades requeridas pelo projeto estrutural, levando em consideração seu custo. Como os pavimentos têm a função de transferir as cargas do tráfego ao subleito, propriedades como espessura das camadas e resistência dos materiais representam impacto no desempenho dos pavimentos. (SONCIM, 2011)

De acordo com Paterson (1981) e Queiroz (1984) as técnicas construtivas estão diretamente relacionadas à qualidade inicial do pavimento, que têm reflexo no desempenho do pavimento ao longo da sua vida em serviço. Nos pavimentos asfálticos, por exemplo, um dos principais fatores que afetam sua qualidade inicial é o grau de compactação. Baixa compactação do subleito ou falta de controle no processo pode levar a uma série de problemas, como o aparecimento de trincas ou deformações permanentes. Também, fatores como a temperatura de aplicação e pressão de compactação do revestimento asfáltico pode favorecer o aparecimento de irregularidades imediatamente após a abertura ao tráfego e o aparecimento de defeitos durante a vida em serviço.

Segundo Hass e Hudson e Lytton *et al. apud* Soncim (2011) as atividades de manutenção e reabilitação tem o objetivo de manter o pavimento em condições mínimas aceitáveis de serventia. A aplicação das atividades de manutenção de rotina, reabilitação e recapeamento são de acordo com a severidade dos defeitos, ou seja, o nível de serventia do pavimento. A realização das atividades de manutenção, antes que o pavimento atinja níveis mínimos aceitáveis de serventia, pode permitir o prolongamento de sua vida em serviço. Atividades de reabilitação são aplicadas, normalmente, a seções que já atingiram um nível mínimo aceitável de serventia e apresentam um estado avançado de deterioração. Os efeitos das atividades de

manutenção e reabilitação podem ser observados, por meio da melhoria das condições do pavimento e da redução na taxa de deterioração do pavimento.

Em geral esses fatores não são incluídos dentre as variáveis explicativas dos modelos de deterioração dos pavimentos por falta de informações nos bancos de dados das agências responsáveis pelo gerenciamento das rodovias. Dentre as causas da falta dessas informações pode estar incluído o julgamento, dentre o grupo de especialistas que gerenciam uma rede, de que tais variáveis são menos significativas para a avaliação do desempenho dos seus pavimentos. Entretanto, não deveriam ser ignoradas, pois o processo de deterioração dos pavimentos pode não ser bem explicado somente pelas variáveis geralmente observadas e consideradas significativas até o presente (SONCIM, 2011).

## 2.4 MODELOS DE PREVISÃO DE DESEMPENHO

Os modelos 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 do tráfego. A previsão do desenvolvimento de defeitos nos pavimentos é útil para o estabelecimento de estratégias de manutenção (HAAS *et al*, 1994).

Segundo Gonçalves (1999) modelos de previsão de desempenho são funções que relacionam as características do pavimento e suas condições atuais (estruturais, funcionais e de degradação superficial) à evolução com o tempo dos defeitos de superfície ou do nível de serventia, sob dadas condições climáticas e de tráfego a que o pavimento está submetido.

Para maximizar os efeitos da gerência de pavimentos, o uso de modelos de previsão de desempenho confiáveis é muito importante. A seleção de estratégias ótimas de manutenção depende da viabilidade de uso de modelos que reflitam as condições locais (NUÑEZ e SHAHIN, 1986).

Estes modelos devem refletir as condições às quais são aplicados, e devem ser desenvolvidos ou modificados com base em dados e experiências locais (QUEIROZ, 1982). 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 (PATERSON, 1987).

O uso de modelos de previsão possibilita os seguintes aspectos (FHWA, 2006):

- Determinar a vida restante dos pavimentos, isto quando se tem conhecimento da condição limite aceitável;
- Otimizar a combinação de projetos, estratégias e o tempo para a agência concluir as metas estabelecidas;
- Avaliar os impactos temporais de vários cenários elencados;
- Promover o “feed-back” para o processo de projeto do pavimento; e,
- Auxiliar na estimativa dos custos do ciclo-de-vida do pavimento.

De um modo geral, os modelos podem apresentar erros nas estimativas de tempo para execução de serviços de manutenção e de reabilitação. Estes erros são maiores quando o pavimento estiver no início de sua vida útil e são menores quanto mais próximos do fim (PATERSON, 1987; HAAS, 1994). Os mesmos autores citam a necessidade de atualização tanto dos modelos como dos devidos ajustamentos.

Para fins operacionais, os modelos de previsão podem ser divididos em quatro tipos básicos (PATERSON, 1987; BUTT, 1988; HAAS *et al.*, 1994; MARCON, 1996;):

- **Puramente Mecanísticos** - baseados em parâmetros, tais como: tensão, deformação ou deflexão. Por possuírem base teórica, para esses modelos não são necessários dados históricos;
- **Empírico-mecanístico** - usa parâmetros básicos de resposta relacionados com a deterioração funcional ou estrutural por meio de equações de regressão. Os modelos têm a seguinte sequência lógica: dados de entrada, modelo respostas estruturais, e modelos deterioração-desempenho;
- **Regressão Direta** – baseiam-se nas relações encontradas entre as variáveis dependentes (aquelas que são a manifestação da deterioração, tais como: irregularidade, trincas, panelas, remendos, profundidade de trilha de roda, etc.) e as independentes (aquelas identificáveis no campo e que influem na deterioração dos pavimentos, tais como: resistência do subleito, número de aplicações de carga, espessuras e propriedades das camadas, fatores ambientais, etc.). Tem como vantagem a fácil aplicação e o fato de

serem baseados em dados históricos reais. Como desvantagem pode ser citada que os mesmos precisam de uma base de dados históricos e só podem ser aplicados no espaço de inferência utilizado;

- **Subjetivos** – nestes modelos são utilizadas as experiências dos engenheiros rodoviários, por meio de entrevistas realizadas diretamente, com dados coletados com os mesmos ou através do uso de processos de transição de Markov, por exemplo. Estes modelos são de fácil aplicação, porém extremamente empíricos.

Desde a década de 70 estudos têm sido desenvolvidos no Brasil com o objetivo de criação de modelos de desempenho para utilização em gerência de pavimentos. Em relação a modelos para pavimento em concreto asfáltico (CBUQ), merecem destaque os estudos apresentados na TAB. 2.

**TAB. 2 - Apresentação dos modelos desenvolvidos**

Modelos	Trincamento (TR)	Desgaste	Irregularidade (IRI)	Panela	Afundamento de Trilho de Roda (ATR)	Deflexão	Índice de Gravidade Global (IGG)	Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF)
Queiroz (1981)	X		X					
DNER-PRO 159/85	X		X					
Paterson (1987)	X	X	X	X	X			
Marcon (1996)	X		X		X	X	X	
Basilio (2002)	X		X		X	X		
Yshiba (2003)			X			X		
Lerch (2003)			X					
Nakahara (2005)			X					
Benevides (2006)			X					
Albuquerque (2007)			X				X	X
Vitorello (2008)			X		X	X		
Soncim (2011)	X							X
Modelo de desempenho HDM-4	X	X	X	X	X			

Cada autor desenvolveu modelos para parâmetros de desempenho do pavimento conforme apresentado na TAB. 2. Destacando-se a irregularidade longitudinal como sendo o principal parâmetro de estudo entre os autores. Cada modelo possui uma base de dados distinta, mostrada na TAB. 3, com os estados contemplados por cada um dos modelos.

**TAB. 3 - Origem dos dados dos modelos**

Modelos	Origem dos dados
Queiroz (1981)	Brasília, Goiás, Minas Gerais e São Paulo
DNER-PRO 159/85	Brasília, Goiás, Minas Gerais e São Paulo
Paterson (1987)	Brasília, Goiás, Minas Gerais e São Paulo
Marcon (1996)	Santa Catarina
Basílio (2002)	Paraná
Yshiba (2003)	Goiás
Lerch (2003)	Rio Grande do Sul
Nakahara (2005)	São Paulo
Benevides (2006)	Ceará
Albuquerque (2007)	Ceará e Paraíba
Vitorello (2008)	Rio Grande do Sul
Soncim (2011)	Bahia
Modelo de desempenho HDM-4	Brasil (Paterson), Caribe e Quênia

#### 2.4.1 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL – IRI

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – IPR/DNIT (2006), o Índice de Irregularidade é o parâmetro mais utilizado pelo DNIT para determinar o estado superficial do pavimento. O mesmo conceitua Irregularidade Longitudinal de um pavimento, como “o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência” – desvios estes que, entre vários outros inconvenientes, afetam a qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via.

O Banco Mundial promoveu uma pesquisa efetuada no Brasil (Sayers *et al.*, 1986), de cujos resultados foi estabelecida o IRI (“International Roughness Index”), que é um índice estatístico definido matematicamente, a partir do perfil longitudinal da trilha de roda de um revestimento rodoviário percorrido. O índice é uma estatística da inclinação média retificada computada a partir das elevações absolutas de perfil.

O IRI é definido como a simulação matemática, sendo a representação dos movimentos verticais induzidos nos veículos em movimento, que afetam o veículo e o conforto do passageiro (Paterson, 1987).

Outro resultado significativo da referida pesquisa foi o estabelecimento de correlações entre o IRI e as unidades de medidas de diversos equipamentos que medem o perfil longitudinal

ou tipo de resposta. Como exemplo, a transformação de quociente de irregularidade (QI) (contagens/km) em IRI é dada por:

$$IRI = \frac{QI}{13} \quad (1)$$

Onde:

IRI - irregularidade longitudinal

QI - quociente de irregularidade em contagens/km

As unidades de IRI são adimensionais, mas representam m/km, mm/m ou polegadas/1000 polegadas.

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – IPR-720/DNIT (2006), o aumento da irregularidade longitudinal é o resultado de uma cadeia de mecanismos de restauração (FIG. 4) e combina os efeitos de vários tipos de defeitos e, como tal, não pode ser considerada como um efeito isolado.

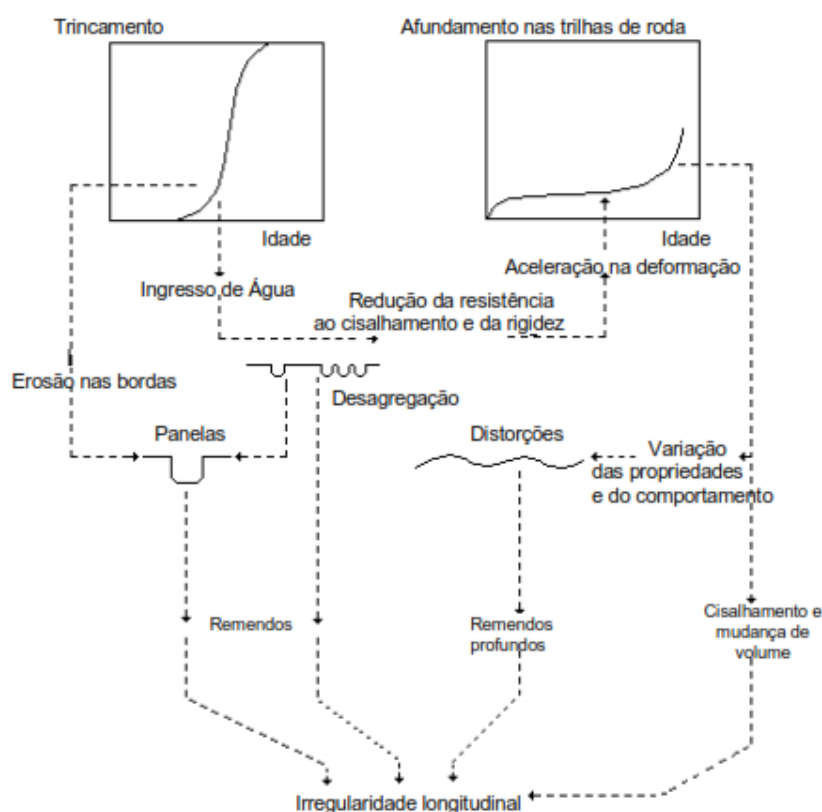


FIG. 4 - Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas (Fonte: IPR-720, 2006)

A retrata o desempenho ideal de um pavimento ao longo de um “Ciclo de Vida”, levando em consideração aspectos de Conservação/Restauração/Reabilitação.

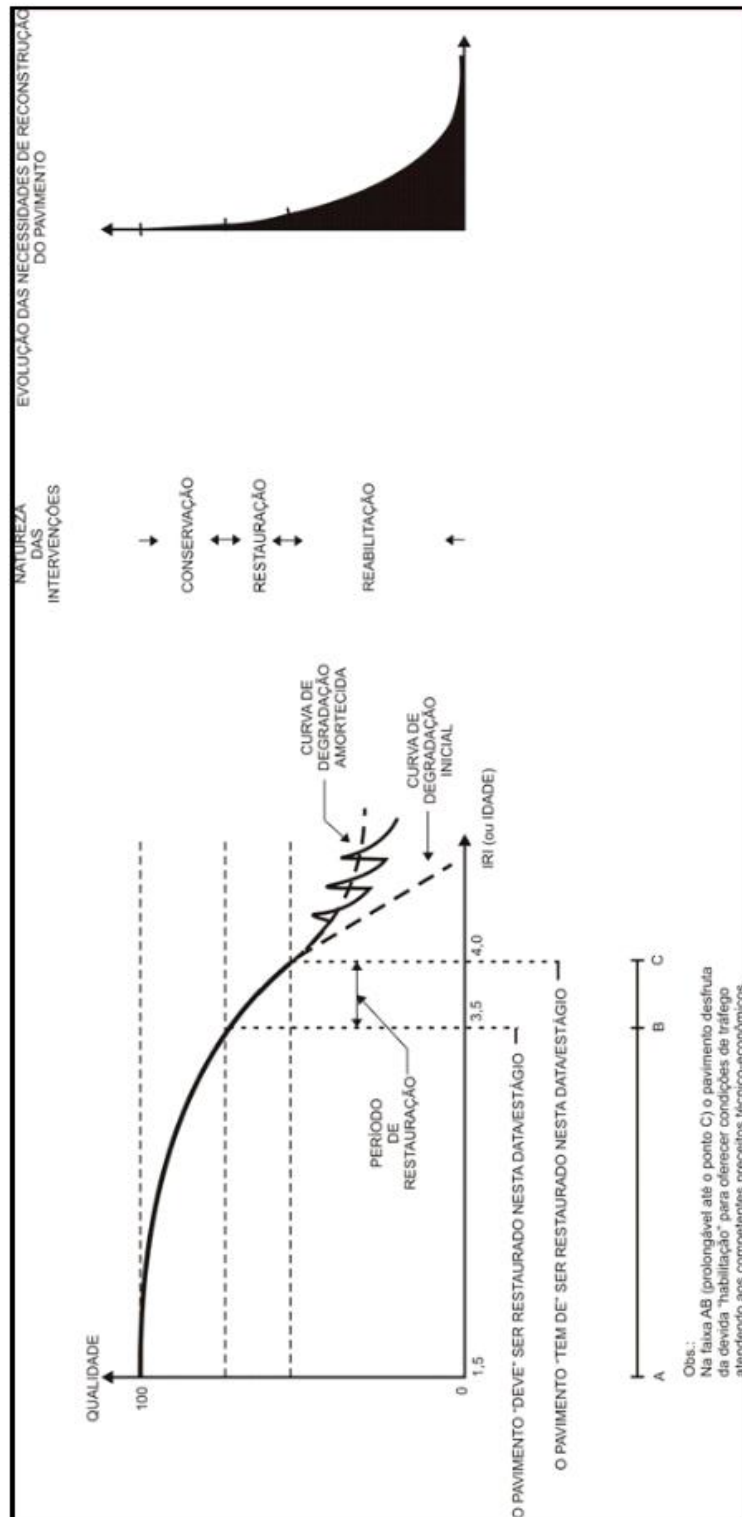


FIG. 5 - Curva de degradação do Pavimento. (Fonte: IPR-720, 2006)

O manual de restauração de pavimentos asfálticos – IPR/DNIT (2006) classifica a condições de superfície do pavimento com relação a irregularidade da seguinte forma:

**TAB. 4 - Condições de Superfície do Pavimento**

Conceito	Irregularidade	
	QI (cont./km)	IRI (m/km)
Excelente	13-25	1-1,9
Bom	25-35	1,9 - 2,7
Regular	35-45	2,7 - 3,5
Ruim	45-60	3,5 - 4,6
Péssimo	> 60	> 4,6

A seguir são apresentando a formulação e os dados de entrada para os modelos de irregularidade longitudinal (IRI) desenvolvidos com a base de dados dos estados brasileiros.

a. Modelos desenvolvidos por Queiroz (1984)

$$\log(QI) = 1,478 - 0,138 \cdot ER + 0,000795 \cdot 0,0224 \cdot \left( \frac{\log(N_{acum})}{SNC} \right)^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,26 \text{ e Erro Padrão} = 0,13$$

$$QI = 21,8 - 7,2 \cdot ER + 5,16 \cdot TR + 0,515 \cdot A + 7,22 \cdot 10^{-5} \cdot (D_{VB} \cdot \log(N_{acum})) \quad (3)$$

$$R^2 = 0,48 \text{ e Erro Padrão} = 10,58$$

$$\log(QI) = 1,391 - 0,1315 \cdot ER + 0,0414 \cdot P + 0,00751 \cdot A + 0,0248 \cdot D_D \cdot \log(N_{acum}) \quad (4)$$

$$R^2 = 0,32 \text{ e Erro Padrão} = 0,13$$

$$QI = 12,63 - 5,16 \cdot ER + 3,31 \cdot TR + 0,393 \cdot A + 8,66 \cdot \left( \frac{\log(N_{acum})}{SNC} \right) \quad (5)$$

$$+ 7,17 \cdot 10^{-5} \cdot (D_{VB} \cdot \log(N_{acum}))^2$$

$$R^2 = 0,52 \text{ e Erro Padrão} = 10,22$$

$$\log(QI) = 1,299 - 0,1072 \cdot ER + 0,0415 \cdot P + 0,0623 \cdot A + 0,0856 \quad (6)$$

$$\cdot \left( \frac{\log(N_{acum})}{SNC} \right) + 0,023 \cdot D_D + \log(N_{acum})$$

$$R^2 = 0,36 \text{ e Erro Padrão} = 0,13$$

Onde:

QI = irregularidade longitudinal dos pavimentos (contagem / km);

ER = variável que indica se o pavimento é restaurado ou não (ER = 0, original; ER = 1, restaurado);

A = idade do pavimento desde a construção ou reabilitação (anos);

$N_{acum}$  = número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO;

SNC = número estrutural corrigido;

TR = variável indicadora do tipo de revestimento (TR = 0, mistura asfáltica; TR = 1, tratamento superficial);

DVB = deflexão com Viga Benkelman ( $10^{-2}$  mm);

P = porcentagem do pavimento que recebeu reparos de remendos profundos; e

DD = deflexão com Dynaflect (0,001 polegadas = 0,0254mm).

b. Modelo desenvolvido por Paterson (1987)

$$IRI = [IRI_0 + 725 \cdot (1 + SNC)^{-4,99} \cdot NE_4] \cdot e^{0,0153 \cdot AGE} \quad (7)$$

$$R^2 = 0,75$$

Onde:

IRI = irregularidade longitudinal dos pavimentos (m / km);

$IRI_0$  = irregularidade longitudinal inicial (m / km);

SNC = número estrutural corrigido;

$NE_4$  = representa o número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com fator de carga da AASHTO (milhões por faixa); e  
 AGE = idade do pavimento desde a construção, restauração ou reconstrução (anos).

c. Modelo desenvolvido por Marcon (1996)

$$QI = 18,348 + 1,1635 \cdot IDADE \quad (8)$$

$$R^2 = 0,29$$

$$QI = 25,783 + 4 \cdot 10^{-6} \cdot NA - 5 \cdot 10^{-14} \cdot NA^2 \quad (9)$$

$$R^2 = 0,32$$

d. Modelo desenvolvido por Basílio (2002)

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

$$R^2 = 0,61$$

Onde:

QI = quociente de irregularidade (cont. / km);

NA = número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com o fator de carga da AASHTO.

e. Modelos desenvolvidos por Yshiba (2003)

Para pavimentos com revestimento original, foi obtido o modelo apresentado a seguir:

$$IRI = 2,8 + 0,38 \cdot P(I) + 0,31 \cdot P(N) - 0,16 \cdot P(S) + 0,09 \cdot P(I) \quad (11)$$

$$\cdot P(N) - 0,08 \cdot P(I) \cdot P(S)$$

$$R^2 = 0,75$$

Onde:

IRI = irregularidade longitudinal do pavimento (m / km);

$P(I) = \frac{I-13}{8}$ , sendo I a idade em anos do revestimento;

$P(N) = \frac{N-5 \cdot 10^4}{10^5}$ , sendo N o número de solicitações de tráfego; e



$P(S) = \frac{S-5,5}{2}$ , sendo S o número estrutural corrigido.

Para pavimentos restaurados, por sua vez, foi desenvolvido o modelo apresentado abaixo:

$$IRI = 2,37 + 0,12 \cdot P(I) + 0,22 \cdot P(N) - 0,14 \cdot P(S) \quad (12)$$

$$R^2 = 0,81$$

Onde:

IRI = irregularidade longitudinal do pavimento (m / km);

$P(I) = \frac{I-13}{8}$ , sendo I a idade em anos do revestimento;

$P(N) = \frac{N-5 \cdot 10^4}{10^5}$ , sendo N o número de solicitações de tráfego; e

$P(S) = \frac{S-5,5}{2}$ , sendo S o número estrutural corrigido.

f. Modelo desenvolvido por Lerch (2003)

$$\Delta IRI = 0,31 \cdot ESP + 0,87 \cdot IRI_{antes} - 3,17 \quad (13)$$

$$R^2 = 0,95$$

Onde:

$\Delta IRI = IRI_{antes} - IRI_{após}$  = variação do índice de irregularidade longitudinal (m/km) com a aplicação de camada de reforço;

ESP = espessura da camada de reforço (cm); e

$IRI_{antes}$  = índice de irregularidade longitudinal antes da aplicação do reforço (m/km);

g. Modelo desenvolvido por Nakahara (2005)

$$\Delta IRI = -2,383 + 0,102 \cdot h_{ref} + 0,862 \cdot IRI_{antes} \quad (14)$$

$$R^2 = 0,90$$

Onde:

$\Delta IRI = IRI_{antes} - IRI_{após}$  = variação do índice de irregularidade longitudinal (m/km) com a aplicação de camada de reforço;

$h_{ref}$  = espessura da camada de reforço (cm); e

$IRI_{antes}$  = índice de irregularidade longitudinal antes da aplicação do reforço (m/km);

$$IRI = \frac{1}{0,497 + 0,086 \cdot REF - 7,8 \cdot 10^{-9} \cdot D \cdot N} \quad (15)$$

$$IRI = \frac{1}{0,486 + 0,031 \cdot REF - 9,29 \cdot 10^{-3} \cdot e^{idade}} \quad (16)$$

$$IRI = \frac{1}{0,675 + 0,076 \cdot REF - 1,57 \cdot 10^{-8} \cdot D \cdot N_A - 0,012 \cdot \ln(N_A)} \quad (17)$$

Onde:

IRI = índice de irregularidade longitudinal (m/km);

REF=variável indicadora da espessura de reforço (-1, se  $h_{ref} < 10\text{cm}$ , ou 0 se  $h_{ref} \geq 10\text{cm}$ );

D= deflexão medida com o FWD (mm);

N=número de repetições equivalentes ao eixo padrão de 80kN, segundo o critério do DNER, em eixos-padrão/dia;

Idade = idade do pavimento desde a restauração (anos);

$N_A$ = número de repetições equivalentes ao eixo padrão de 80kN, segundo o critério da AASHTO, em eixos-padrão/dia;

h. Modelos desenvolvidos por Benevides (2006)

$$IRI = -0,141 \cdot PCI - 0,0211 \cdot DEF - 0,00641 \cdot TF + 15,636 \quad (18)$$

$$R^2 = 0,86$$

$$IRI = -8,303 \cdot PCI - 0,812 \cdot NEC - 0,0050 \cdot TF + 101,844 \quad (19)$$

$$R^2 = 0,93$$

Onde:

IRI = irregularidade longitudinal do pavimento (m/km);

PCI = Índice de Condição do Pavimento (%);

DEF = deflexão determinada com FWD ( $10^{-2}$  mm);

NEC = número estrutural corrigido obtido por correlação com a deflexão determinada com FWD; e

TF = porcentagem padrão do defeito Trinca por Fadiga (%).

i. Modelo desenvolvido por Albuquerque (2007)

$$IRI = -173,35 + e^{5,177+0,0011 \cdot C - 0,0023 \cdot S + 0,0046 \cdot N} \quad (20)$$

$$R^2 = 0,79$$

Onde:

IRI = índice de irregularidade longitudinal (m/km);

C = parâmetro representativo das condições climáticas;

S = parâmetro representativo do número estrutural corrigido; e

N = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

**TAB. 5 - Codificação para a variável independente C.**

Classificação Climática da UNESCO <sup>9</sup> (código)				
Úmido	Sub-Úmido Úmido	Sub-Úmido Seco	Semiárido	Árido e Hiper-Árido
-1	-0,5	0	0,5	1

j. Modelo desenvolvido por Vitorello (2008)

$$QI = 19,35 + 0,82 \cdot N_{acum} + 5,81 \cdot i \quad (21)$$

$$R^2 = 0,51$$

Onde:

QI = quociente de irregularidade (cont. / km);

N<sub>acum</sub> = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

i = fator de realização de intervenção (i=1, se ocorreu intervenção estrutural; i=0, se não ocorreu intervenção)

---

<sup>9</sup> Classificação que avalia a umidade disponível no meio.

## 2.4.2 AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA – ATR

A ação das cargas de tráfego sobre os pavimentos asfálticos provoca deformações de dois tipos: permanentes e recuperáveis. As deformações permanentes são aquelas que permanecem mesmo após cessar o efeito da atuação da carga, ou seja, tem caráter residual.

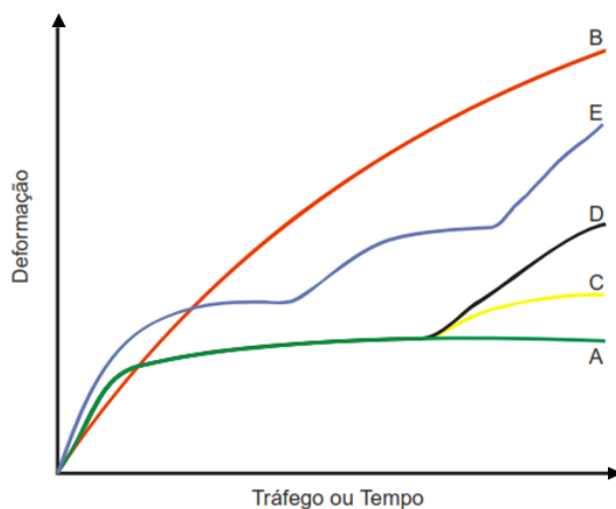
Entre as deformações permanentes em pavimentos, incluem-se os afundamentos nas trilhas de roda, deformações plásticas no revestimento e depressões. Esses defeitos causam acréscimos na irregularidade longitudinal afetando a dinâmica das cargas, a qualidade de rolamento, o custo operacional dos veículos e, devido ao acúmulo de água, riscos à segurança dos usuários. As causas das deformações permanentes podem estar associadas ao tráfego ou não, como é resumido na TAB. 6.

Os carregamentos do tráfego causam deformação em três situações, a saber:

- a) Quando os esforços induzidos nos materiais constituintes dos pavimentos são suficientes para causar cisalhamento, promovendo deslizamentos no interior do material. Neste caso, poucas cargas concentradas ou pressões excessivas nos pneus podem causar tensões que excedem a resistência ao cisalhamento dos materiais e ainda causam fluência plástica, cujo resultado são afundamentos sob a carga de roda.
- b) Carregamentos estáticos ou de longa duração podem causar afundamentos em materiais de comportamento viscoso, como as misturas betuminosas e alguns tipos de solo.
- c) Um grande número de repetições de cargas de pressões reduzidas podem causar pequenas deformações que se acumulam ao longo do tempo e se manifestam como afundamentos canalizados nas trilhas de roda.

**TAB. 6 - Resumo das causas e tipos de deformação permanente**

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



**FIG. 6 - Tipos de curvas de afundamento nas trilhas de roda considerando os efeitos de umidade e conservação. (Fonte: IPR-720, 2006)**

Condição do pavimento: A - sadio; B - debilitado; C e D - trincado com pouca conservação; e E - debilitado periodicamente.

Analisando a FIG. 6 quando aparecem as trincas e a água ingressa em um pavimento do tipo A, sem a conservação adequada, verifica-se que a velocidade com que a deformação cresce tende a apresentar um comportamento similar ao da curva C ou D. Pavimentos com problemas sazonais de temperatura e umidade podem apresentar curvas de deformação semelhantes ao tipo E.

A seguir são apresentando a formulação e os dados de entrada para os modelos de afundamento de trilha de roda (ATR) desenvolvidos com a base de dados dos estados brasileiros.

a. Modelo desenvolvido por Paterson (1987)

$$RDM = 1 \cdot AGE^{0,166} \cdot SNC^{-0,502} \cdot COMP^{-2,3} \cdot NE_4^{ERM} \quad (22)$$

$$ERM = 0,0902 + 0,0384 \cdot DEF - 0,009 \cdot RH + 0,00158 \cdot MMP \cdot CRX$$

$$R^2 = 0,42$$

Onde:

RDM = profundidade média das trilhas de roda (mm);

COMP = índice de compactação relativa média ponderada pela espessura da camada, sendo obtido em Paterson (1987);

DEF = deflexão máxima média medida com viga Benkelman ( $10^{-2}$  mm);

RH = variável que indica se o pavimento é restaurado ou não (RH=0, original; RH=1, restaurado);

MMP = precipitação média mensal (m / mês);

CRX = área de trincamento;

AGE = idade do pavimento desde a construção, restauração ou reconstrução (anos).

b. Modelo desenvolvido por Basílio (2002)

$$ATR = 6 \cdot 10^{-7} \cdot NA + 1,9814 \quad (23)$$

$$R^2 = 0,66$$

Onde:

ATR = profundidade média de trilhas de roda (mm);

NA = número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com o fator de carga da AASHTO.

c. Modelo desenvolvido por Vitorello (2008)

$$ATR = 2,36 + 0,56 \cdot N_{acum} \quad (24)$$

$$R^2 = 0,50$$

Onde:

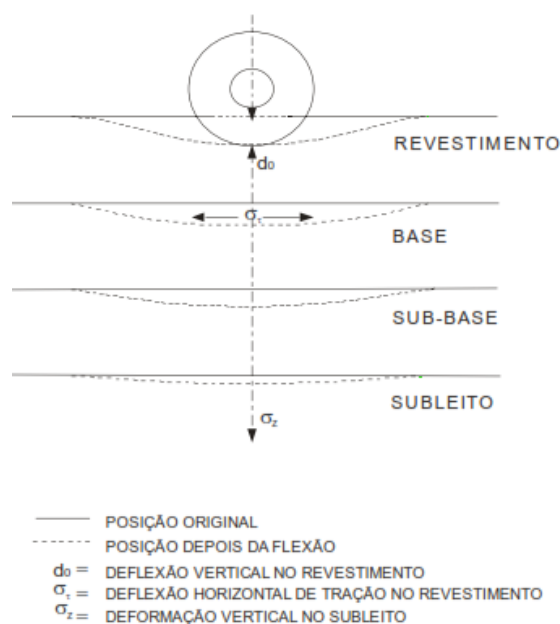
ATR = profundidade média de trilhas de roda (mm);

$N_{acum}$  = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

### 2.4.3 DEFLEXÃO

As deformações ou deflexões recuperáveis representam um indicativo de comportamento elástico da estrutura, deixando de existir alguns momentos após a retirada da carga. As deflexões recuperáveis provocam a arqueamento das camadas do pavimento, e sua repetição é a responsável pelo fenômeno de fadiga das camadas betuminosas.

A deflexão de um pavimento representa a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Quando uma carga é aplicada em um ponto (ou uma área) da superfície do pavimento, todas as camadas fletem devido às tensões e as deformações geradas pelo carregamento, conforme a FIG. 7.



**FIG. 7 - Deformação das camadas do pavimento**

A seguir são apresentadas as formulações e os dados de entrada para os modelos de deflexão desenvolvidos com a base de dados dos estados brasileiros.

a. Modelo desenvolvido por Marcon (1996)

$$DEFM = 24,288 + 3,5458 \cdot IDADE \quad (25)$$

$$R^2 = 0,37$$

$$DEFM = 44,928 + 1 \cdot 10^{-5} \cdot NA \quad (26)$$

$$R^2 = 0,50$$

Onde:

DEFM = deflexão máxima média ( $10^{-2}$  mm);

NA = número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com o fator de carga da AASHTO.

b. Modelo desenvolvido por Basílio (2002)

$$DERM = 7 \cdot 10^{-13} \cdot NA^2 + 9 \cdot 10^{-7} \cdot NA + 57,602 \quad (27)$$

$$R^2 = 0,61$$

Onde:

DEFM = deflexão máxima média ( $10^{-2}$  mm);

NA = número equivalente de operações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado com o fator de carga da AASHTO.

c. Modelo desenvolvido por Yshiba (2003)

Para pavimentos com revestimento original, foram obtidos os modelos apresentados a seguir:

$$DEF = 56 + 8,7 \cdot P(N) - 4,75 \cdot P(S) + 1,81 \cdot P(I) \cdot P(S) \quad (28)$$

$$R^2 = 0,62$$

Onde:

DEF = deflexão determinada com a Viga Benkelman ( $10^{-2}$  mm);

$P(I) = \frac{I-13}{8}$ , sendo I a idade em anos do revestimento;

$P(N) = \frac{N-5 \cdot 10^4}{10^5}$ , sendo N o número de solicitações de tráfego; e

$P(S) = \frac{S-5,5}{2}$ , sendo S o número estrutural corrigido.

Para pavimentos restaurados, por sua vez, foram desenvolvidos os modelos apresentados abaixo:



$$DEF = 47,2 + 2,2 \cdot P(I) + 3,81 \cdot P(N) - 2,7 \cdot P(S) + 1,44 \cdot P(N) \cdot P(S) \quad (29)$$

$$R^2 = 0,83$$

d. Modelo desenvolvido por Albuquerque (2007)

$$D_{VB} = e^{(3,747+0,092 \cdot C - 0,095 \cdot S + 0,299 \cdot N)} \quad (30)$$

$$R^2 = 0,91$$

Onde:

$D_{VB}$  = deflexão determinada com Viga Benkelman ( $10^{-2}$  mm);

C = parâmetro representativo das condições climáticas;

S = parâmetro representativo do número estrutural corrigido; e

N = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

$$D_{FWD} = e^{(3,6783+0,0601 \cdot C - 0,3265 \cdot S + 0,0888 \cdot N)} \quad (31)$$

$$R^2 = 0,84$$

Onde:

$D_{FWD}$  = deflexão determinada com Viga Benkelman ( $10^{-2}$  mm);

C = parâmetro representativo das condições climáticas; (TAB. 5)

$S = \frac{SNC - 4,08}{0,75}$  parâmetro representativo do número estrutural corrigido; e

$N = \frac{N_{acum} - 6,37 \cdot 10^6}{4,09 \cdot 10^6}$ , parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

e. Modelo desenvolvido por Vitorello (2008)

$$DEF = 47,87 + 1,65 \cdot N_{acum} \quad (32)$$

$$R^2 = 0,46$$

Onde:

DEF = deflexão determinada com FWD ( $10^{-2}$  mm);

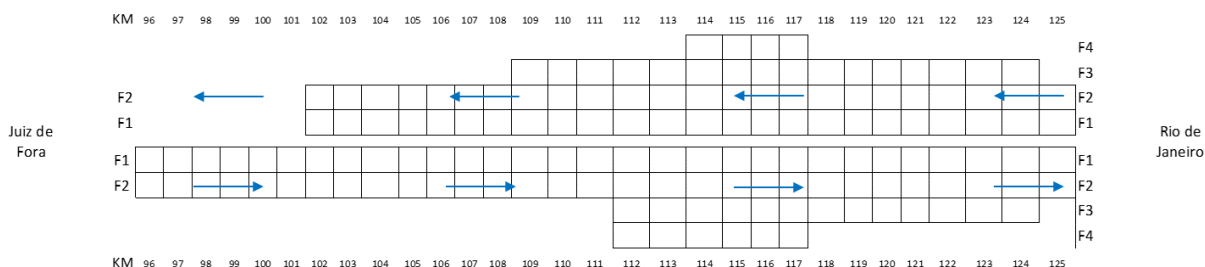
$N_{acum}$  = parâmetro representativo do número equivalente acumulado de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf, calculado pelo método da AASHTO.

### 3 ESTUDO DE CASO

O trecho de estudo se refere a uma rodovia federal concessionada, no estado do Rio de Janeiro. A concessionária disponibilizou todos os dados disponíveis para o estudo de caso sobre desempenho de pavimento, porém devido a políticas internas solicitou a não identificação da empresa.

#### 3.1 CONCEPÇÃO DO TRECHO DE ESTUDO

Para o desenvolvimento da presente dissertação foi selecionado um trecho de uma rodovia federal situada no Rio de Janeiro, com a concepção apresentada na FIG. 8. Como pode ser observado da FIG. 8 o trecho é composto de 29 km no sentido Rio de Janeiro e 23 km no sentido Juiz de Fora, o segmento entre o Km 96 e 101 não participou do estudo devido ao mesmo ser em pavimento rígido.



**FIG. 8 – Concepção do Trecho de Estudo**

Uma característica padrão de uma rodovia de múltiplas faixas é o tráfego pesado fluir mais nas faixas à direita (F3 e F4) e o tráfego de veículos leves utilizar prioritariamente as faixas internas (F1 e F2).

## 3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Os estudos hidrológicos foram procedidos com a finalidade de identificar e qualificar as circunstâncias climáticas e pluviométricas da área onde se localiza o trecho em estudo.

### 3.2.1 COLETA DE DADOS

Coletaram-se junto aos órgãos oficiais: dados hidrológicos e, em estudos existentes, dados referentes ao clima, pluviometria e geomorfologia da área em que se localiza o trecho.

A coleta de dados para os estudos hidrológicos foi desenvolvida com a finalidade de permitir a caracterização climática e pluviométrica na área. A adoção dos coeficientes de impermeabilização e run-off baseou-se no Manual de Drenagem de Rodovias IPR/DNIT-724 (2006).

Os dados utilizados para realização dos Estudos Hidrológicos foram dados pluviométricos fornecidos pela SIH/ANA - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas, a escolhida foi a estação de Xerém, com dados cadastrais mostrados na TAB. 7, por ser a mais representativa do regime pluviométrico da região.

**TAB. 7 - Informações Cadastrais da Estação Pluviométricas de Xerém**

Código	2243162
Nome	Xerém
Código Adicional	83764
Bacia	Atlântico, Trecho Leste (5)
Sub-Bacia	Rios Macaé, São João e outros (59)
Estado	Rio de Janeiro
Município	Duque de Caxias
Responsável	INMET
Operadora	INMET
Latitude	-22:35:0
Longitude	-43:18:0
Altitude (m)	33

### 3.2.2 CARACTERÍSTICA DA REGIÃO

O clima é tropical atlântico, classificado como Aw segundo o modelo de Köppen, e a média anual das temperaturas é de 23,1 °C. A média anual das temperaturas médias máximas mensais é 26,1 °C, e das médias mínimas mensais, 20 °C. Já as médias anuais das temperaturas máximas e mínimas absolutas aferidas em cada mês ficam, respectivamente, em 36,2 °C e 13,8 °C. Julho é o mês mais frio, com médias máxima e mínima de 24 °C e 17 °C, e janeiro, o mais quente (29 °C e 23 °C). Como pode ser melhor observado na TAB. 8.

**TAB. 8 - Dados climatológicos para Rio de Janeiro**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima registrada (°C)	42	42	40	40	38	37	38	42	42	42	43	41	43
Temperatura máxima média (°C)	29,4	30,2	29,4	27,8	26,4	25,2	25,3	25,6	25	26	27,4	28,6	27,2
Temperatura mínima média (°C)	23,3	23,5	23,3	21,9	20,4	18,7	18,4	18,9	19,2	20,2	21,4	22,4	21
Temperatura mínima registrada (°C)	17	17	17	15	10	7	11	10	13	12	13	17	7

Os verões são marcados por dias quentes e úmidos, eventualmente suplantando a barreira dos 40 °C em pontos isolados, enquanto os invernos apresentam-se amenos e com regime de chuvas mais restrito, com mínimas raramente inferiores a 10 °C. De modo geral, o ano pode ser dividido em duas estações: um quente e relativamente chuvosa, e outra de temperaturas amenas; desta forma, primavera e outono agregam-se às características das demais, tratando-se mais de intervalos de transição do que estações propriamente definidas.

A umidade relativa do ar denota índices aceitáveis durante todo o ano. A média no período que antecede o meio-dia fica em 84,6% e, após as doze horas, 70,8%. Junho, julho e agosto apresentam os menores percentuais no período vespertino: 69, 68 e 66%, respectivamente. (BBC Weather Centre, 2013)

### 3.2.3 REGIME PLUVIOMÉTRICO DA REGIÃO

Através de textos e dados coletados referentes ao clima, busca-se um entendimento desse fenômeno e a sua manifestação na área atravessada pela estrada, com precipitações, temperaturas, etc. Como se sabe, a precipitação, por exemplo, é um fenômeno explicado pelo entendimento do clima, que depende de fatores estáticos (topográficos, altitudes, longitudes, latitudes, presença de serras, vales, etc.) e de fatores dinâmicos como as correntes de circulação atmosférica (os anticiclones, as correntes perturbadas, etc.).

Para definição do posto pluviométrico foi levado em conta os seguintes fatores:

- Disponibilidade de dados em séries completas ou incompletas, durante o mesmo período;
- Proximidade geográfica com o trecho de estudo;
- Séries confiáveis.

Para estudo estatístico escolheu-se a estação de Xérem, TAB. 7, a qual define com segurança o regime pluviométrico da região e que tem série histórica confiável. Os dados foram obtidos junto ao ANA (Agência Nacional de Águas). A estação de Xerém tem um período de observação de 53 anos (1939 – 1991), tem maior proximidade média com o trecho e por apresentar valores maiores de coleta de dados de precipitação. Foram utilizados os dados dos últimos 31 anos de observação disponíveis e mais representativos.

Para a estação pluviométrica estudada, são apresentados precipitações totais anuais e precipitações mensais e número de dias de chuva por ano, conforme a , e .

TAB. 9 - Precipitações e Número de Dias de Chuva por Ano

Estação: XERÉM Pluviograma  
PRECIPITAÇÕES E NÚM. DE DIAS DE CHUVA S POR ANO

	Precipitação (mm)												Diagrama Climatológico
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	P(mm)	
Preo. Máx. Mensal	6.01,20	588,20	621,10	363,90	274,20	249,60	229,40	211,80	250,70	370,30	462,60	586,00	Prdx = 3342,9mm (Precip. Máxima Anual para o período)
Preo. Méd. Mensal	237,35	220,42	223,14	143,32	113,68	85,71	84,95	75,16	90,73	130,79	182,49	237,66	Prmá = 1536,59 mm (Precip. Média Anual para o período)
Preo. Mín. Mensal	8,30	6,80	7,50	6,00	17,50	21,40	18,80	8,00	10,60	5,50	16,00	5,30	Prmn = 239 mm (Precip. Mínima Anual para o período)
NDD Máx. Mensal	28	23	29	19	21	23	24	18	21	23	23	26	Nmáx = 202 (Núm. máximo de dias de chuva por ano no período)
NDD Méd. Mensal	12	11	12	10	9	8	8	7	8	11	11	13	Nméd = 123 (Média do núm. de dias de chuva por ano no período)
NDD Mín. Mensal	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Nmn = 14 (Número mín. de dias de chuva por ano no período)

Estação: Xerém

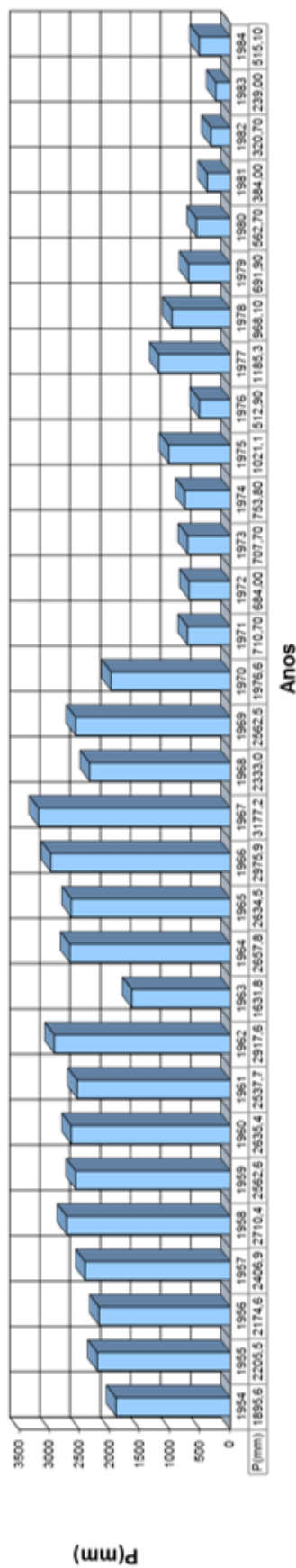


FIG. 9 - Precipitação Totais Anuais

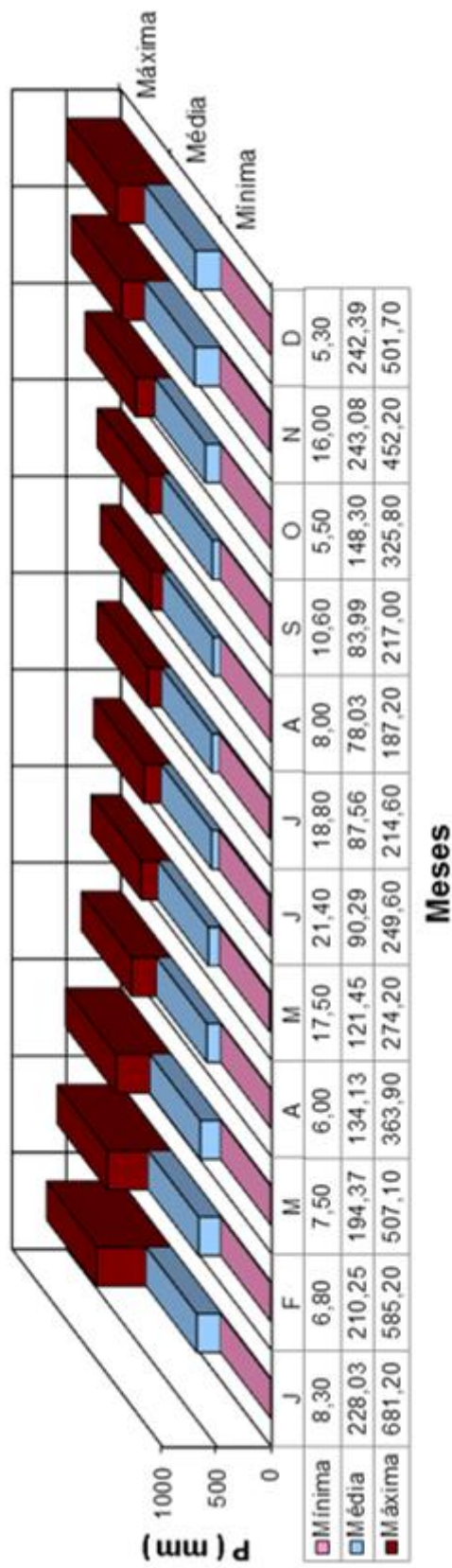


FIG. 10 - Precipitações Mensais

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DO TRÁFEGO

#### 3.3.1 METODOLOGIA PARA CÁLCULO NO NÚMERO N

Existem várias formas de calcular ou estimar o tráfego, dependendo da finalidade ou aplicação. Estudos da Engenharia de Tráfego são bastante diferentes da Engenharia de Pavimentos. O cálculo do número N, largamente empregado em projetos de pavimentos, consiste na determinação do número equivalente a um eixo tomado como padrão; em aplicações práticas no Brasil utiliza-se, derivado do Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis de 1981 do antigo DNER, o eixo simples com 82 kN.

A primeira etapa consiste na determinação do VDM (Volume Diário Médio) obtido por contagens classificatórias, as informações de contagem foram fornecidas pela Concessionária da rodovia. Como em casos de projetos que se pretende estimar o tráfego futuro é comum que se faça uma progressão com taxa de crescimento linear aritmética.

Desta forma:

$$VDM = \frac{VDM_{inicial} [2 + (P-1)t/100]}{2} \quad (33)$$

Onde P é o período de projeto, em anos e t a taxa de crescimento.

Então o volume total de tráfego em um sentido durante a vida de projeto (Vt) será:

$$V_t = 365.P.VDM \quad (34)$$

Conhecido Vt, calcula-se o N da forma que segue:

$$N = V_t.FV \quad (35)$$

Onde Fv é o Fator de veículo dado por:

$$FV = FE.FC \quad (36)$$

Onde FE é o fator de eixos, isto é, um número que multiplicado pelo número de veículos dá o número de eixos correspondentes, já FC é o fator de carga, um número que multiplicado pelo número de eixos que operam, dá o número de eixos equivalente ao eixo padrão. Por consequência o FV é um número que multiplicado pelo número de veículos dá diretamente o número de eixos equivalentes ao padrão. Para o cálculo do FV é necessário conhecer a composição do tráfego, sua tipologia (para determinação do FE) e carga por eixo (para o FC).



O Fator de Carga (FC) ou Fator de Equivalência de Carga (FEC) permite a conversão de aplicações de diferentes solicitações em um número equivalente de aplicações da solicitação padrão, para produzir o mesmo efeito no pavimento.

Os FC empíricos, geralmente, são calculados pelo método do USACE (TURNBULL, FOSTER e AHLVIM, 1962), presentes no Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis do DNER e no Método de Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – DNER-PRO 269/94 ou pelo método da AASHTO, modificado por TREYBIG E VON QUINTUS (1976), utilizado no Método de Restauração de Pavimentos Flexíveis – DNER-PRO 159/85.

As expressões para o cálculo dos FCs da AASHTO e do USACE presentes nos referidos métodos do DNER são apresentadas na TAB. 9. Os valores da potência das expressões estabelecidas por AASHTO para o cálculo dos FCs foram determinados em função da serventia final e do número estrutural do pavimento enquanto que os FCs do USACE transformam o efeito de cada carga tendo como referência o afundamento plástico no subleito, (considerado a 70 cm de profundidade e tendo como limite o padrão de 1 polegada de afundamento).

**TAB. 9 - Fatores de Carga da AASHTO e do USACE**

TIPOS DE EIXO	AASHTO	USACE
Simplex de rodagem simples	$FEC_{SS} = \left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$ (37)	$FEC_{SS} = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$ (38) para $P < 8$ t
Simplex de rodagem dupla	$FEC_{SD} = \left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$ (39)	$FEC_{SD} = 1,832 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$ (40) para $P \geq 8$ t
Tandem duplo de rodagem dupla	$FEC_{TD} = \left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$ (41)	$FEC_{TD} = 1,592 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$ (42) para $P < 11$ t
		$FEC_{TD} = 1,528 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$ (43) para $P \geq 11$ t
Tandem triplo de rodagem dupla	$FEC_{TT} = \left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$ (44)	$FEC_{TT} = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,355}$ (45) para $P < 18$ t
		$FEC_{TT} = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{3,579}$ (46) para $P \geq 18$ t

Onde P é a carga bruta total sobre o eixo em t.

A tipologia utilizada de veículos para fins de cobrança de pedágio e base de dados para o cálculo do número N é apresentada na FIG. 9. Além destes foram considerados, a partir do ano de 2002 veículos com 7, 8 e 9 eixos. Ressaltando que a categoria 10 é para veículos isentos, predominantemente veículos leves e para o cálculo do número N foi considerado similar a categoria 1.

<p><b>1</b> EIXOS 2 RODAGEM </p> <p>AUTOMÓVEL, CAMINHONETA E FURGÃO</p>	<p><b>2</b> EIXOS 2 RODAGEM </p> <p>CAMINHÃO LEVE, FURGÃO, ÔNIBUS E CAMINHÃO-TRATOR</p>	<p><b>3</b> EIXOS 3 RODAGEM </p> <p>AUTOMÓVEL COM SEMI-REBOQUE E CAMINHONETA COM SEMI-REBOQUE</p>
<p><b>4</b> EIXOS 3 RODAGEM </p> <p>CAMINHÃO, CAMINHÃO-TRATOR, CAMINHÃO-TRATOR COM SEMI-REBOQUE E ÔNIBUS</p>	<p><b>5</b> EIXOS 4 RODAGEM </p> <p>AUTOMÓVEL COM REBOQUE E CAMINHONETA COM REBOQUE</p>	<p><b>6</b> EIXOS 4 RODAGEM </p> <p>CAMINHÃO COM REBOQUE E CAMINHÃO-TRATOR COM SEMI-REBOQUE</p>
<p><b>7</b> EIXOS 5 RODAGEM </p> <p>CAMINHÃO COM REBOQUE E CAMINHÃO-TRATOR COM SEMI-REBOQUE</p>	<p><b>8</b> EIXOS 6 RODAGEM </p> <p>CAMINHÃO COM REBOQUE E CAMINHÃO-TRATOR COM SEMI-REBOQUE</p>	<p><b>9</b> EIXOS 2 RODAGEM <b>simples</b> </p> <p>MOTOCICLETA, MOTONETAS E BICICLETAS A MOTOR</p>

**FIG. 9 - Categorias de veículos utilizados para Cálculo do número N**

Neste caso, como não se dispõem de pesagem de todos os veículos foi considerado que 70% dos veículos trafegam com carga máxima legal e 30% dos veículos trafegam com 70% da carga máxima legal. As cargas máximas consideradas foram de 105, 180 e 255 kN para os Eixo Simples de Roda Duplas, Eixo Tandem Duplo e Eixo Tandem Triplo, respectivamente.

O Fator de Distribuição considerado foi de 95%, ou seja, se considera que 95% do tráfego comercial (que contribui para o N) utiliza a faixa considerada (da direita).

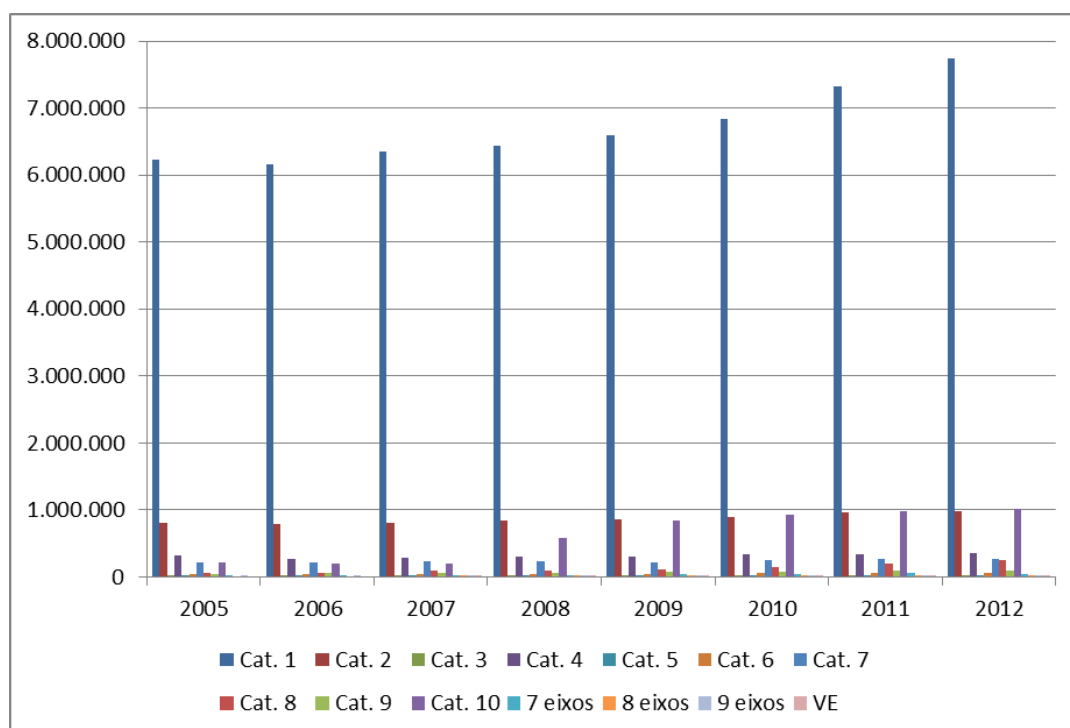
Com relação às taxas de crescimento utilizadas para a projeção futura do tráfego, é importante que ela seja fidedigna ao processo de crescimento, visto que, tem um importante impacto no número N após alguns anos. Os manuais do DNIT recomendam que taxas na ordem de 3,5 ou 4,0% sejam adotadas quando não se dispõe de séries históricas. Neste trabalho resgataram-se os dados históricos de 2005 a 2012 de forma a se estimar a evolução do tráfego para o ano de 2013, devido a não disponibilidade das informações do ano 2013.

### 3.3.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DE TRÁFEGO

A partir dos dados de veículos passantes na praça de pedágio em análise, apresentados na TAB. 10, foi possível calcular o número de operações (número N) de cada ano e então avaliar a evolução do tráfego durante o período considerado (2005 a 2012).

**TAB. 10 - Volume Classificatório do Tráfego**

Categoria/Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Cat. 1	6.234.002	6.154.930	6.355.673	6.431.908	6.598.340	6.830.924	7.316.970	7.748.474
Cat. 2	799.952	785.612	807.114	848.217	858.075	896.290	959.792	981.131
Cat. 3	5.859	5.671	5.743	6.382	7.492	7.370	7.594	7.660
Cat. 4	312.752	273.757	289.465	304.689	309.899	330.334	338.790	352.844
Cat. 5	549	569	537	530	691	712	762	675
Cat. 6	44.393	42.722	50.189	49.241	46.185	54.050	59.501	63.262
Cat. 7	211.736	217.052	231.606	225.877	218.052	250.886	273.040	259.086
Cat. 8	50.837	54.928	98.380	93.927	109.846	144.631	204.677	253.623
Cat. 9	45.404	53.133	61.549	64.697	69.348	79.147	87.422	98.765
Cat. 10	223.477	202.762	191.352	588.473	834.158	922.172	977.075	1.014.294
7 eixos	23.538	28.206	32.469	30.263	34.480	45.498	55.451	43.254
8 eixos	-	-	9	29	78	372	209	289
9 eixos	2.728	4.073	5.254	6.856	8.149	12.812	18.905	21.763
VE	-	-	910	2.164	2.050	2.871	1.696	2.467
Volume Total	7.955.227	7.825.421	8.130.250	8.653.253	9.096.843	9.578.067	10.301.884	10.847.587



**FIG. 10 - Volume Classificatório do Tráfego**

O tráfego apresentado na TAB. 10 e FIG. 10 é bidirecional e então, para fins de cálculo, foi considerado 50% por sentido. A TAB. 11 apresenta os valores do Número N para o período e a previsão para 2013.

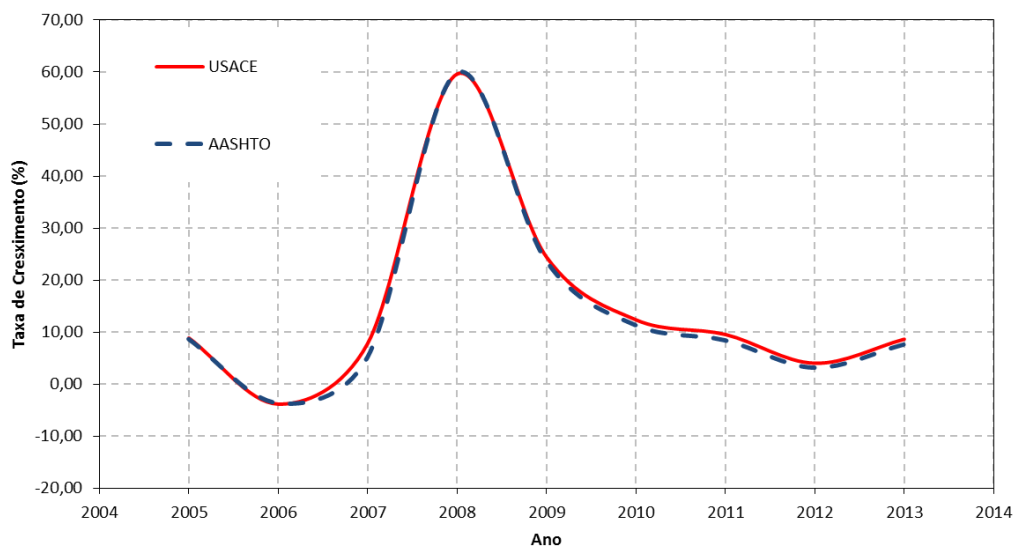
**TAB. 11 - Apresenta os valores do Número N e Taxa de Crescimento**

Ano	USACE			AASHTO		
	$N_{USACE}$	$N_{USACE}$ Acumulado	Taxa crescimento	$N_{AASHTO}$	$N_{AASHTO}$ Acumulado	Taxa crescimento
2005	7,04E+06	5,84E+07	8,89	3,15E+06	2,68E+07	8,75
2006	6,77E+06	6,51E+07	-3,82	3,03E+06	2,98E+07	-3,56
2007	7,30E+06	7,24E+07	7,84	3,19E+06	3,30E+07	5,24
2008	1,17E+07	8,41E+07	59,63	5,10E+06	3,81E+07	59,88
2009	1,45E+07	9,86E+07	24,44	6,31E+06	4,44E+07	23,71
2010	1,63E+07	1,15E+08	12,38	7,03E+06	5,14E+07	11,40
2011	1,79E+07	1,33E+08	9,56	7,63E+06	5,91E+07	8,50
2012	1,86E+07	1,51E+08	4,03	7,88E+06	6,70E+07	3,25
2013 - Previsto	2,02E+07	1,72E+08	8,66	8,49E+06	7,54E+07	7,72

Foi adotada uma taxa de crescimento, para previsão de 2013, como sendo o valor médio dos três últimos anos. A TAB. 12 apresenta a média de crescimento real em diversos períodos e a FIG. 11 a representação do crescimento em cada ano, dentro do intervalo de estudo.

**TAB. 12 - Taxa de Crescimento nos Períodos**

Taxa de Crescimento nos Período	USACE	AASHTO
Média de TC	9,31 %	8,35 %
Média de TC - últimos 10	12,29 %	11,51 %
Média de TC - últimos 5	22,01 %	21,35 %
Média de TC - últimos 3	8,66 %	7,72 %
Média de TC - últimos 2	6,80 %	5,88 %



**FIG. 11 - Taxa de Crescimento ao longo dos anos**

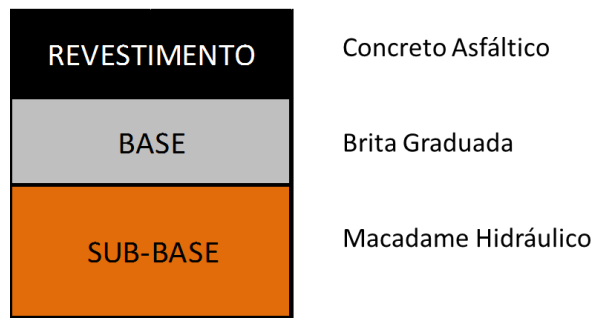
### 3.4 CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO

#### 3.4.1 MATERIAIS E ESPESSURAS

Foram coletadas informações sobre ensaios e levantamentos realizados no trecho em estudo, algumas informações foram obtidas no banco de dados do DNER, atualmente DNIT, as demais a partir de ensaios de laboratório e de campo.

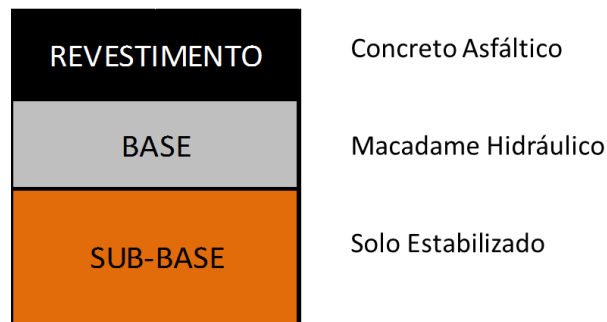
Para cada sentido da rodovia o pavimento possui uma constituição. A rodovia no sentido Juiz de Fora possui a constituição do pavimento de revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), base de brita graduada (BGR) e sub-base de macadame hidráulico, conforme a FIG. 12. No sentido oposto, Rio de Janeiro, a estrutura do pavimento é composta de revestimento em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), base de macadame hidráulico, sub-base de solo estabilizado granulometricamente (SGR), conforme ilustrada na FIG. 13.

### ESTRUTURA DO PAVIMENTO



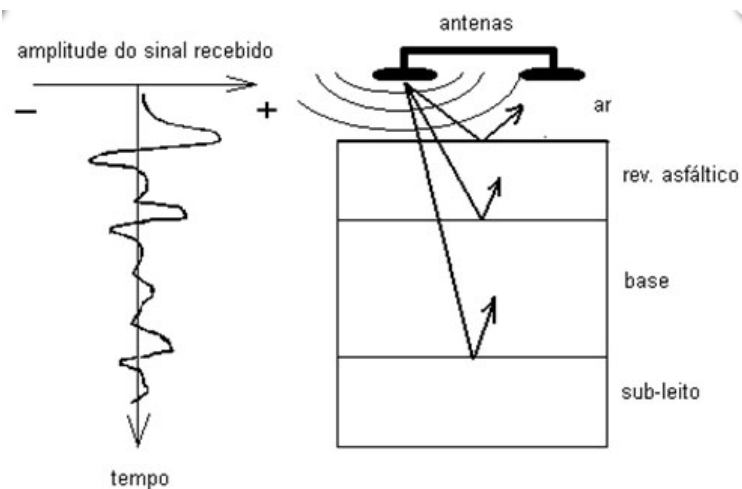
**FIG. 12 - Estrutura do Pavimento sentido JF.**

### ESTRUTURA DO PAVIMENTO



**FIG. 13 - Estrutura do Pavimento sentido RJ.**

Foi realizada a determinação das espessuras das camadas do pavimento por meio do Ground Penetrating Radar – GPR (FIG. 14 e FIG. 15) em fevereiro de 2013, os resultados obtidos são apresentados na TAB. 13.



**FIG. 14 - Esquemático do Funcionamento do GPR. (Fonte: Site Dynatest)**



**FIG. 15 - Exemplo de Levantamento em GPR. (Fonte: Site Dynatest)**

**TAB. 13 - Espessuras dos Segmentos por GPR**

Início (km)	Final (km)	Sentido	FX	Espessura GPR	
				Revestimento (cm)	Base + Sub Base Granular (cm)
124,0	125,2	JF	1	15,0	34,0
124,0	125,2	RJ	1	9,0	47,0
124,0	125,2	JF	2	15,0	34,0
124,0	125,2	RJ	2	12,0	40,0
117,7	124,0	JF	1	15,0	34,0
117,7	124,0	RJ	1	14,0	38,0
117,7	124,0	JF	2	15,0	34,0
117,7	124,0	RJ	2	10,0	40,0
117,7	124,0	JF	3	10,0	40,0
117,7	124,0	RJ	3	9,0	40,0
111,5	117,7	JF	1	14,0	33,0
111,5	117,7	RJ	1	13,0	38,0
111,5	117,7	JF	2	16,0	32,0
111,5	117,7	RJ	2	14,0	37,0
111,5	117,7	JF	3	16,0	36,0
111,5	117,7	RJ	3	15,0	42,0
108,8	111,5	JF	1	14,0	23,0
108,8	111,5	RJ	1	14,0	22,0
108,8	111,5	JF	2	18,0	26,0
108,8	111,5	RJ	2	14,0	27,0
108,8	111,5	JF	3	16,0	30,0
102,1	108,8	JF	1	8,0	43,0
102,1	108,8	RJ	1	9,0	40,0
102,1	108,8	JF	2	8,0	44,0
102,1	108,8	RJ	2	9,0	39,0
89,0	102,1	JF	1	8,0	38,0
89,0	102,1	RJ	1	8,0	43,0
89,0	102,1	JF	2	6,0	41,0
89,0	102,1	RJ	2	7,0	40,0

Outra fonte de informação sobre a característica do pavimento foi obtida por meio de realização de ensaios em trincheiras abertas no bordo da pista em novembro de 2012, como podem ser visualizados nas FIG. 16 e FIG. 17 e os resultados são apresentados na TAB. 18.





**FIG. 16 - Abertura das Trincheiras na Rodovia**



**FIG. 17 - Realização dos Ensaios dos Materiais Coletados**

**TAB. 14 - Característica do Pavimento nas Trincheiras**

Localização (km)	Sentido	Espessura - Trincheira (Bordo da Pista)				Umidade Base h (%)	Subleito				
		Revestimento (cm)	Base (cm)	Sub Base (cm)	Base + Sub Base (cm)		Densidade Máxima(lab) (g/cm³)	Umidade Ótima hotm(%)	Umidade de Campo h campo (%)	Densidade de Campo(g/cm³)	Grau de Compactação (%)
124,0	JF	10	20	20	40	5,5	1610	22,4	17	1655	102,8
119,0	RJ	21	22	0	22	4,3	*	*	*	*	*
114,0	JF	9	14	20	34	4,8	1839	12,2	16,1	1792	97,4
109,0	RJ	23	20	20	40	4,5	*	*	*	*	*
104,0	JF	8,5	22	20	42	4,2	1695	18	18,6	1711	100,9
99,0	RJ	21	10	22	32	3,6	1520	24	23,6	1561	102,7

\* Não houve coleta Macadame

Um estudo interno desenvolvido pela concessionária consistiu na determinação dos módulos de resiliência *in situ* de cada camada do pavimento através do processo de retroanálise das bacias de deformação medidas com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

Neste sentido os dados utilizados no estudo em questão foram os seguintes:

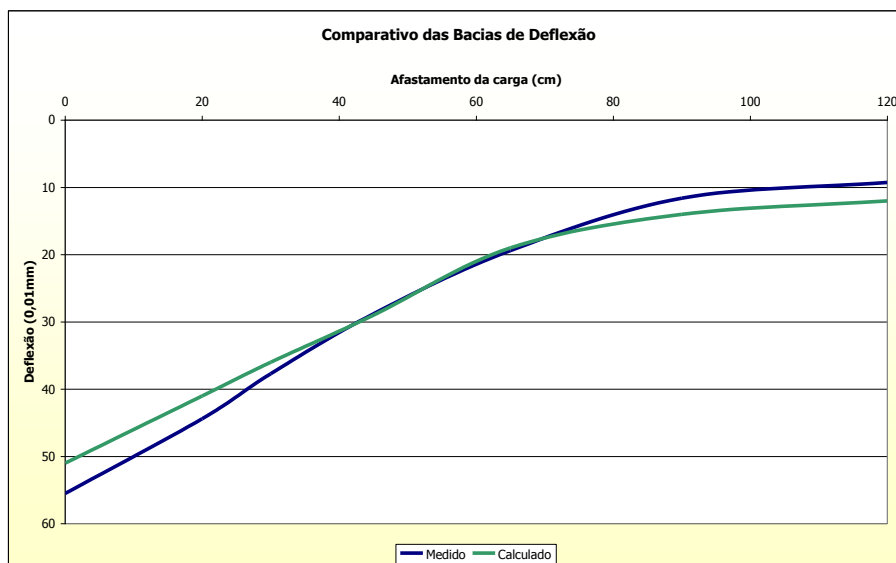
- Bacias de deflexões medidas com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), medidas no segundo semestre de 2006 e apresentadas em relatório individualizado;
- Estrutura do pavimento existente ao longo da rodovia, em termos de espessuras e materiais constituintes, informada pela operação da responsável da rodovia.

A retroanálise das bacias de deflexões consiste num sistema iterativo onde, tendo-se os dados do pavimento referentes às deflexões medidas em campo, espessuras das camadas e respectivos coeficientes de Poisson, faz-se o cálculo através da Teoria da Elasticidade de um sistema de módulos para as diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento, de forma a se obter, por meio de tentativas, uma boa comparação entre a bacia de deflexões teórica (calculada) com aquela obtida em campo.

Desta forma, o objetivo desta etapa é a caracterização do comportamento de cada uma das camadas constituintes do pavimento *in situ*, através de seus módulos de resiliência. Assim, esta etapa contemplou a retroanálise pontual das bacias de deflexões medidas com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), tendo como base o conhecimento prévio das espessuras das camadas do pavimento e seus materiais constituintes, resultados da coleta de dados junto à administradora da rodovia.

O processo de retroanálise consiste resumidamente em um processo iterativo, onde de posse dos dados do pavimento (espessura das camadas, coeficientes de Poisson, carregamento e superfície deformada), determina-se um sistema de módulos para as camadas constituintes da estrutura.

Este processo se dá a partir do cálculo e comparação de uma superfície deformada com aquela obtida em campo, objetivando minimizar as diferenças, de acordo com a FIG. 18.



**FIG. 18 - Comparativo das Bacias de Deflexão**

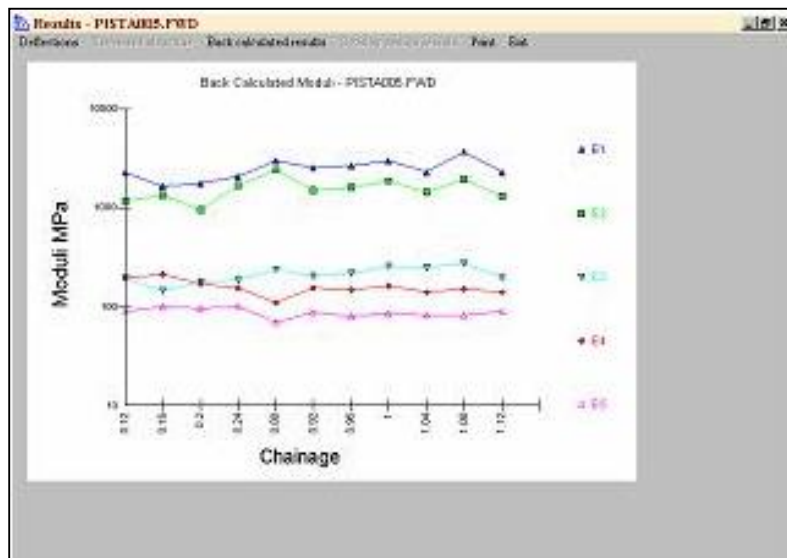
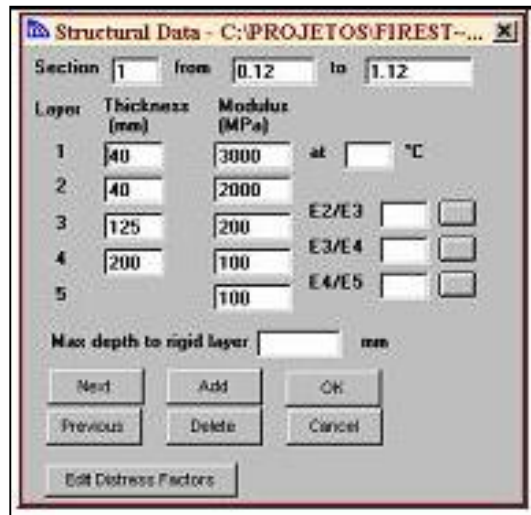
Desta forma os módulos retroanalisados poderiam ser descritos como sendo os módulos de resiliência em resposta ao carregamento de sistemas estruturados, pois a deformação total da estrutura é composta basicamente pelas deformações particulares de cada material constituinte da estrutura, relacionada às características de rigidez das mesmas.

No presente estudo empregou-se o programa computacional Elmod4, que é um software específico para cálculos mecânicos e avaliações estruturais, cujos dados de entrada são os arquivos de leitura do FWD, a estrutura do pavimento e os módulos de resiliência de cada camada (ou a relação entre os módulos das diferentes camadas). O processo é realizado para cada estação de ensaio deflectométrico individualmente, no intuito de se minimizar o RMS (*Root Mean Square Error*), raiz quadrada das somas dos quadrados das diferenças entre as deformadas calculadas e medidas), cuja EQ. é apresentada a seguir.

$$\text{RMS error (\%)} = \left[ \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \left( \frac{100 \times (d_c - d_m)}{d_m} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (47)$$

Segundo a literatura internacional, a checagem de erros pelo RMS leva a um resultado melhor, pois a abrangência da checagem é independente do número de pontos de leitura das deformações na superfície deformada.

Apresentam-se a seguir, a título ilustrativo, a FIG. 19 com algumas das telas do programa utilizado para a determinação do MR.



**FIG. 19 - Telas do Programa do Cálculo do MR**

Foram utilizadas as informações de módulo de resiliência apresentados pela concessionária, pois não ocorreram alterações significativas na estrutura do pavimento e a mesma utiliza essa informação nos demais estudos sobre pavimento.

Os resultados pontuais obtidos para cada uma das camadas do pavimento encontram-se em planilhas e gráficos apresentados no Anexo A.

- $E_1$  o módulo de resiliência do revestimento;
- $E_2$  o módulo de resiliência do conjunto base + sub-base;
- $E_3$  o módulo de resiliência do subleito.

### 3.4.2 INTERVENÇÕES REALIZADAS

Durante o período estudo, foram levantados os segmentos e os tipos de intervenções realizados. Constatou-se a realização de dois tipos de intervenções no pavimento, o Tipo A, com função de recuperação estrutural e o Tipo B com melhoria apenas funcional.

As intervenções do Tipo A contemplam a fresagem da capa asfáltica existente e execução de nova camada asfáltica, com a recomposição da mesma espessura de CBUQ convencional. As espessuras de fresagem variam, mas, são predominantemente de 4 cm. Esse tipo de intervenção pode vir a alterar as condições estruturais, funcionais e comportamentais do pavimento. Assim, na análise do presente estudo, será avaliada a possibilidade de utilização das intervenções realizadas no trecho para elaboração dos modelos.

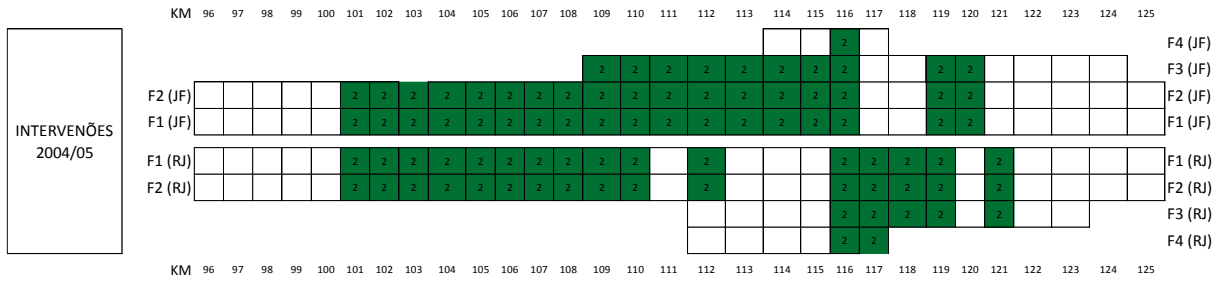
A intervenção do Tipo B possui objetivo de melhorar características funcionais, corresponde à aplicação de uma camada de micro-revestimento asfáltico a frio (MRAF). Segundo Bernucci *et al.*, 2006 o micro-revestimento age como elemento de impermeabilização e rejuvenescimento da condição funcional do pavimento em revestimentos com desgaste superficial, pequeno grau de trincamento, repor a condição de atrito superficial e resistência à aquaplanagem. Entretanto, irregularidades e deformações plásticas não serão alteradas com a aplicação do micro-revestimento e não haverá aumento da capacidade estrutural do pavimento, embora a impermeabilização da camada de revestimento possa reduzir as deflexões pelo fato de evitar a penetração de água às camadas subjacentes. Assim, na análise do presente estudo não será considerado esse tipo de intervenção para o desenvolvimento dos modelos.

Os diagramas unifilares do trecho de estudo, conforme FIG. 20, FIG. 21, FIG. 22, FIG. 23, FIG. 24, FIG. 25, mostram as intervenções ao longo do período de estudo em cada segmento e para melhor compreensão do diagrama, a TAB. 15 ilustra a legenda do diagrama. Para os segmentos que não havia informações sobre a realização de intervenções, foram considerados como intervenção não realizada no período.

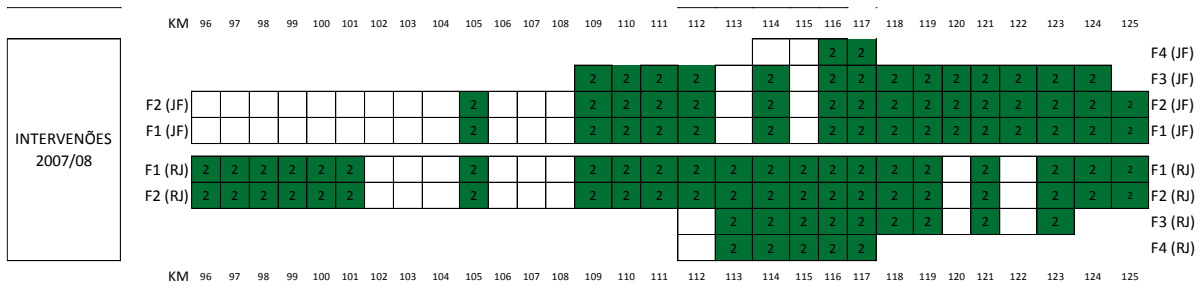
**TAB. 15 - Legenda do diagrama unifilar das intervenções**

**LEGENDA**

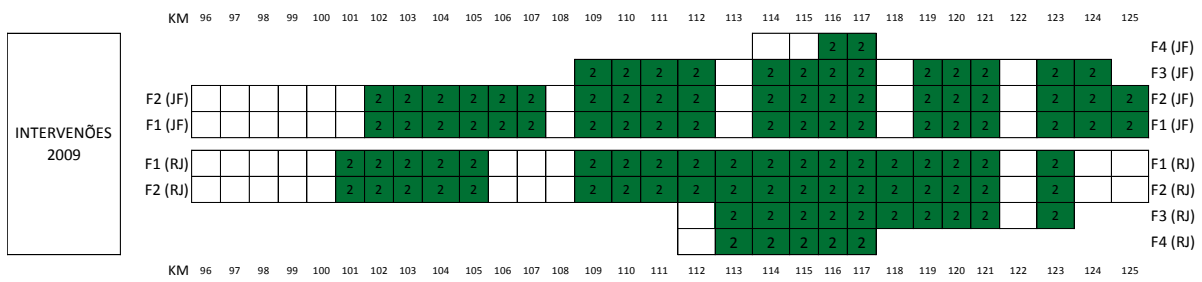
INTERVENÇÕES	
1	Microrrevestimento Asfáltico (MRAF)
2	Fresagem com recomposição (CBUQ)
1 e 2	Ambas intervenções



**FIG. 20 - Intervenções realizadas em 2004/2005**



**FIG. 21 – Intervenções realizadas em 2007/2008**



**FIG. 22 – Intervenções realizadas em 2009**

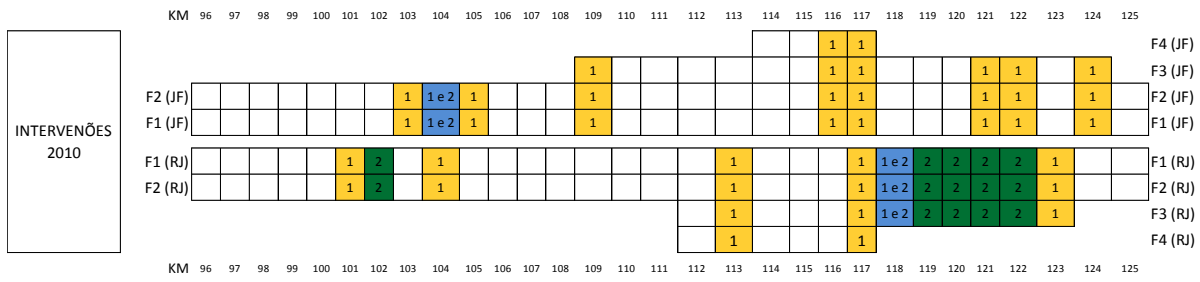


FIG. 23 – Intervenções realizadas em 2010

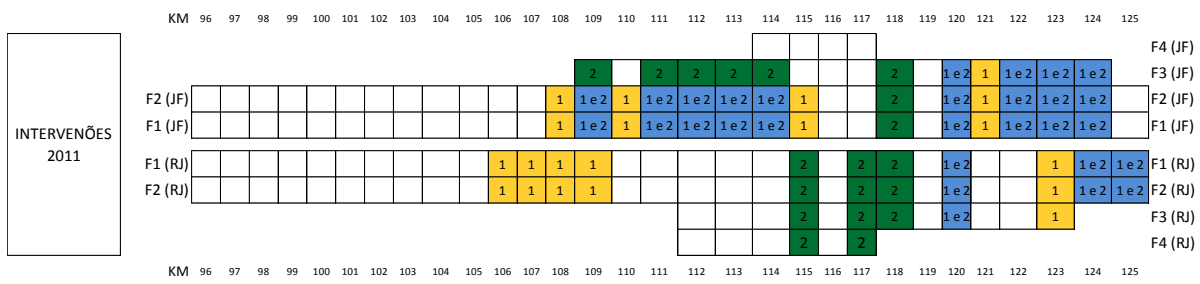


FIG. 24 – Intervenções realizadas em 2011

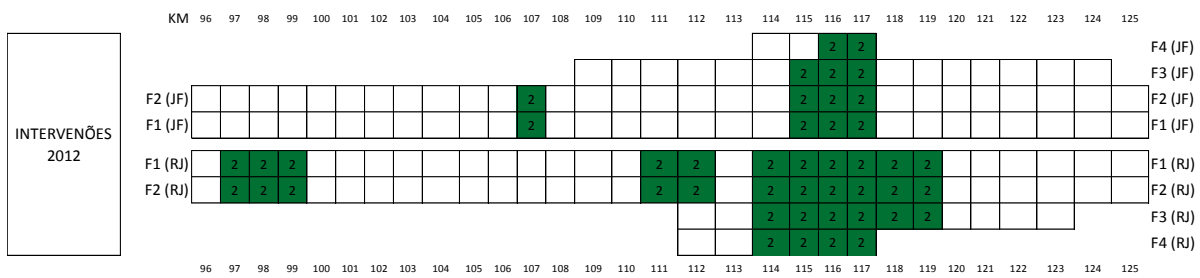


FIG. 25 – Intervenções realizadas em 2012



## 4 MÉTODO

### 4.1 NÚMERO ESTRUTURAL CORRIGIDO (SNC)

O número estrutural corrigido (SNC) é um parâmetro associado à capacidade estrutural do pavimento. O SNC foi determinado utilizando os dados fornecidos pelo FWD (Falling Weight Deflectometer). Assim, o SNC pode ser estimado através da utilização de EQ. de correlação com a deflexão máxima do pavimento medida com a viga Benkelman ( $D_{VB}$ ). Para o estudo será utilizada a correlação apresentada por Watanatada *et al* (1987), apresentada a seguir:

$$SNC = 3,2 \cdot D_{VB}^{-0,63} \quad (48)$$

Onde:

SNC: Número Estrutural Corrigido

$D_{VB}$ : Deflexão Máxima do pavimento medida com a Viga Benkelman, em mm.

Essa EQ. foi obtida mediante análise estatística de dados coletados durante a Pesquisa de Inter-relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovias (GEIPOT, 1981).

### 4.2 COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE DEFLEXÃO

Dos equipamentos caracterizados 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 elevada produtividade e acurácia no levantamento dos dados.

A maior deficiência da Viga Benkelman é a falta de repetibilidade entre as leituras, que podem ser afetadas por (MOTTA, 1999; ROCHA e RODRIGUES, 1998):

- 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.

As leituras levantadas com a viga em pontos próximos à aplicação da carga são bastante confiáveis, variando entre 4 e 10% (MOTTA, 1999). No entanto, para leituras efetuadas a uma distância superior a 1m apresentam incerteza para o valor da deflexão entre 20 e 50% (ROCHA e RODRIGUES, 1998).

Para que as determinações de deflexão feitas com uso do FWD possam ser correlacionadas com as determinações realizadas com a Viga Benkelman muitos pesquisadores, embora de difícil generalização, vêm tentando obter correlações entre as medidas obtidas por estes equipamentos. A seguir é indicada a EQ. utilizada no presente estudo e desenvolvida por Cardoso (1992) e apresentada em Marcon (1996) e no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos – DNIT (2006):

$$D_{FWD} = 2,8281 + 0,7502 \cdot D_{VB} \quad (49)$$

Onde:

$D_{FWD}$ : Deflexão Máxima do pavimento medida com a FWD, em mm;

$D_{VB}$ : Deflexão Máxima do pavimento medida com a Viga Benkelman, em mm.

### 4.3 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A regressão linear múltipla se refere a uma situação em que a reta ajustada não descreve bem o conjunto de dados e, com isso, podem ser levadas em consideração outras variáveis independentes que possivelmente influenciam no valor de Y, a variável dependente. Ou seja, a regressão múltipla pode ser usada no intuito de melhorar o modelo desenvolvido para explicar o comportamento das variáveis do banco de dados que estão sendo estudadas.

A regressão linear múltipla é uma técnica multivariada cuja finalidade principal é obter uma relação matemática entre uma das variáveis estudadas (variável dependente) e o restante das variáveis que descrevem o sistema (variáveis independentes).

#### 4.3.1 ABORDAGEM MATRICIAL PARA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

No ajuste de um modelo de regressão múltipla, é mais conveniente expressar as operações matemáticas usando a notação matricial. Haja  $p$  regressores e  $n$  observações ( $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i$ ),  $i = 1, 2, \dots, n$ , e que o modelo relacionando os regressores à resposta seja

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + e_i \quad (50)$$
$$i = 1, 2, \dots, n$$

Esse modelo é um sistema de  $n$  equações, que pode ser expresso em notação matricial como:

$$y = X\beta + e \quad (51)$$

Sendo:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix}$$
$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$
$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$
$$e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}$$

Em geral,  $y$  é um vetor ( $n \times 1$ ) das observações,  $X$  é uma matriz ( $n \times p$ ) dos níveis das variáveis independentes,  $\beta$  é um vetor ( $p \times 1$ ) dos coeficientes de regressão e  $e$  é um vetor ( $n \times 1$ ) dos erros aleatórios.

O objetivo é encontrar o vetor dos estimadores de mínimos quadrados,  $\hat{\beta}$ , que minimiza

$$L = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e'e = (y - X\beta)'(y - X\beta) \quad (52)$$

O estimador de mínimos quadrados  $\hat{\beta}$  é a solução para  $\beta$  na EQ.

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = 0 \quad (53)$$

As equações normais de mínimos quadrados na forma matricial, que têm de ser resolvidas são:

$$X'X\hat{\beta} = X'y \quad (54)$$

Com a finalidade de resolver as equações normais, multiplica-se ambos os lados da EQ. pelo inverso de  $(X'X)^{-1}$ . E a estimativa de mínimo quadrados de  $\beta$  é

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \quad (55)$$

Observe que há  $p = k + 1$  equações normais para  $p = k + 1$  incógnitas (os valores  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ ). Na prática, os cálculos de regressões múltiplas são quase sempre realizados em um computador. No presente estudo a ferramenta utilizada para a realização dos cálculos foi o EXCEL.

O notação matricial do modelo ajustado é

$$\hat{y} = X\hat{\beta} \quad (56)$$

A diferença entre a observação  $y_i$  e o valor ajustado  $\hat{y}_i$  é um resíduo,

$$e = y - \hat{y} \quad (57)$$

#### 4.3.2 PROPRIEDADES DOS ESTIMADORES DE MÍNIMOS QUADRADOS E ESTIMAÇÃO DE $\sigma^2$

As propriedades estatísticas dos estimadores de mínimos quadrados  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$  podem ser encontradas, sujeitas a certas suposições sobre os termos de erro  $e_1, e_2, \dots, e_m$  no modelo de regressão. Paralelamente às suposições feitas em relação ao termo do erro  $e_i$  no modelo de regressão sejam normal e independentemente distribuídos com média zero e variância  $\sigma^2$ . Sob essas suposições, os estimadores de mínimos quadrados  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$  são estimadores não tendenciosos dos coeficientes de regressão  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ . Essa propriedade é mostrada a seguir:

$$\begin{aligned} E(\hat{\beta}) &= E[(X'X)^{-1}X'y] \\ &= E[(X'X)^{-1}X'(X\beta + e)] \\ &= E[(X'X)^{-1}X'X\beta + (X'X)^{-1}X'e] \\ E(\hat{\beta}) &= \beta \end{aligned} \quad (58)$$

Uma vez que  $E(e) = 0$  e  $(X'X)^{-1}X'X = I$ , a matriz identidade. Assim  $\hat{\beta}$  é um estimador não tendencioso de  $\beta$ .

As variáveis dos  $\hat{\beta}$  são expressas em termos dos elementos da inversa da matriz  $X'X$ . A inversa de  $X'X$  vezes a constante  $\sigma^2$  representa a matriz covariância dos coeficientes de regressão  $\hat{\beta}$ . Os elementos da diagonal de  $\sigma^2((X'X)^{-1})$  são variâncias de  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ , e os elementos fora da diagonal dessa matriz são as covariâncias. Por exemplo, se tiver  $k=2$  regressores.

$$C = (X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} C_{00} & C_{01} & C_{02} \\ C_{10} & C_{11} & C_{12} \\ C_{20} & C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \quad (59)$$

Que é simétrica ( $C_{10}=C_{01}, C_{20}=C_{02}, C_{21}=C_{12}$ ) porque  $(X'X)^{-1}$  é simétrica, tendo-se

$$\begin{aligned} V(\hat{\beta}_j) &= \sigma^2 C_{jj}, j = 0, 1, 2 \\ cov(\hat{\beta}_i, \hat{\beta}_j) &= \sigma^2 C_{ij}, i \neq j \end{aligned} \quad (60)$$

Em geral, a matriz de covariância de  $\hat{\beta}$  é uma matriz simétrica ( $p \times p$ ), cujo  $jj$ -ésimo elemento é a variância de  $\hat{\beta}_j$  e cujo  $ij$ -ésimo elemento é a covariância entre  $\hat{\beta}_i$  e  $\hat{\beta}_j$ , ou seja,

$$cov(\hat{\beta}) = \sigma^2 (X'X)^{-1} = \sigma^2 C \quad (61)$$

As estimativas das variâncias desses coeficientes de regressão são obtidas trocando  $\sigma^2$  pela estimativa apropriada. Quando  $\sigma^2$  for trocada pela estimativa  $\hat{\sigma}^2$ , a raiz quadrada da variância estimada do  $j$ -ésimo coeficiente de regressão é chamada de erro padrão estimado de  $\hat{\beta}_j$ , ou  $ep(\hat{\beta}_j) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}$ . Da mesma forma que na regressão linear simples, a estimativa de  $\sigma^2$  é definida em termos da soma quadrática dos resíduos

$$SQ_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (62)$$

Já que pode ser mostrado que o valor esperado da quantidade  $SQ_E$  é  $\sigma^2(n-p)$ , um estimado não tendencioso de  $\sigma^2$  é dado pela média quadrática residual ou dos erros.

$$\sigma^2 = MQ_E = \frac{SQ_E}{n-p} \quad (63)$$

A  $MQ_E$  aparecerá na saída da maioria dos programas computacionais utilizados para o cálculo da regressão múltipla, mas pode ser calculado pela fórmula:

$$SQ_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = e'e \quad (64)$$

Substituindo  $e = y - \hat{y} = y - X\hat{\beta}$ , pode-se mostrar que

$$SQ_E = y'y - \hat{\beta}'X'y \quad (65)$$

Por conseguinte, uma outra maneira de escrever a variância é a seguinte:

$$\sigma^2 = \frac{SQ_E}{n-p} = \frac{y'y - \hat{\beta}'X'y}{n-p} \quad (66)$$

### 4.3.3 TESTE PARA A SIGNIFICÂNCIA DA REGRESSÃO

Nos problemas de regressão linear múltipla, certos testes de hipóteses relativos aos parâmetros do modelo são uteis na medida da adEQ. deste.

O teste para a significância da regressão é um teste para determinar se existe uma relação linear entre a variável de resposta  $y$  e um subconjunto de regressores  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . As hipóteses apropriadas são

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ para no mínimo um } j$$

A rejeição de  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$  implica que no mínimo um dos regressores  $x_1, x_2, \dots, x_k$  contribui significativamente para o modelo.

O teste para a significância da regressão é uma generalização do procedimento usado na regressão linear simples. A soma quadrática total  $SQ_T$  é dividida na soma quadrática devido à regressão e na soma quadrática devido ao erro,

$$SQ_T = SQ_R + SQ_E \quad (67)$$

e se  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$  for verdadeira, então  $SQ_R/\sigma^2$  será uma variável aleatória qui-quadrado, com  $k$  graus de liberdade. O número de graus de liberdades para essa variável qui-quadrado é igual ao número de regressores no modelo.  $SQ_R/\sigma^2$  é uma variável aleatória qui-quadrado, com  $n-p$  graus de liberdades e que  $SQ_R$  e  $SQ_E$  são independentes. A estatística de teste para  $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ .

Deve-se rejeitar  $H_0$  se o valor calculado da estatística de teste na EQ.  $SQ_T, f_0$ , for maior do que  $f_{\alpha, k, n-p}$ . O procedimento é geralmente resumido na forma da TAB. 16.

**TAB. 16 – Análise de variância para testar a significância da regressão na regressão múltipla**

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F
Regressão	$SQ_R$	k	$MQ_R$	$MQ_R/MQ_E$
Erro ou Resíduo	$SQ_E$	n-p	$MQ_E$	
Total	$SQ_T$	n-1		

Uma fórmula de cálculo para  $SQ_R$  pode ser encontrada facilmente. Agora uma vez que

$$SQ_T = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}, \text{ pode-se escrever a EQ. de } SQ_E \text{ como:}$$

$$SQ_E = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} - \left[ \hat{\beta}'X'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \right] \quad (68)$$

ou

$$SQ_E = SQ_T - SQ_R \quad (69)$$

Desse modo, a soma quadrática da regressão é

$$SQ_R = \hat{\beta}'X'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (70)$$

#### 4.3.4 INTERVALO DE CONFIANÇA E PREVISÃO PARA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Nos modelos de regressão múltipla, é frequentemente útil construir estimativas de intervalo de confiança para os coeficientes de regressão  $\beta_j$ . O desenvolvimento de um procedimento para obter esses intervalos de confiança requer que os erros  $e_i$  sejam normal e independentemente distribuídos com média zero e variância  $\sigma^2$ . Essa é a mesma suposição requerida no teste de hipóteses. Logo, as observações  $Y_i$  são normais e independentemente distribuídas, com média  $\beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij}$  e variância  $\sigma^2$ . Uma vez que o estimador de mínimos quadrados  $\hat{\beta}$  é normalmente distribuído com vetor médio  $\beta$  e matriz de covariância  $\sigma^2(X'X)^{-1}$ . Então cada uma das estatísticas

$$\frac{\hat{\beta}_j - \beta_j}{\sqrt{\sigma^2 C_{jj}}} \quad j = 0, 1, \dots, k \quad (71)$$

Tem uma distribuição t, com n-p graus de liberdade, sendo  $C_{jj}$  o j-ésimo elemento da matriz  $(X'X)^{-1}$  e  $\sigma^2$  a estimativa da variância do erro. Isso conduz ao intervalo de confiança de  $100(1-\alpha)\%$  para o coeficiente de regressão  $\beta_j$ ,  $j = 0, 1, \dots, k$ .

Uma intercalação de  $100(1-\alpha)\%$  para o coeficiente de regressão  $\beta_j$ ,  $j = 0, 1, \dots, k$  no modelo linear múltipla é dado por

$$\beta_j = \hat{\beta}_j \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-p} \sqrt{\sigma^2 C_{jj}} \quad (72)$$

Um modelo de regressão também são utilizados para prever futuras observações para a variável de resposta Y, correspondendo a valores particulares das variáveis independente como  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0k}$ . Se  $x'_0 = [1 \quad x_{01} \quad x_{02} \quad \dots \quad x_{0k}]$ , então uma estimativa da futura observação  $Y_0$  nos pontos  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0k}$  é

$$\hat{y}_0 = x'_0 \hat{\beta} \quad (73)$$

Um intervalo de previsão de  $100(1-\alpha)\%$  para essa futura observação é

$$y_0 = \hat{y}_0 \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-p} \sqrt{\sigma^2 (1 + x'_0 (X'X)^{-1} x_0)} \quad (74)$$

O intervalo de previsão expressa o erro na previsão de uma observação futura da distribuição no ponto  $x_0$ . Ele tem de incluir o erro na estimativa da média naquele ponto, assim como a variabilidade inerente na variável aleatória Y no mesmo valor  $x = x_0$ .

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De posse de todos os dados, utilizaram-se, no auxílio da elaboração de melhores tendências de desempenho das condições dos pavimentos, ferramentas estatísticas na análise.

Dentre as variáveis independentes disponíveis foram selecionadas as variáveis significativas para a regressão múltipla. O critério para definição da significância da variável foi possuir valor-P inferior a 5,0% (Valor-P < 5%). A variável Dummy por ser uma variável qualitativa entrará entre as variáveis da regressão, independentemente do Valor-P.

Para determinar se a relação observada entre as variáveis dependentes e independentes ocorre por acaso foi utilizado o valor estatístico F. O valor F é calculado pela relação da soma dos quadrados da regressão com a soma dos quadrados dos resíduos. Quanto mais o valor F



calculado (F) for superior ao valor F tabela (F), obtido a partir da probabilidade da análise estatística e dos graus de liberdade da regressão e do resíduo, maior a significância da regressão.

Para a análise estatística foram consideradas as regressões com boa correlação aquelas que apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,5 e Valor-F calculado, superior a 5 vezes o valor-F tabelado.

#### 4.5 VARIÁVEIS DEPENDENTES

Para o presente estudo foram coletadas as informações junto à concessionária da rodovia de forma a abranger diversos parâmetros de desempenho do pavimento. A disposição do trabalho estavam dados de afundamento de trilha de roda, deflexão e irregularidade longitudinal. Ao analisar os dados disponibilizados foi observado que o histórico de afundamento de trilha de rodas era restrito, apenas dispondo de informações de 2009 e 2013. Fato que inviabilizou o desenvolvimento do modelo e comparação com os valores reais, sendo então descartado tal parâmetro.

O estudo abrangeu os parâmetros de deflexão e irregularidade. O histórico de dados de deflexão é mais robusto, com informações dos anos de 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013, sendo desenvolvido o modelo com base nos anos de 2006, 2007, 2009, 2010, 2011 e 2012 e efetuada a comparação com os dados reais de 2013. Para o parâmetro de irregularidade foi criado o modelo com base nos anos de 2006, 2011 e 2012 e comparado com o ano de 2013.

#### 4.6 VARIÁVEIS INDEPENDENTES

Para o desenvolvimento da regressão foi verificado o nível de significância das variáveis independentes disponíveis, as variáveis que possuíram valor-P menor que 5% foram utilizadas para o desenvolvimento da regressão. As variáveis foram selecionadas com base nos fatores que influenciam o desempenho do pavimento, conforme revisão na literatura. As variáveis verificadas foram as seguintes:

- **Número N:** Para caracterizar o carregamento do tráfego foi utilizado o número N calculado pela metodologia da USACE. Não foi possível a utilização do número  $N_{Acumulado}$  devido a construção do trecho ter sido na década de 70 e não haver informações de contagem tráfego à época, como também não está disponível o histórico de restaurações significativas. Logo, o número N utilizado foi dos anos de coleta de dados das variáveis dependentes.
- **Número estrutural corrigido (SNC):** Foi considerado o número estrutural corrigido do ano anterior ao dado de estudo. A determinação do valor de SNC foi a partir da formulação Marcon (1996), conforme indicada anteriormente. A adoção dessa formulação foi motivada pela falta de informações sobre o CBR/ISC da camada de subleito do pavimento, fato que impossibilitou a utilização da formulação proposta pela DNER-PRO 159/85. Logo, foi utilizado o procedimento semelhante ao proposto por Yshiba (2003), a formulação desenvolvida por Marcon (1996), por estarem disponíveis as informações das deflexões no período de estudo.
- **Intervenções:** Na análise desta dissertação não foi considerada a variação dos parâmetros de deflexão e irregularidade em função da aplicação de micro-revestimento asfáltico. Para o desenvolvimento da regressão foi utilizada a informação de realização de intervenções do Tipo A, fresagem com recomposição, no ano anterior do período da coleta das variáveis dependentes. Essa variável é de característica qualitativa do pavimento, a variável dummy. Nos segmentos e anos que ocorreram intervenções do Tipo A apresentar valor 1 (um), nos demais apresentar valor 0 (zero), conforme Anexo B.
- **Modulo de Resiliência (MR):** Uma característica que representa a elasticidade das camadas do pavimento é o modulo de resiliência das mesmas. Foi verificada a significância estatística de tal característica com o desempenho do pavimento. Foram utilizadas as informações dos MR do revestimento, base + sub-base e subleito, determinados pela retroanálise realizada pela concessionária em 2006.
- **Espessuras do Pavimento por GPR:** A informação disponível das espessuras da camada de revestimento e base + sub-base, obtidas por GPR, foram analisadas para verificar se a mesma estatisticamente possuía influência no desempenho do pavimento. As espessuras das camadas do pavimento foram apresentadas no capítulo do estudo de caso.

- **Irregularidade Longitudinal Inicial ( $IRI_{med0}$ ):** Para se prever o comportamento do pavimento quanto a evolução da irregularidade, foram coletadas as irregularidades iniciais. A determinação do  $IRI_{med0}$  se deu da seguinte forma: ao se analisar o IRI de um ano X, o  $IRI_{med0}$  seria a última informação de IRI disponível no banco de dados da empresa. O ano base dos  $IRI_{med0}$  podem ser observados na TAB. 17.

**TAB. 17 - Ano base do IRI**

$IRI_{med0}$	IRI
2012	2013
2011	2012
2006	2011
-	2006

- **Deflexão Inicial ( $D_{med0}$ ):** Semelhante à metodologia do  $IRI_{med0}$ , a determinação do  $D_{med0}$  de um ano, foi mediante coleta da informação do  $D_{med}$  do ano anterior disponível, contido no banco de dados. O ano base  $D_{med0}$  pode ser observado na TAB. 18.

**TAB. 18 - Ano base da Deflexão**

$D_{med0}$	$D_{med}$
2012	2013
2011	2012
2010	2011
2009	2010
2007	2009
2006	2007
-	2006

- **Intervalo de tempo entre o  $D_{med0}$  ou  $IRI_{med0}$  e  $D_{med}$  ou IRI:** Devido ao banco de dados não estar completo, ano a ano, ou seja, alguns anos não foram realizadas ou não foram disponibilizadas as coletas, e a característica do carregamento do tráfego não considera o valor acumulado, foi incluído a variável tempo entre  $D_{med0}$  ou  $IRI_{med0}$  e  $D_{med}$  ou IRI. Os valores do intervalo de tempo considerados no estudo podem ser visualizados nas TAB. 19 e TAB. 20.

**TAB. 19 - Intervalo de tempo entre  $IRI_{med0}$  e  $IRI$**

<b>Intervalo de Tempo (anos)</b>	<b><math>IRI_{med0}</math></b>	<b><math>IRI</math></b>
1	2012	2013
1	2011	2012
5	2006	2011
-	-	2006

**TAB. 20 - Intervalo de tempo entre  $D_{med0}$  e  $D_{med}$**

<b>Intervalo de Tempo (anos)</b>	<b><math>D_{med0}</math></b>	<b><math>D_{med}</math></b>
1	2012	2013
1	2011	2012
1	2010	2011
1	2009	2010
2	2007	2009
1	2006	2007
-	-	2006

#### 4.7 CRITÉRIO DE EXPURGO DE DADOS

Com o intuito de homogeneizar os dados a serem utilizados no desenvolvimento do estudo foi adotado um critério para expurgar dados discrepantes. Os dados de deflexão e irregularidade para serem utilizados no desenvolvimento do estudo deveria se enquadrar na faixa de aceitação dos dados conforme apresentado a seguir:

$$D_{med} - \delta < D < D_{med} + \delta$$

Onde:

$\delta$ : Desvio padrão do ano;

$D_{med}$ : Deflexão Media, em mm.

$$IRI_{med} - \delta < IRI < IRI_{med} + \delta$$

Onde:

$\delta$ : Desvio padrão do ano;

$IRI_{med}$ : Irregularidade Longitudinal, em mm.

Os dados não inclusos no intervalo foram expurgados e não foram considerados nas determinações da média do segmento.

## 5 RESULTADOS

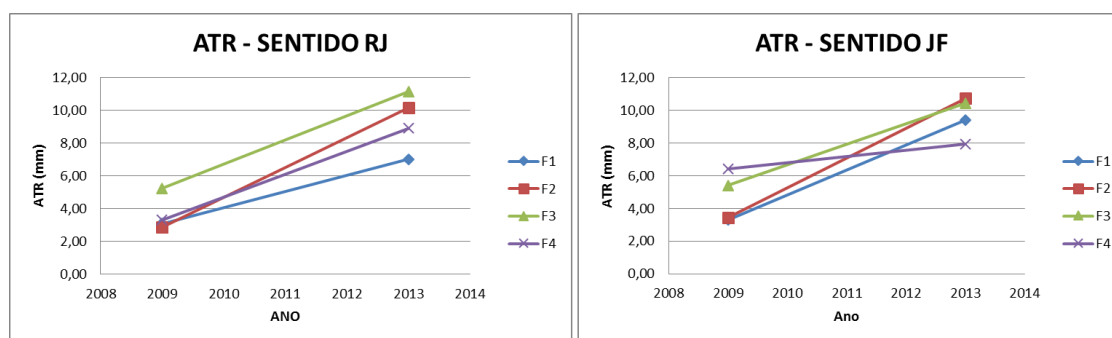
### 5.1 HISTÓRICOS DE DESEMPENHO

#### 5.1.1 HISTÓRICO DE AFUNDAMENTO DE TRILHA DE RODA – ATR

O histórico de dados disponibilizado de afundamento de trilha de rodas dispunha de dois anos de informações, 2009 e 2013. Foi efetuado o expurgo de dados discrepantes e determinada a média de todos os segmentos (km) em ambos os sentidos da rodovia e a média de ATR por faixa em todo o segmento, conforme apresentado na TAB. 21, TAB. 22 e TAB. 23. A representação da comparação do ATR nas faixas de rolamento é ilustrada na FIG. 27 e FIG. 28.

**TAB. 21 – Média do Afundamento de Trilha de Roda em ambos os sentidos**

FAIXA/ANO	SENTIDO JF		SENTIDO RJ	
	2009	2013	2009	2013
F1	3,30	9,41	3,07	7,03
F2	3,44	10,72	2,87	10,17
F3	5,42	10,44	5,25	11,16
F4	6,42	7,94	3,30	8,90

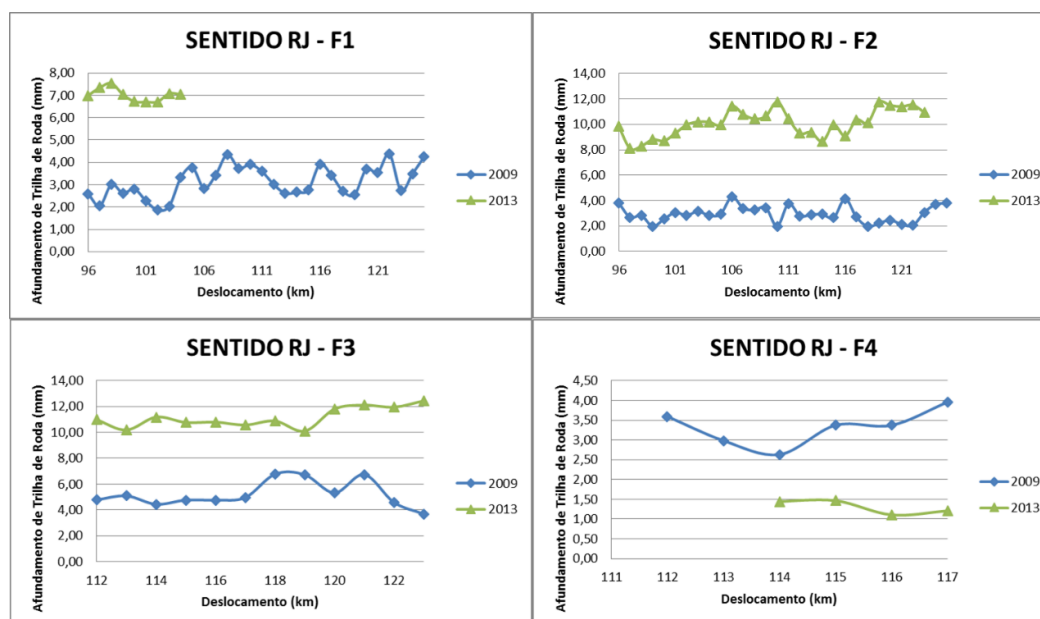


**FIG. 26 – Média dos ATR nas Faixas de Rolamento**

Pode-se observar pela FIG. 26 e TAB. 21 que o ATR possui maior criticidade nas faixas de rolamento intermediária (F2 e F3). É possível verificar que, excetuando a faixa mais externa sentido JF, ocorreu um crescimento maior que 4mm.

**TAB. 22 - Média do Afundamento de Trilha de Roda (mm) por km sentido RJ**

SENTIDO RJ - F1			SENTIDO RJ - F2			SENTIDO RJ - F3			SENTIDO RJ - F4		
KM	2009	2013	KM	2009	2013	KM	2009	2013	KM	2009	2013
96	2,59	7,00	96	3,82	9,85	112	4,78	10,98	111	-	
97	2,04	7,35	97	2,68	8,09	113	5,09	10,18	112	3,60	
98	3,01	7,54	98	2,81	8,29	114	4,44	11,18	113	2,99	
99	2,62	7,04	99	1,97	8,80	115	4,76	10,77	114	2,63	1,44
100	2,80	6,72	100	2,54	8,69	116	4,76	10,79	115	3,37	1,47
101	2,26	6,71	101	3,06	9,30	117	4,96	10,57	116	3,37	1,11
102	1,85	6,72	102	2,83	9,96	118	6,77	10,88	117	3,96	1,21
103	2,03	7,09	103	3,15	10,20	119	6,72	10,10			
104	3,32	7,03	104	2,82	10,18	120	5,32	11,80			
105	3,77		105	2,93	9,97	121	6,73	12,11			
106	2,84		106	4,29	11,42	122	4,58	11,95			
107	3,43		107	3,39	10,79	123	3,69	12,44			
108	4,35		108	3,27	10,43						
109	3,74		109	3,44	10,64						
110	3,90		110	1,96	11,78						
111	3,59		111	3,76	10,44						
112	3,02		112	2,79	9,30						
113	2,61		113	2,89	9,38						
114	2,66		114	2,91	8,64						
115	2,75		115	2,64	9,96						
116	3,91		116	4,14	9,07						
117	3,42		117	2,71	10,36						
118	2,71		118	1,96	10,11						
119	2,56		119	2,21	11,74						
120	3,69		120	2,46	11,50						
121	3,54		121	2,12	11,40						
122	4,38		122	2,05	11,52						
123	2,74		123	3,07	10,93						
124	3,48		124	3,70							
125	4,24		125	3,78							



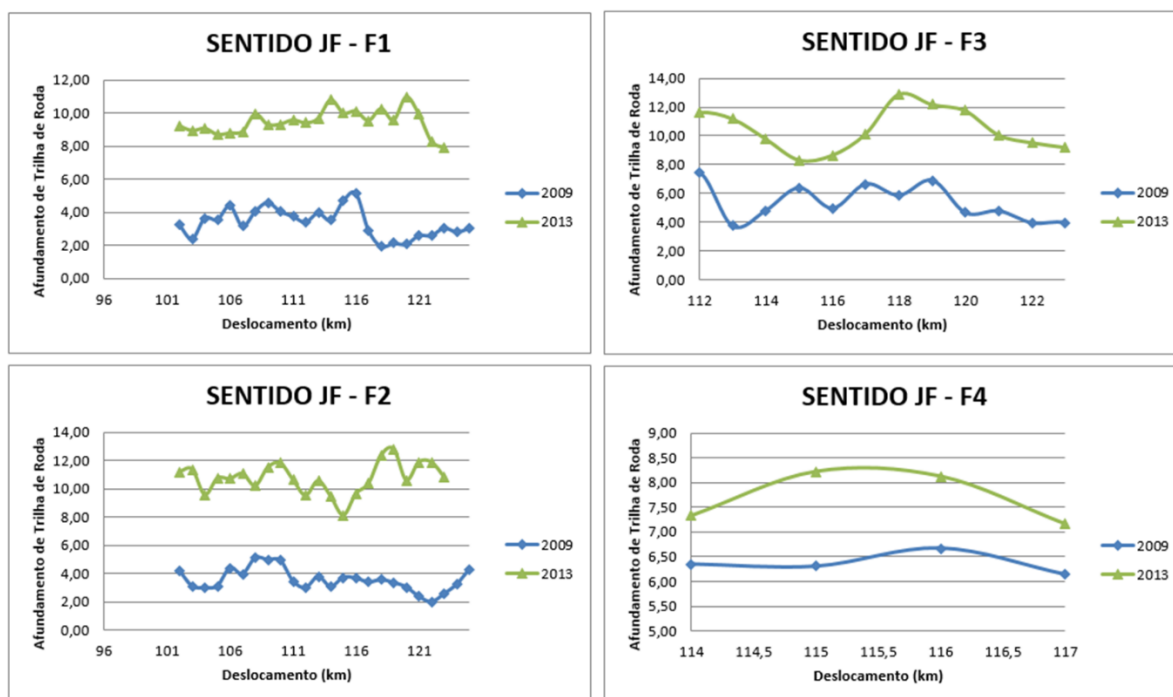
**FIG. 27 - ATR nas Faixas de Rolamento no Sentido RJ**

Na FIG. 27 é possível visualizar que as faixas de rolamento mais internas (F1, F2 e F3) apresentaram um crescimento no ATR, mostrando que com o passar do tempo ocorreu o aumento das deformações permanentes devido ao tráfego passante, com a necessidade de efetuar intervenções ou ineficiência nas soluções de intervenção utilizadas. Na faixa de rolamento mais externa (F4) ocorreu uma redução do ATR, indicando a eficiência das soluções de intervenções aplicadas.

**TAB. 23 - Média do Afundamento de Trilha de Roda por km sentido JF**

SENTIDO JF - F1			SENTIDO JF - F2			SENTIDO JF - F3			SENTIDO JF - F4		
KM	2009	2013	KM	2009	2013	KM	2009	2013	KM	2009	2013
101		8,85	101		11,26	109	5,08	10,39	114	6,35	7,33
102	3,22	9,20	102	4,16	11,19	110	7,16	10,75	115	6,31	8,22
103	2,41	8,92	103	3,10	11,36	111	5,69	10,67	116	6,67	8,12
104	3,65	9,05	104	2,98	9,56	112	7,42	11,63	117	6,15	7,16
105	3,55	8,69	105	3,11	10,72	113	3,73	11,19			
106	4,39	8,78	106	4,38	10,69	114	4,81	9,78			
107	3,16	8,87	107	3,95	11,06	115	6,37	8,30			
108	4,04	9,93	108	5,09	10,19	116	4,96	8,64			
109	4,59	9,29	109	4,95	11,49	117	6,64	10,13			
110	4,04	9,32	110	4,91	11,80	118	5,85	12,90			
111	3,76	9,57	111	3,45	10,62	119	6,89	12,19			
112	3,40	9,40	112	2,99	9,51	120	4,65	11,75			
113	3,96	9,66	113	3,76	10,55	121	4,78	10,06			
114	3,52	10,80	114	3,07	9,44	122	3,95	9,52			
115	4,68	9,99	115	3,71	8,11	123	3,94	9,19			
116	5,12	10,11	116	3,66	9,64	124	2,62				
117	2,92	9,54	117	3,38	10,35						
118	1,96	10,26	118	3,54	12,34						
119	2,14	9,56	119	3,34	12,80						
120	2,09	10,97	120	3,02	10,59						
121	2,61	9,92	121	2,37	11,87						
122	2,61	8,26	122	1,99	11,86						
123	3,06	7,88	123	2,56	10,83						
124	2,82		124	3,23							
125	3,04		125	4,30							





**FIG. 28 - ATR nas Faixas de Rolamento no Sentido JF**

A FIG. 28 ilustra que ocorreu um aumento no ATR em todas as faixas de rolamento, necessitando analisar e sugerir alteração das intervenções efetuadas no intervalo de tempo entre as medições. Verificando se o tipo de intervenção possui o objetivo de melhorar o parâmetro de trilha de roda ou se a frequência da intervenção é condizente com a o tráfego passante.

Devido à quantidade de dados insuficientes não foi possível elaborar a equação de previsão de ATR, porém foi incluído no banco de dados de desempenho da rodovia as informações disponíveis e à medida que ocorrer a alimentação dos dados com mais informações poderá ser desenvolvida a equação de ATR.

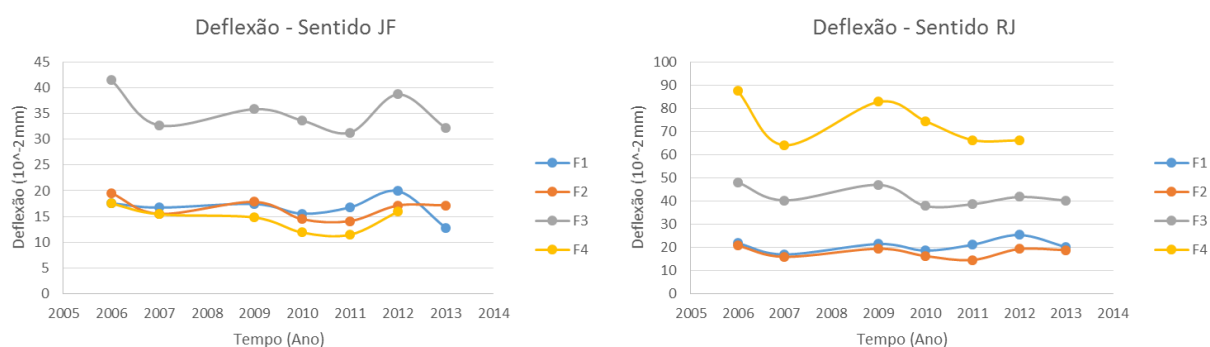
### 5.1.2 HISTÓRICO DE DEFLEXÃO (FWD)

O histórico de dados de deflexão é robusto, com informações de sete anos distintos (2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013). Semelhante à metodologia adotada para o ATR e demais parâmetros, os dados sofreram uma otimização, expurgando dados discrepantes e incoerentes. A partir a homogeneização dos dados foram determinadas as médias da deflexão por faixa em todos os segmentos, conforme apresentado na TAB. 24 e FIG. 29. Foram determinadas as

médias por segmento (km) em ambos os sentidos da rodovia, informações visualizadas no Anexo C, FIG. 31 e FIG. 32.

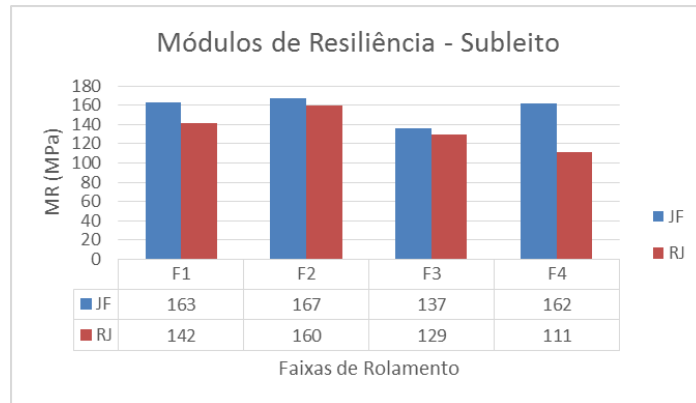
**TAB. 24 – Evolução das deflexões por faixa e sentido.**

Faixa / Ano	SENTIDO JF							SENTIDO RJ						
	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
F1	17,58	16,74	17,43	15,55	16,78	19,93	12,81	21,83	16,97	21,46	18,63	21,14	25,37	20,17
F2	19,57	15,52	17,84	14,48	14,12	17,14	17,17	20,8	15,96	19,44	16,29	14,57	19,29	18,83
F3	41,52	32,72	35,85	33,63	31,31	38,71	32,18	48,12	40,31	46,97	37,9	38,63	41,76	40,22
F4	17,53	15,44	14,81	11,89	11,48	15,92		87,5	64,08	82,79	74,55	66,37	66,2	



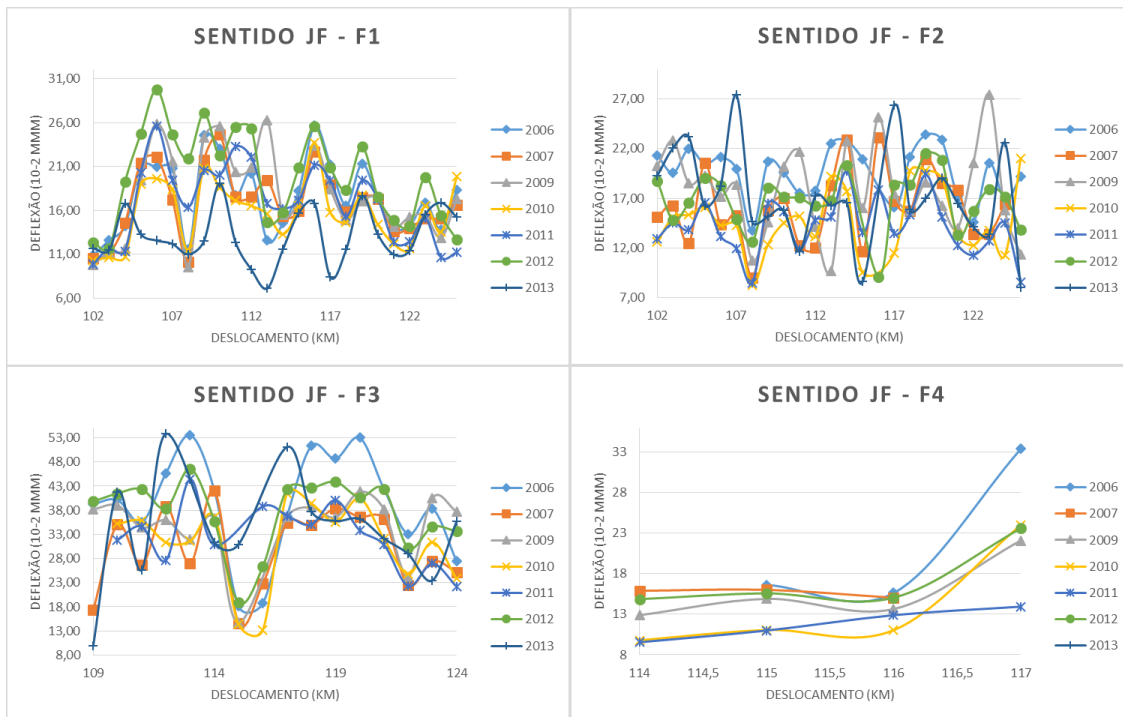
**FIG. 29 - Evolução das deflexões por faixa e sentido.**

Como pode ser visualizado na FIG. 29 e TAB. 24, uma característica do sentido RJ é apresentar maiores valores de deflexão nas faixas que atendem ao tráfego pesado da rodovia (F3 e F4) e apresenta os menores módulos de resiliências (FIG. 30). Para o sentido JF a faixa intermediária (F3) apresenta valores de deflexão elevados quando comparados às demais faixas, e para o sentido RJ as faixas F3 e F4 são as faixas que apresentam os maiores valores. As três faixas com altos valores de deflexões são as que possuem o subleito com menores capacidades de suporte, conforme mostrado na FIG. 30.

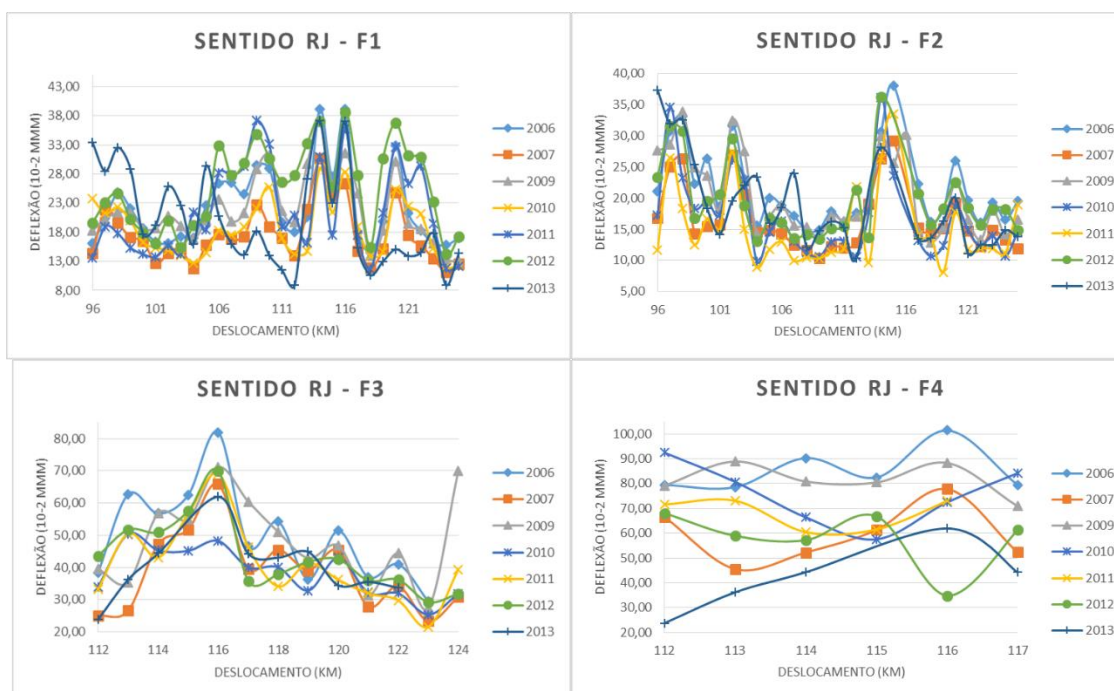


**FIG. 30 - Média do Módulo de Resiliência do Subleito por faixa**

Como pode ser observado na FIG. 31 e FIG. 32, ocorre grande variação das deflexões ao longo do trecho de estudo, com locais de deflexões próximas  $8 \cdot 10^{-2}mm$  e outros próximos a  $30 \cdot 10^{-2}mm$ .



**FIG. 31 – Evolução da deflexão nos segmentos, sentido JF.**



**FIG. 32 - Evolução da deflexão nos segmentos, sentido RJ.**

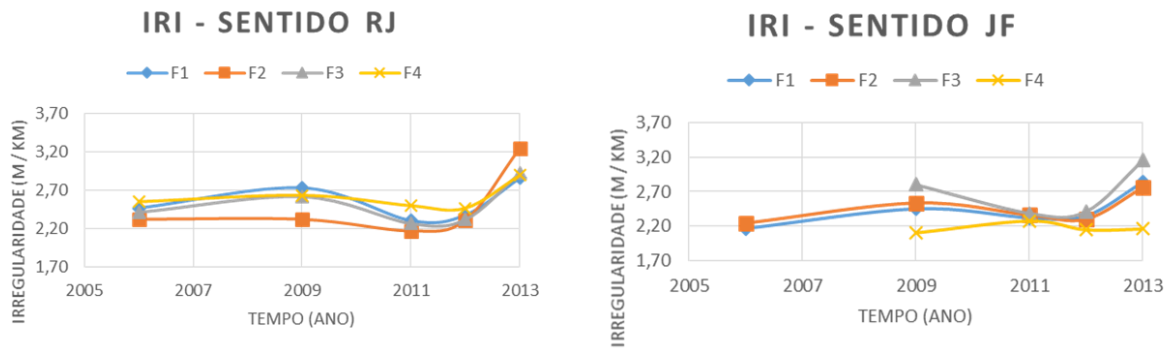
De forma geral com o passar do tempo/tráfego ocorreu um aumento das deflexões, alguns locais as deflexões diminuíram devido à execução de intervenções.

### 5.1.3 HISTÓRICO DE IRREGULARIDADE – IRI

O histórico de dados de irregularidade possui informações de cinco anos distintos (2006, 2009, 2011, 2012 e 2013). Antes de determinar o valor médio da irregularidade dos segmentos, os valores discrepantes foram expurgados. A TAB. 25 e FIG. 33 apresentam a evolução da irregularidade ao longo do tempo, para cada faixa de rolamento. No Anexo D pode ser visualizado todo o histórico de irregularidade disponível.

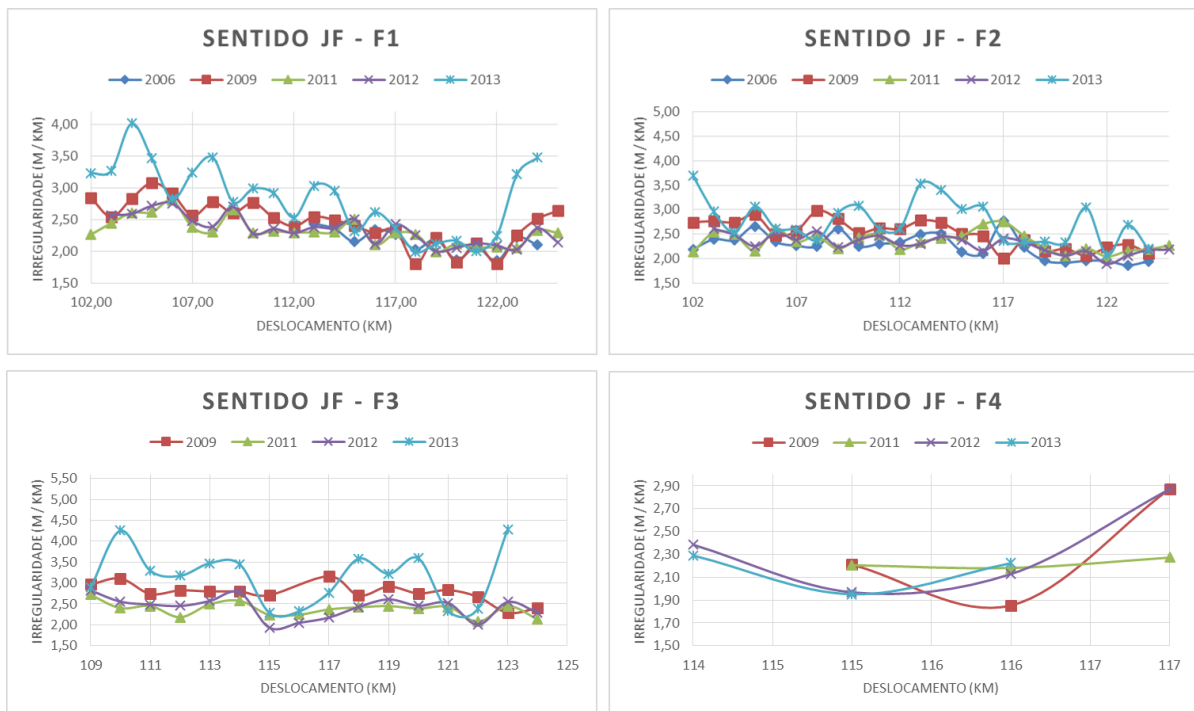
**TAB. 25 - Média da irregularidade em ambos os sentidos**

Faixa / Ano	SENTIDO JF					SENTIDO RJ				
	2006	2009	2011	2012	2013	2006	2009	2011	2012	2013
F1	2,16	2,45	2,32	2,35	2,84	2,47	2,73	2,30	2,37	2,85
F2	2,24	2,53	2,36	2,30	2,76	2,32	2,32	2,17	2,31	3,24
F3		2,80	2,38	2,41	3,16	2,41	2,61	2,26	2,31	2,92
F4		2,10	2,27	2,14	2,16	2,55	2,63	2,50	2,46	2,89

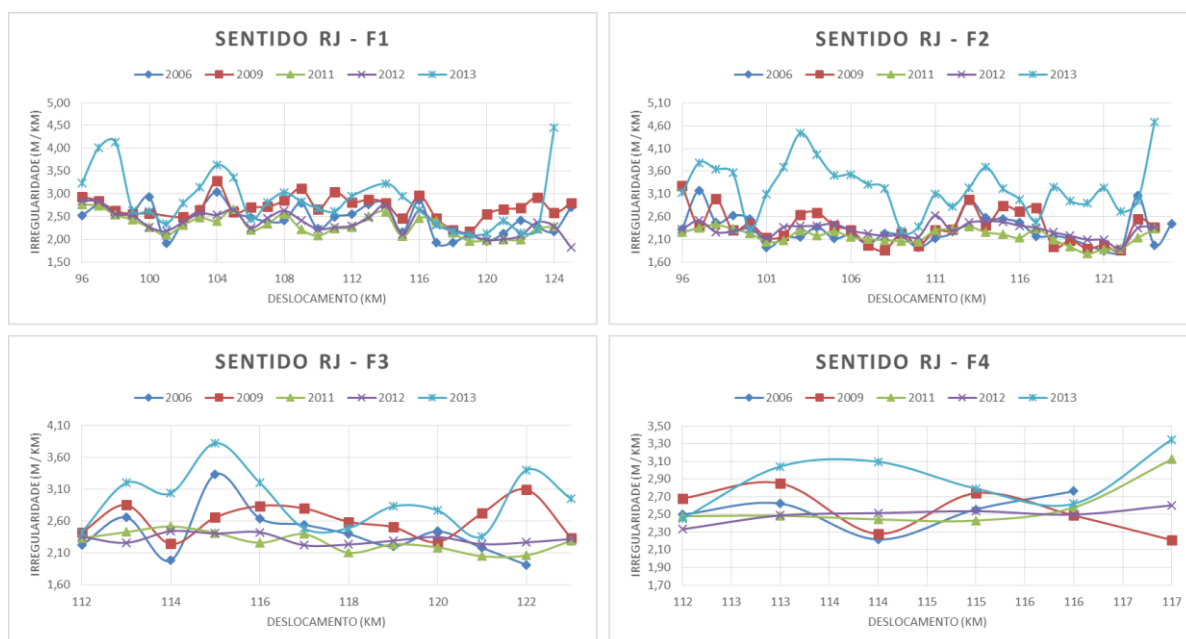


**FIG. 33 - Evolução da irregularidade por faixa e sentido**

Como pode se observar na TAB. 25 e FIG. 33 as irregularidades entre as faixas não possuem grandes variações, e ocorreu aumento considerável na transição entre os anos 2012 e 2013. O trecho de estudo até 2012 se enquadrava na classificação BOM, quanto à condição de superfície, mas passou a ser REGULAR, indicando a necessidade de intervenções para prolongar a vida útil do segmento.



**FIG. 34 - Evolução da irregularidade no segmento, sentido JF**



**FIG. 35 - Evolução da irregularidade no segmento, sentido RJ**

A FIG. 34 e FIG. 35 ilustram o alto crescimento da irregularidade em 2013 em alguns locais. Fato que elevou a média do IRI desse ano. Os segmentos apresentam valores, de maneira geral, na faixa de 2,0 a 3,0 m/km de IRI.

## 5.2 REGRESSÃO DE DEFLEXÃO

Inicialmente foi realizada uma regressão com todas as variáveis disponíveis para verificar o nível de significância e definir quais seriam incorporadas na regressão final, conforme TAB. 26. As variáveis consideradas na Regressão 1 foram as seguintes:

- Espessura GPR: Revestimento
- Espessura GPR: Base+SubBase
- MR: Revestimento
- MR: Base + Sub-Base
- MR: Subleito
- NUSACE
- Intervenção no ano anterior (0/1)

- $D_{med0}$
- Intervalo de tempo entre o  $D_{med0}$  e a previsão
- SNC

**TAB. 26 - Resumo dos Resultados da Regressão 1 – Deflexão**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo		0,92			
R-Quadrado		0,84			
R-quadrado ajustado		0,83			
Erro padrão		5,73			
Observações		707			
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	10	117448,74	11744,87	358,21	1,106E-266
Resíduo	696	22820,22	32,79		
Total	706	140268,97			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	
Interseção	51,092	7,245	7,052	0,0%	
Espessura GPR - Revestimento	0,227	0,100	2,285	2,3%	
Espessura GPR - Base+SubBase	8,69E-02	0,060	1,454	14,6%	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-1,203	0,502	-2,395	1,7%	
MR - Revestimento	-2,39E-03	0,000	-8,769	0,0%	
MR - Base + Sub-Base	-2,59E-03	0,006	-0,448	65,5%	
MR - Subleito	-7,60E-02	0,019	-4,090	0,0%	
NUSACE	5,30E-07	0,000	9,217	0,0%	
Dmed0	0,338	0,050	6,708	0,0%	
Intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão	5,231	0,592	8,838	0,0%	
SNC	-21,041	3,409	-6,173	0,0%	

Na regressão 1 de deflexão foram excluídas as variáveis de espessura do revestimento e base mais sub-base e módulo de resiliência da base mais sub-base, devido ao Valor-P correspondente as variáveis serem superiores a 5%. Após a exclusão das variáveis não significativas, estatisticamente, foi desenvolvida a regressão 2, resultados apresentados na TAB. 27.

**TAB. 27 - Resumo dos Resultados da Regressão 2 – Deflexão**

Estatística de regressão					
R múltiplo	0,91				
R-Quadrado	0,84				
R-quadrado ajustado	0,83				
Erro padrão	5,73				
Observações	707				
ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	8	117372,69	14671,59	447,27	7,8466E-269
Resíduo	698	22896,28	32,80		
Total	706	140268,97			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	
Interseção	56,134	6,432	8,727	0,0%	
<b>Espessura GPR - Revestimento</b>	<b>0,126</b>	<b>0,070</b>	<b>1,793</b>	<b>7,3%</b>	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-1,185	0,502	-2,360	1,9%	
MR - Revestimento	-2,45E-03	0,000	-9,212	0,0%	
MR - Subleito	-0,083	0,015	-5,706	0,0%	
NUSACE	5,27E-07	0,000	9,186	0,0%	
Dmed0	0,351	0,050	7,092	0,0%	
Intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão	5,237	0,592	8,847	0,0%	
SNC	-20,01	3,289	-6,084	0,0%	

Na regressão 2 a variável independente Espessura GPR – Revestimento não apresentou significância e foi excluída, sendo assim desenvolvida a regressão 3, resultados apresentados na TAB. 28.



**TAB. 28 - Resumo dos Resultados da Regressão 3 – Deflexão**

Estatística de regressão					
R múltiplo		0,91			
R-Quadrado		0,84			
R-quadrado ajustado		<b>0,83</b>			
Erro padrão		5,74			
Observações		707,00			
ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	7,00	117267,23	16752,46	<b>509,09</b>	1,66E-269
Resíduo	699,00	23001,74	32,91		
Total	706,00	140268,97			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	
Interseção	57,760	6,378	9,056	0,0%	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-1,043	0,497	-2,100	3,6%	
MR - Revestimento	-2,48E-03	0,000	-9,332	0,0%	
MR - Subleito	-8,17E-02	0,015	-5,598	0,0%	
NUSACE	5,23E-07	0,000	9,104	0,0%	
Dmed0	0,355	0,050	7,165	0,0%	
Intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão	5,182	0,592	8,753	0,0%	
SNC	-19,857	3,293	-6,031	0,0%	

Com os resultados obtidos da regressão linear múltipla, os mesmos foram analisados para verificar a aceitação do modelo. Conforme apresentado na TAB. 29 a regressão foi aceita nas duas análises estatísticas adotadas.

**TAB. 29 - Verificação da Regressão de Deflexão**

Valor - F Calculado	509,09
Valor - F TAB.do	2,19
Critério de Aceitação	$F_{cal} > 5 * F_{tab}$
<b>Status</b>	<b>Aceito</b>
$R^2$	0,83
Critério de Aceitação	$R^2 > 0,50$
<b>Status</b>	<b>Aceito</b>

Com a aceitação da Regressão 3 de deflexão, foi gerada a EQ. de previsão de desempenho a seguir:

$$D_{FWD} = 57,760 - 1,043 \cdot \beta_1 - 2,48 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_2 - 8,17 \cdot 10^{-2} \cdot \beta_3 + 5,23 \cdot 10^{-7} \cdot \beta_4 + 0,355 \cdot \beta_5 + 5,182 \cdot \beta_6 - 19,857 \cdot \beta_7 \quad (75)$$

$$R^2 = 0,83$$

As variáveis contempladas na previsão podem ser visualizadas na TAB. 30.

**TAB. 30 - Variáveis contempladas na previsão de deflexão**

Variáveis Independentes	Coeficientes	
Interseção	57,760	$\beta_0$
Intervenção no ano anterior (0/1)	-1,043	$\beta_1$
MR - Revestimento	-2,48E-03	$\beta_2$
MR - Subleito	-8,17E-02	$\beta_3$
NUSACE	5,23E-07	$\beta_4$
Dmed0	0,355	$\beta_5$
Intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão	5,182	$\beta_6$
SNC	-19,857	$\beta_7$

### 5.3 REGRESSÃO DE IRREGULARIDADE

Semelhante ao desenvolvimento da regressão de deflexão, para irregularidade longitudinal foi efetuada a regressão inicial com todas as variáveis disponíveis para verificar o nível de significância e em seguida utilizar na regressão final apenas as variáveis significativas. As variáveis consideradas na Regressão 1 foram as seguintes:

- Espessura GPR: Revestimento
- Espessura GPR: Base+SubBase
- MR: Revestimento
- MR: Base + Sub-Base
- MR: Subleito
- $N_{USACE}$
- Intervenção no ano anterior (0/1)
- $IRI_{med0}$
- Intervalo de tempo entre o  $IRI_{med0}$  e a previsão

- SNC

**TAB. 31 - Resumo dos Resultados da Regressão 1 – Irregularidade**

Estatística de regressão					
R múltiplo	0,63				
R-Quadrado	0,40				
R-quadrado ajustado	0,39				
Erro padrão	0,21				
Observações	381				
ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	9	10,50	1,17	27,50	2,15E-36
Resíduo	371	15,73	0,04		
Total	380	26,23			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	
Interseção	4,97	0,39	12,60	0,0%	
Espessura GPR - Base+SubBase	1,57E-03	0,00	0,74	46,1%	
MR - Revestimento	-1,23E-05	0,00	-1,49	13,6%	
MR - Base + Sub-Base	5,02E-04	0,00	1,76	7,9%	
MR - Subleito	-2,21E-03	0,00	-2,29	2,3%	
SNC	4,64E-02	0,10	0,46	64,2%	
NUSACE	-1,64E-07	0,00	-8,89	0,0%	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-5,03E-02	0,02	-2,07	3,9%	
IRIO	0,438	0,04	11,23	0,0%	
Intervalo de tempo entre o IRIO e a previsão	-0,252	0,04	-6,16	0,0%	

Na regressão 1 de irregularidade apenas foram mantidas as variáveis do número N, módulo de resiliência do subleito, irregularidade inicial, o intervalo de tempo entre a irregularidade inicial e o ano da previsão e a intervenção (variável dummy). As demais variáveis foram descartadas por não atender ao limite máximo do valor-P (5%) e não serem significativas. Após a exclusão das variáveis não significativas foi desenvolvida a regressão 2, resultados apresentados TAB. 32.

**TAB. 32 - Resumo dos Resultados da Regressão 2 – Irregularidade**

Estatística de regressão					
R múltiplo		0,63			
R-Quadrado		0,39			
R-quadrado ajustado		<b>0,38</b>			
Erro padrão		0,21			
Observações		381			
ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	5	10,308	2,062	<b>48,551</b>	1,10E-38
Resíduo	375	15,924	0,042		
Total	380	26,232			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	
Interseção	4,884	0,372	13,115	0,0%	
MR - Subleito	-1,39E-03	0,001	-2,514	1,2%	
NUSACE	-1,66E-07	0,000	-8,968	0,0%	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-5,37E-02	0,024	-2,260	2,4%	
IRIO	0,448	0,038	11,658	0,0%	
Intervalo de tempo entre o IRIO e a previsão	-0,254	0,041	-6,226	0,0%	

A regressão 2 de irregularidade gerou a EQ. de tendência para prever a irregularidade a seguir:

$$\begin{aligned}
 IRI = & 4,884 - 1,39 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_1 - 1,66 \cdot 10^{-7} \cdot \beta_2 - 5,37 \cdot 10^{-2} \cdot \beta_3 \\
 & + 0,448 \cdot \beta_4 - 0,254 \cdot \beta_5
 \end{aligned} \tag{76}$$

$$R^2 = 0,38$$

As variáveis independentes que compõe o modelo gerado são as apresentadas na TAB. 33.

**TAB. 33 - Variáveis contempladas na previsão de irregularidade**

Variáveis Independentes	Coeficientes	
Interseção	4,884	$\beta_0$
MR - Subleito	-1,39E-03	$\beta_1$
NUSACE	-1,66E-07	$\beta_2$
Intervenção no ano anterior (0/1)	-5,37E-02	$\beta_3$
IRIO	0,448	$\beta_4$
Intervalo de tempo entre o IRIO e a previsão	-0,254	$\beta_5$

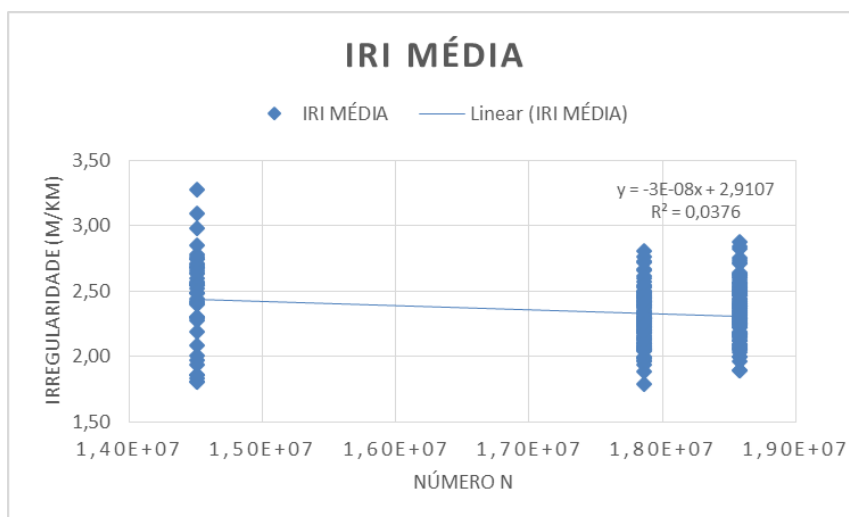
Os resultados obtidos da regressão linear múltipla foram analisados para verificar a aceitação do modelo, conforme apresentado na TAB. 34. A regressão foi aceita no análise do valor-F, porém considerada rejeitada pelo valor de  $R^2$ .

**TAB. 34 - Verificação da Regressão 2 de Irregularidade**

F Calculado	48,551
F TAB.do	2,79
Critério de aceitação	$F_{cal} > 5 * F_{tab}$
<b>Status</b>	<b>Aceito</b>
R <sup>2</sup>	0,38
Critério de aceitação	$R^2 > 0,50$
<b>Status</b>	<b>Rejeitado</b>

Um fator que reforça a não aceitação da regressão é a incoerência do coeficiente  $\beta_1$ , o qual representa o carregamento do tráfego na EQ. possui fator negativo, o que representaria que a irregularidade diminuiria com o aumento das cargas aplicadas pelo tráfego. Surgiu, então, a necessidade de uma análise diferenciada.

Ao analisar o valor do IRI em função, exclusivamente, do Número N como variável independente, pode-se observar que os valores de IRI com o Número N correspondente a  $1,45 \cdot 10^7$  (ano 2009) são superiores aos demais levantamentos e como maior dispersão. Após esse levantamento ocorreu uma diminuição na irregularidade, como pode ser visualizado na FIG. 36. Entretanto o decréscimo da irregularidade não ocorreu devido ao aumento do Número N, mas sim devido à realização de intervenções na rodovia.



**FIG. 36 - Linha de tendência de irregularidade**

As intervenções realizadas entre os levantamentos de 2009 e 2011 apresentaram eficiência na recuperação do pavimento no trecho estudado, com relação ao parâmetro de irregularidade. Fatores que interferiram no êxito da regressão foram as informações referentes as intervenções

nesse período. As intervenções computadas foram apenas intervenções Tipo A e em nível qualitativo, se existiu ou não, não especificando a extensão ou percentagem recuperada do segmento. Outro ponto foi que nos segmentos que não possuíam informações sobre a realização de intervenções foram considerados como não existentes.

Pela FIG. 36 pode-se observar que a linha de tendência utilizando, exclusivamente, a variável independente Número N apresenta valor de  $R^2$  extremamente baixo, como também a incoerência física, da diminuição da irregularidade com o aumento da carga do tráfego. Observações importantes realizadas foram: a necessidade de aumentar o número de variáveis independentes e melhorar as informações que alimentam a regressão. Não podendo o número N ser a única variável considerada, assim como aumentar os critérios para seleção dos dados.

A fim de desenvolver uma regressão de irregularidade coerente, foi realizada a exclusão dos dados referentes a 2009 e realizada novamente a regressão com os dados de 2006, 2011, 2012.

**TAB. 35 - Resumo dos Resultados da Regressão 3 – Irregularidade**

Estatística de regressão					
R múltiplo		0,61			
R-Quadrado		0,37			
R-quadrado ajustado		0,34			
Erro padrão		0,16			
Observações		243			
ANOVA					
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	10	3,665	0,367	15,428	4,56E-21
Resíduo	233	6,151	0,026		
Total	243	9,816			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	
Interseção	-0,549	0,674	-0,816	42%	
Espessura GPR - Revestimento	-2,93E-03	0,005	-0,588	56%	
Espessura GPR - Base+SubBase	2,37E-04	0,003	0,081	94%	
MR - Revestimento	-1,05E-05	0,000	-1,254	21%	
MR - Base + Sub-Base	4,40E-04	0,000	1,590	11%	
MR - Subleito	-1,29E-03	0,001	-1,368	17%	
SNC	-1,37E-02	0,092	-0,149	88%	
NUSACE	1,20E-07	0,000	3,652	0%	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-1,77E-02	0,025	-0,720	47%	
Intervalo de tempo entre o IRI0 e a previsão	0,000	0,000	65535,000	#NÚM!	
IRIO	0,414	0,043	9,534	#NÚM!	

Na regressão 3 de irregularidade apenas foram mantidas as variáveis do número N, irregularidade inicial, o intervalo de tempo entre a irregularidade inicial e o ano da previsão e a intervenção (variável dummy). As demais variáveis foram descartadas por não atender ao limite máximo do valor-P (5%) e não serem significativas. Em seguida desenvolveu-se a regressão 4, final, com resultados apresentados na TAB. 36.

**TAB. 36 - Resumo dos Resultados da Regressão 4 – Irregularidade**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo		0,60			
R-Quadrado		0,36			
R-quadrado ajustado		<b>0,35</b>			
Erro padrão		0,16			
Observações		243,00			
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	4,00	3,51	0,88	<b>44,44</b>	7,71E-28
Resíduo	239,00	6,30	0,03		
Total	243,00	9,82			
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	
Interseção	-0,889	0,61	-1,45	15%	
NUSACE	1,20E-07	0,00	3,73	0%	
Intervenção no ano anterior (0/1)	-0,023	0,02	-0,98	33%	
Intervalo de tempo entre o IRI0 e a previsão	0,00E+00	0,00	65535,00	#NÚM!	
IRI0	0,441	0,04	10,77	#NÚM!	

A regressão 4 de irregularidade gerou a EQ. de tendência para prever a irregularidade a seguir:

$$IRI = -0,889 + 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot \beta_1 - 0,023 \cdot \beta_2 + 0,441 \cdot \beta_3 \quad (77)$$

$$R^2 = 0,35$$

As variáveis utilizadas conforme as equações são apresentadas na TAB. 37.

**TAB. 37 - Variáveis contempladas na previsão de irregularidade**

Variáveis Independentes	Coeficientes	
Interseção	-0,889	$\beta_0$
N <sub>USACE</sub>	1,20E-07	$\beta_1$
Intervenção no ano anterior (0/1)	-0,023	$\beta_2$
IRI <sub>0</sub>	0,441	$\beta_3$

Os resultados obtidos da regressão linear múltipla foram analisados para verificar a aceitação do modelo, conforme apresentado na TAB. 38. A regressão foi aceita na análise do valor-F, porém rejeitada quanto ao R<sup>2</sup>.

**TAB. 38 - Verificação da Regressão 2 de Irregularidade**

F Calculado	44,44
F TAB.do	2,64
Critério de aceitação	$F_{cal} > 5 * F_{tab}$
<b>Status</b>	<b>Aceito</b>
$R^2$	0,35
Critério de aceitação	$R^2 > 0,50$
<b>Status</b>	<b>Rejeitado</b>

Como os coeficientes da EQ. estão coerentes verificou-se a percentagem de pontos dentro do intervalo de confiança da regressão, a serem apresentados no item a seguir (5.4).

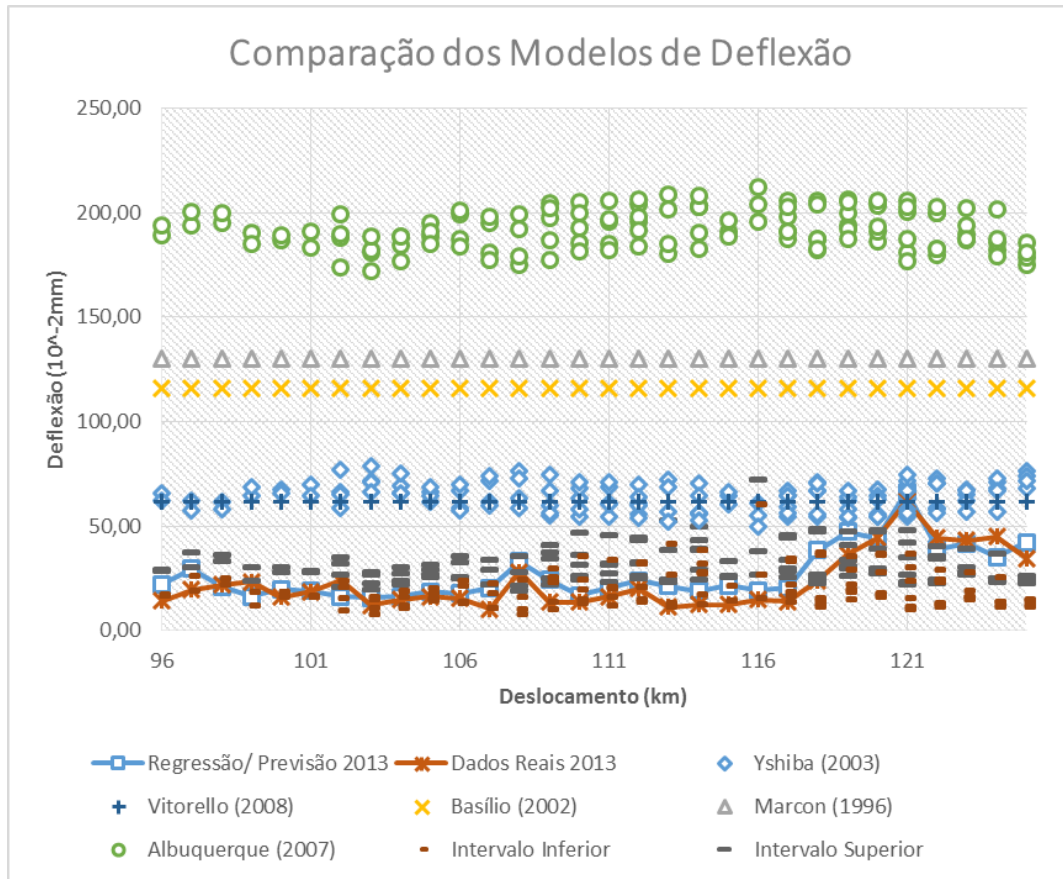
#### 5.4 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS

No objetivo de avaliar o comportamento das equações de desempenho desenvolvidas por meio das regressões, foi efetuada a comparação dos resultados da previsão, com os dados reais coletados em 2013 e outros modelos de previsão de desempenho encontrados na literatura técnica.

##### 5.4.1 COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE DEFLEXÃO

A verificação da eficiência da EQ. de deflexão, desenvolvida pela regressão, foi realizada por meio da comparação da previsão da deflexão em 2013, dados reais de 2013 e previsão por meio dos modelos de Marcon (1996), Basílio (2002), Yshiba (2003), Albuquerque (2007) e Vitorello (2008), apresentados na revisão bibliográfica. Os resultados numéricos podem ser observados no Anexo E e o gráfico comparativo pode ser visualizado na FIG. 37.





**FIG. 37 – Comparação dos modelos de previsão da deflexão.**

A FIG. 37 ilustra a importância do desenvolvimento de modelos/previsões particulares para cada rodovia, pois como pode ser observado os demais modelos apresentaram deflexões bem superiores aos valores reais. Os valores estimados pela EQ. desenvolvida pela regressão obtiveram a melhor aproximação aos valores reais.

Para a regressão foi definido o intervalo de predição de novas observações, apresentados no Anexo F, para verificar a eficiência da regressão em prever as deflexões futuras. Ao passar a analisar os resultados das deflexões levantadas em 2013 pelo intervalo de confiança, obtiveram-se 84% dos valores reais introduzidos no interior do intervalo, conforme resumo apresentado na TAB. 39.

**TAB. 39 – Eficiência da regressão em prever as deflexões de 2013**

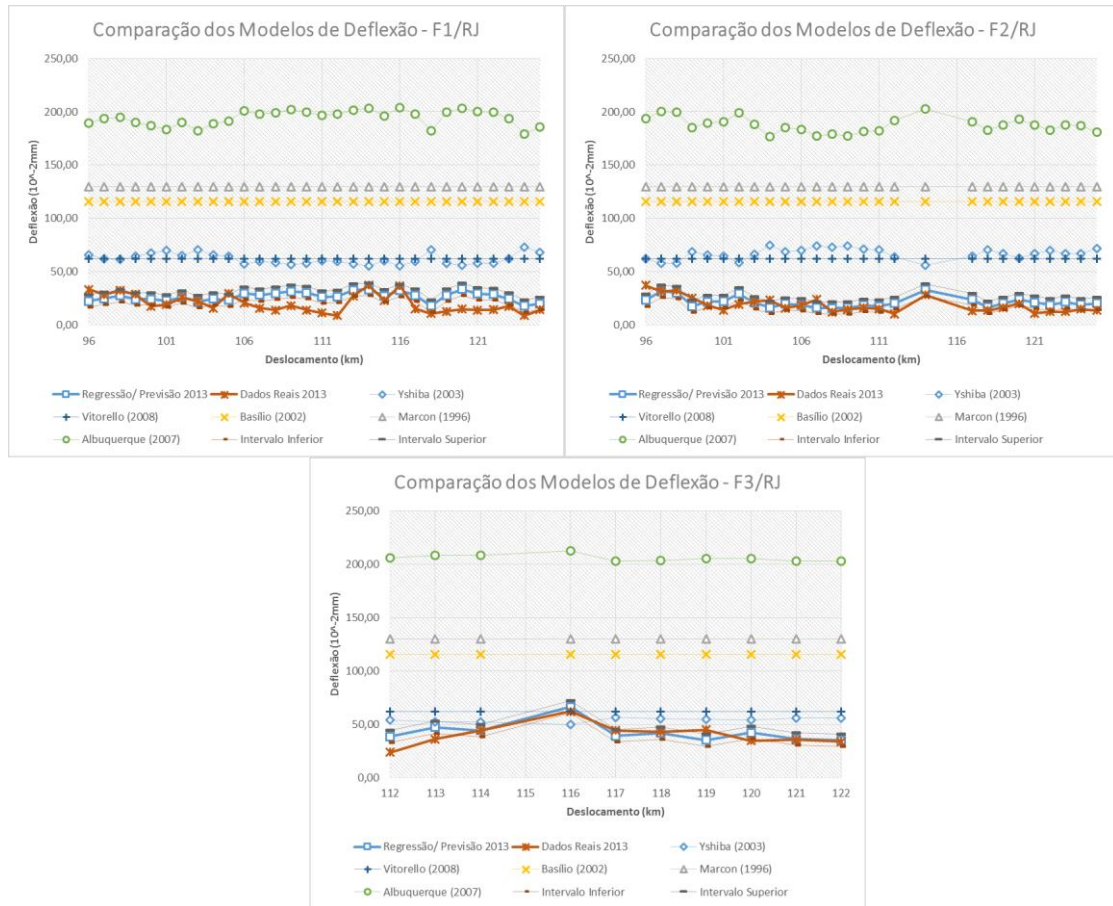
Pontos dentro do Int. de Conf.	Pontos fora do Int. de Conf.	TOTAL
107	20	127
84%	16%	100%

Os modelos que apresentaram maiores discrepâncias entre os valores reais e os estimados foram Albuquerque (2007), Marcon (1996) e Basílio (2002), respectivamente. Os modelos de Yshiba (2003) e Vitorello (2008), dentre os modelos da literatura, obtiveram os melhores resultados, porém não representaria uma boa previsão de desempenho para o SGP da rodovia em análise, pois os mesmos anteciparam a realização das intervenções.

Importante salientar que os modelos que se aproximaram mais da realidade foram os modelos que levaram em consideração mais de uma variável independente.



**FIG. 38 - Comparação dos modelos previsão de deflexão sentido JF.**

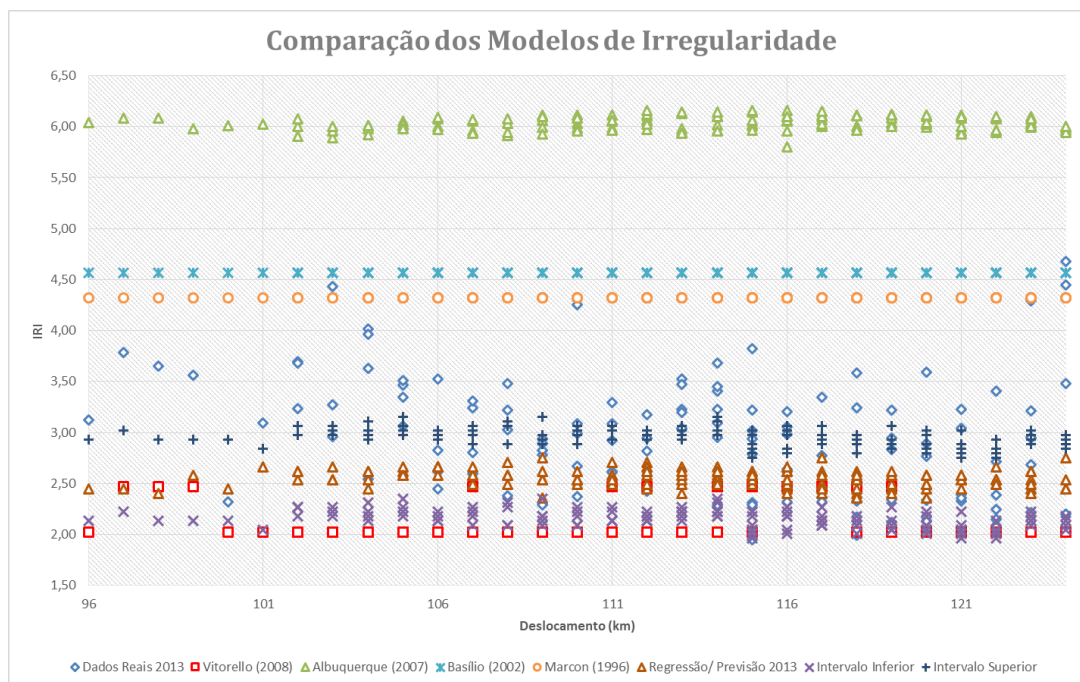


**FIG. 39 - Comparação dos modelos previsão de deflexão sentido RJ.**

Os dados disponíveis para comparação em 2013 correspondem às faixas 1, 2 e 3. Na faixa 4 não foram efetuados levantamentos. As FIG. 38 e FIG. 39 ilustram que os modelos Albuquerque (2007), Marcon (1996) e Basílio (2002) independente de sentido ou faixa não se aproximam dos valores reais. Os modelos de Yshiba (2003) e Vitorello (2008) se aproximam dos valores reais na faixa de rolamento 3, em ambos os sentidos. A EQ. desenvolvida por regressão apresenta uma boa previsão de desempenho, para todas as faixas de rolamento e em ambos os sentidos, principalmente a faixa 2, a qual obteve 100% dos valores incorporados no intervalo de confiança da regressão, podendo ser utilizada em um SGP.

## 5.4.2 COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE IRREGULARIDADE

A EQ. de irregularidade, desenvolvida pela regressão, não foi aceita em um dos critérios estatísticos, porém verificou-se que a mesma apresentou a melhor previsão dentre os demais modelos contidos na literatura. A comparação da previsão do IRI em 2013, dados reais de 2013 e previsão por meio dos modelos de Marcon (1996), Basílio (2002), Albuquerque (2007) e Vitorello (2008) podem ser visualizada na FIG. 40. Os resultados numéricos podem ser observados no Anexo G.



**FIG. 40 - Comparação dos modelos de previsão de irregularidade.**

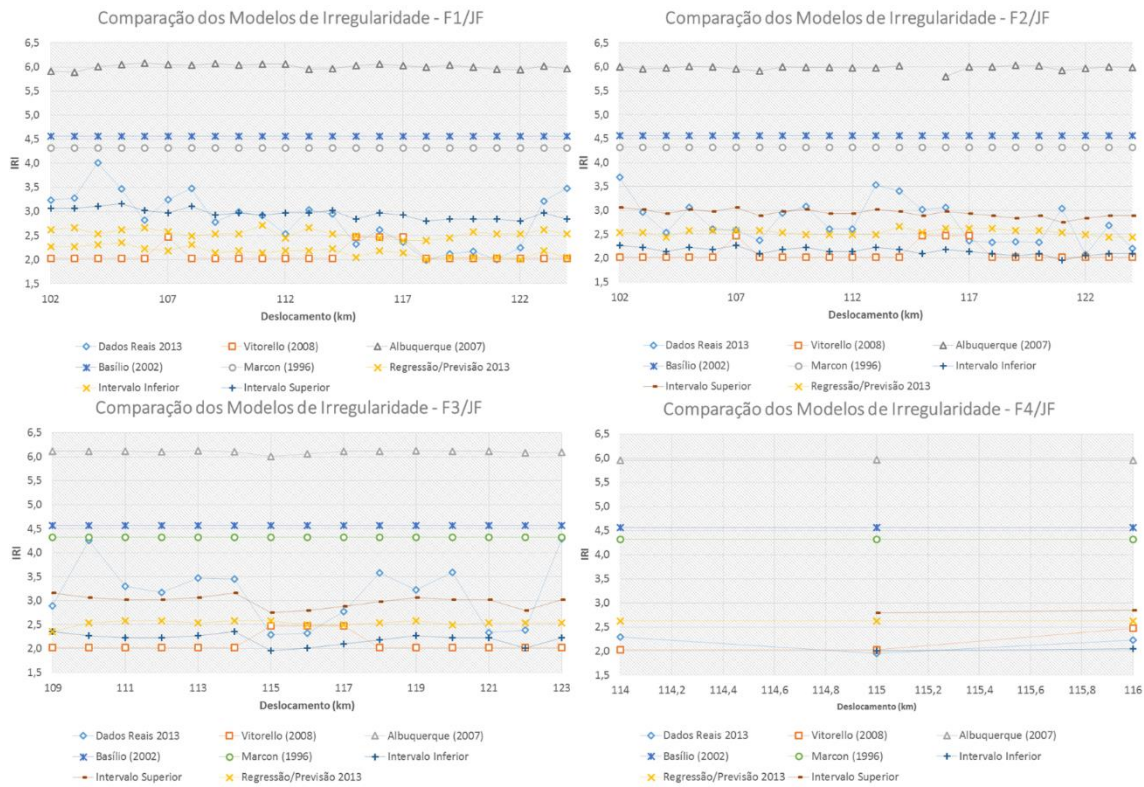
A FIG. 40 mostra que modelos genéricos de desempenhos, não específicos para a rodovia, não representa o verdadeiro desempenho do pavimento. A equação desenvolvida pela regressão, mesmo não atendendo ao critério estatístico de  $R^2$ , apresentou resultados próximos aos reais e dentre os modelos disponíveis obteve a melhor aproximação aos valores reais.

Para a regressão foi definido o intervalo de confiança de predição de novas observações, apresentados no Anexo H, para verificar a eficiência da regressão em prever as irregularidades futuras. Ao passar a analisar os resultados de IRI levantados em 2013 pelo intervalo de confiança, obteve-se 51% dos valores reais incorporados para o interior do intervalo de confiança, conforme resumo apresentado na TAB. 40.

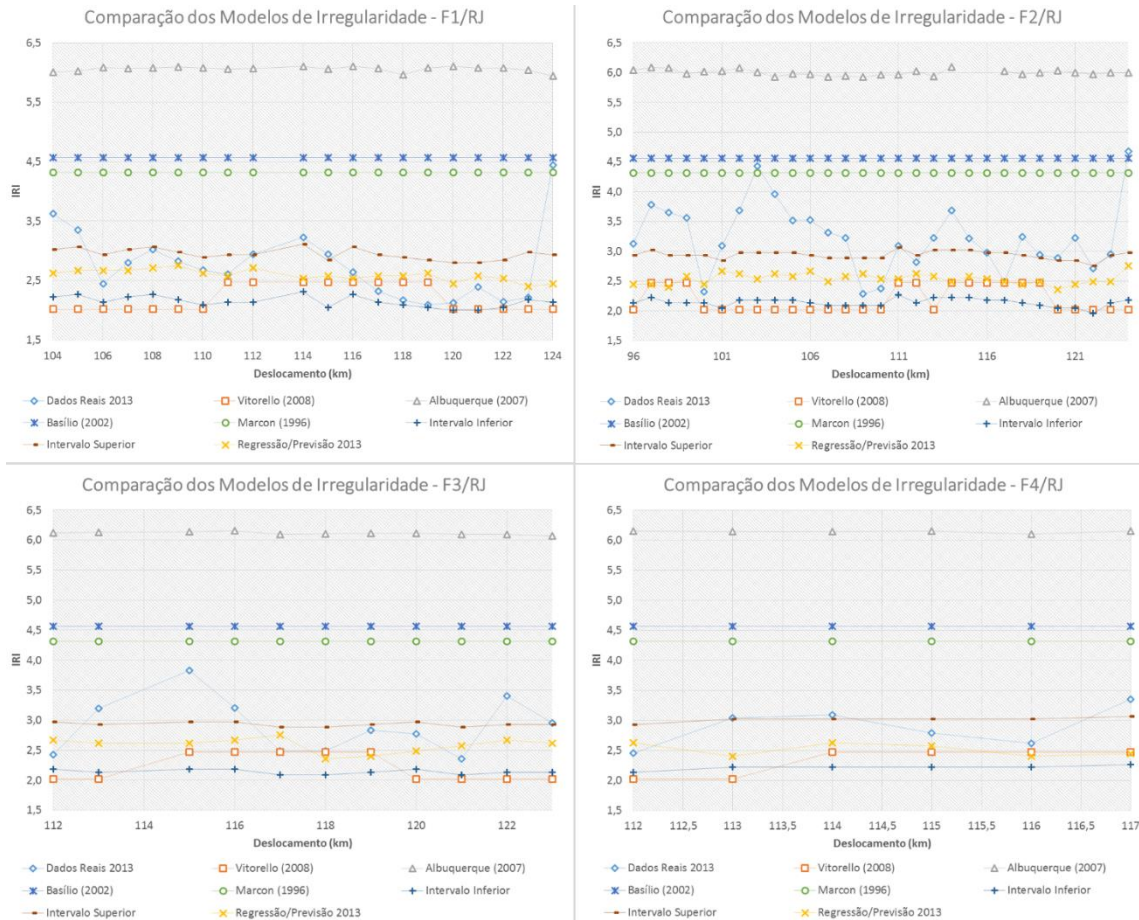
**TAB. 40 - Eficiência da regressão em prever as irregularidades de 2013**

Pontos dentro do Int. de Conf.	Pontos fora do Int. de Conf.	TOTAL
66	64	130
51%	49%	100%

Os modelos que apresentaram maiores discrepâncias entre os valores reais e os estimados foram Albuquerque (2007), Marcon (1996) e Basílio (2002), respectivamente. O modelo de Vitorello (2008), dentre os modelos da literatura, obteve o melhor resultado



**FIG. 41 - Comparação dos modelos previsão de irregularidade sentido JF.**



**FIG. 42 - Comparação dos modelos previsão de irregularidade sentido RJ.**

Os dados de irregularidade de 2013 apresentaram grandes variações ao longo dos segmentos, não possuindo um padrão. A FIG. 41 e FIG. 42 e ilustram que os modelos Albuquerque (2007), Marcon (1996) e Basílio (2002) independente de sentido ou faixa não se aproximam dos valores reais. O modelo de Vitorello (2008) foi o que melhor se apresentou, dentre os modelos disponíveis na literatura, resultados melhores que a regressão para a faixa de rolamento 4 sentido JF.

A EQ. desenvolvida por regressão nesta dissertação apresenta uma previsão de desempenho satisfatória, podendo ser utilizada no SGP da rodovia. Os demais modelos não atenderam às necessidades para aplicação no SGP. Para melhor atender um SGP recomenda-se a atualização da EQ. à medida que se aumente o horizonte de observação e enriqueça o banco de dados de irregularidade.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a análise dos resultados, foi possível obter algumas conclusões, considerando os objetivos principais desse estudo. Como também determinar algumas linhas de estudo que poderão ser desenvolvidas e comporem futuras pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de modelos de desempenho.

### 6.1 CONCLUSÕES

Os resultados das regressões permitiram a elaboração de equações de desempenho de acordo com as condições/características específicas da rodovia (materiais, clima, tráfego, etc.), possibilitando a elaboração de um modelo que permitirá uma maior eficiência no Sistema de Gerência de Pavimento. A seguir, estão apresentadas as principais conclusões obtidas no estudo.

- A montagem/organização do banco de dados com os parâmetros de desempenho e variáveis influenciam na previsão do desempenho do pavimento. O banco de dados criado possibilitou o desenvolvimento das equações de previsão de desempenho (deflexão e irregularidade longitudinal), elemento fundamental para a implantação de um SGP nesta rodovia;
- No que se refere às deflexões, as variáveis independentes, espessuras das camadas do pavimento e o módulo de resiliência da base + sub-base não influenciaram na regressão, sendo excluídos para o desenvolvimento da EQ. final;
- Importante constatação foi a necessidade de aumentar o número de variáveis independentes, não sendo recomendado o uso exclusivo da variável independente número N;
- A variável independente e qualitativa, “intervenções”, necessita de informações consistentes, não apenas como variável qualitativa e sim quantitativa, representando a porcentagem da extensão que sofreu intervenção;

- Em relação aos dois parâmetros estudados, a regressão da deflexão atendeu aos dois critérios estatísticos de aceitação; a regressão da irregularidade não apresentou aceitação em relação ao  $R^2$ , porém ainda assim ambas apresentaram previsões de desempenho melhores quando comparadas com as demais disponíveis na literatura;
- Mais importante que EQ. desenvolvida, é a verificação da eficiência do intervalo de confiança da regressão. Pois a exemplo da irregularidade estudada, a regressão não atendeu a um dos critérios estatísticos, porém obteve mais de 50% dos seus valores compreendidos no intervalo de confiança da regressão, sendo considerada a melhor previsão para a rodovia;
- As previsões de deflexão não apresentaram comportamento similar a nenhum dos modelos já apresentados em estudos anteriores, ressaltando a importância do desenvolvimento de modelos particulares para cada rodovia;
- As equações desenvolvidas podem dar suporte e subsídio ao sistema de gerência de pavimento da rodovia em estudo, determinando em quais condições e períodos de tempo se atingirá o limite aceitável de conforto de rolamento e de capacidade estrutural, com os parâmetros de IRI e deflexão, respectivamente.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentro do escopo desse estudo, diversos temas relacionados podem servir de base para novos trabalhos. Como também a continuação da geração do banco de dados e aperfeiçoamento das equações obtidas. Dentre as sugestões podemos citar:

- Os dados disponíveis são de 180 km, por sentido, da rodovia. O presente estudo contemplou um trecho de apenas 29 km, que apresentaram características de tráfego e clima similar, sendo possível o desenvolvimento de equações para os demais segmentos da rodovia;
- Estabelecimento de proposições não lineares de tendências de desempenho da estrutura de pavimento analisada para os parâmetros de deflexões;
- Elaboração de regressão para outros parâmetros, tais como afundamento de trilha de roda, porcentagem de trincamento, atrito, desgaste, etc.;



- Retroalimentação do banco de dados, com inserção de novos levantamentos ocorridos no trecho do estudo, verificando os possíveis ajustes necessários nas equações;
- Consideração de equações relacionando os parâmetros de desempenho estruturais, funcionais e comportamentais dos pavimentos entre si, avaliando as variações com a evolução do tráfego.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO **Guide for Design of Pavement Structures**, Washington, DC, 1986.
- \_\_\_\_\_. **Guidelines for Pavement Management Systems**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 1990.
- \_\_\_\_\_. **Guide for Design of Pavement Structures**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 1993.
- \_\_\_\_\_. **Pavement Management Guide**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DCC/USA, 2001.
- ASCE Task Group, **Operations Manual for ASCE/FHWA National Contest on LTPP Data Analysis**. Preliminary Draft by Pavements Committee, december 15, 1997.
- ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de Gerência de Pavimentos para Departamentos de Estradas do Nordeste Brasileiro**. Tese de doutorado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2007.
- BALBO, J. T.(1997) - **“Pavimentos Asfálticos – Patologias e Manutenção”** Editora Plêiade, São Paulo, 103 p.
- BASÍLIO, R. **Análise do Comportamento de Pavimentos de Rodovias Estaduais de Goiás – Estudo de Caso**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BBC Weather Centre. **Average conditions - Rio de Janeiro**. Disponível na Web em: [www.worldweatheronline.com / Rio-De - Janeiro - weather-averages / Rio - De - Janeiro/BR.aspx](http://www.worldweatheronline.com/Rio-De-Janeiro-weather-averages/Rio-De-Janeiro/BR.aspx). Consultado em setembro de 2013.
- BENEVIDES, S. A. S. E. **Modelos de Desempenho de Pavimentos Asfálticos para um Sistema de Gestão de Rodovias Estaduais do Ceará**. 2006. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ.
- BUTT, A.A., SHAKIN M.Y., FEIGAN K.J. et al., 1988, **“Pavement Performance Prediction Model Using the Markov Process”**. In: *TRR 1123*, Transportation

Research Board, Washington, DC.

CARDOSO, S. H., 1992, “**Avaliação não Destrutiva de Pavimentos de Aeroportos – A Experiência Brasileira**”. Seminário de Manutenção de Aeroportos, OACI/DIRENG/INFRAERO.

CARDOSO, A. P.; DUARTE, I. M.; CASAN, Y.; MILFORT, A. C.; RS: **O Sistema de Gerência da Malha Rodoviária do Estado do Rio Grande do Sul**. In: 33ª Reunião Anual de Pavimentação, 33ªRAPv, 5, Anais. Associação Brasileira de Pavimentação, Florianópolis – SC, 2000.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Boletim Estatístico CNT 2012**. Confederação Nacional do Transporte – CNT, Brasília – DF, 2012. Disponível na Web em: <http://www.cnt.org.br/>. Consultado em Junho de 2013.

\_\_\_\_\_. **Plano CNT de Transporte e Logística 2011**. Confederação Nacional do Transporte – CNT, Brasília – DF, 2011. Disponível na Web em: <http://www.cnt.org.br/>. Consultado em Junho de 2013.

CUNHA, C. B. **Estado da Arte e Perspectivas de Pesquisa em Sistemas de Gerência de Pavimentos e Modelos de Simulação do Transporte em Rodovias**. Publicação IPT 1790, São Paulo - SP, 1989

\_\_\_\_\_. **Determinação de Modelo de Deterioração dos Pavimentos para a Malha do Rodoviária Estadual do Ceará**. 2008. p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre**, 2004. p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

DNIT/SGP. **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais – Rio de Janeiro**. MT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Sistema de Gerência dos Pavimentos, Brasília – DF, 2013.

DOMINGUES, F. A. A. MID - **Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. São Paulo - SP, 96 p, 1993.

\_\_\_\_\_. **Mirr Equipamento para Medição da Irregularidade dos pavimentos**. São Paulo - SP, 70 p, 1999.

- FRANDOLOZO, G. **Evolução da irregularidade longitudinal em pavimentos flexíveis restaurados**. 2010. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de Passo Fundo.
- FERNANDES, Jr. J. L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. 1994. 293 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- \_\_\_\_\_. **Considerações sobre a Importância de Treinamento e Pesquisa para Implantação de Sistemas de Gerência de Pavimentos**, 30º Reunião Anual de Pavimentação, Volume 4, p. 2115-2125, Salvador - BA, 1996.
- \_\_\_\_\_. **Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos para Cidades de Médio Porte**. São Carlos/SP: Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.
- GEIPOT - EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. **Pesquisa sobre o inter-relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias**. Brasília – DF, Ministério dos Transportes, 12 v., 1981.
- GONÇALVES, F. P., **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**, Novembro de 1999 – apostila.
- HAAS, R.; HUDSON, W. R. ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida/USA, 1994. 581p.
- HUANG, Y. H. **Pavement analysis and desing**. New Jersey: University of Hentucky, 1993
- IPR-720. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. MT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília – DF, 2006.
- IPR-724. **Manual de Drenagem de Rodovias**. MT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília – DF, 2006.
- IPR-726. **Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários Escopos Básicos/Instruções de Serviço**. MT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília – DF,

2006.

IPR-745. **Manual de Gerência de Pavimentos**. MT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Brasília – DF, 2011.

LERCH, R. L. **Previsão de Irregularidade Pós-recapê em Rodovias do RS: Ajuste do Modelo HDM-4**. 2003. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARCON, A. F. **Contribuição ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. 1996. Tese (Doutorado em Infra-Estrutura Aeronáutica), Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos – SP, Brasil.

Montgomery, D. C.; Ruger G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros**. LTC 5ª Ed. 476 p. 2012.

MOTTA, L. M. G., 1991, **Avaliação de Pavimentos uma Programação**, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

\_\_\_\_\_. (1999) - “**A Retroanálise Aplicada ao Projeto de Reforço de Pavimentos**” 3º Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço, Belém-PA.

NAKAHARA, S. M. **Estudo de Desempenho de Reforços de Pavimentos Asfálticos em Vias Sujeita a Tráfego Comercial Pesado**. Tese de doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 312 p. 2005.

NUÑEZ, M. M. SHAHIN, M. Y. **Pavement Condition Data Analysis and Modeling**. Transportation Research Record 1070, Transportation Research Board, p. 125-132, Washington-DC, USA, 1986.

PATERSON, W. D. O. **Road Deterioration and Maintenance Effects**. World Bank Publications, Washington-DC, USA, 1987.

QUEIROZ, C. A. V. **Performance Prediction Models for Pavement Management in Brazil**. Dissertation for the Degree of Philosophy Doctor, University of Texas, Austin – Texas, USA. 317 p. 1981.

\_\_\_\_\_. **Modelos de Previsão do Desempenho de Pavimento: Desenvolvimento e**

**Aplicação.** Publicação 692/50, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro - RJ, 66 p. 1982.

\_\_\_\_\_. **Modelos de Previsão do Desempenho para a Gerência de Pavimentos no Brasil.** Ministério dos Transportes – Empresa Brasileira de planejamento de Transportes (GEIPOT), Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), Brasília - DF, 1984.

QUEIROZ, C. A. V., HUDSON, W. R., HAAS, R. **A Standardization of Pavement Management Systems in Brazil and other Developing Countries.** Transportation Research Record 1344, Transportation Research Board, Washington-DC/USA, 1992.

RAUHUT, J. B.; GENDELL, D. S. **Proposed Development of Pavement Performance Prediction Models from SHTP/LTTP Data.** Second North American Conference on Managing Pavements, Toronto, Canadá, 1987.

ROCHA, N. R., RODRIGUES, R. M. (1998a) - “**Estudo de Correlação entre as Medidas com a Viga Benkelman e com o Falling Weight Deflectometer**”. Anais da 31 Reunião Anual de Pavimentação, Volume 2, São Paulo-SP.

\_\_\_\_\_. (1998b) - “**Levantamentos Deflectométricos: Fatores que Influenciam na Previsão do Desempenho dos Pavimentos**”. Anais da 31 Reunião Anual de Pavimentação, Volume 2, São PauloSP.

RODRIGUES, R. M. **Gerência de Pavimentos.** Apostilas da Disciplina de Gerência de Pavimentos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. São Carlos – SP, 2003.

SHAHIN, M. Y. **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots.** New York, USA, Ed. Chapman & Hall, 223 p., 1994.

SONCIM, S.P. **Desenvolvimento de Modelos de Pavimentos Asfálticos com Base da Rede de Rodovias do Estado da Bahia.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte – Infraestrutura de Transporte). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo. 197 p. 2011.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas,** Rio de Janeiro: Transcom, 1975.

TURNBULL, W.J.; FOSTER, C.R. e AHLVIN, R.G. - **Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume** - International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements - The University of Michigan - Ann Arbor – 1962.

VISCONTI, T. S. **O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Divisão de Apoio Tecnológico, Brasil, 84 p, 2000.

VITORELLO, T. **Análise de Desempenho de Estrutura de Pavimento Flexível da Rodovia BR-290/RS no Trecho Osório - Porto Alegre**. 2008. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre.

WATANATADA, T., HARRAL, C. G., PATERSON, W. D. O., DHARESHWAR, A. M., BHANDARI, A., TSUNOKAWA, K. **The Highway Design and Maintenance Standards Model – Volume 1: Description of the HDM-III Model**. World Bank Publications, Washington D.C., USA, 1987. Disponível na Web em: [worldbank.org](http://worldbank.org). Consultado em julho de 2013.

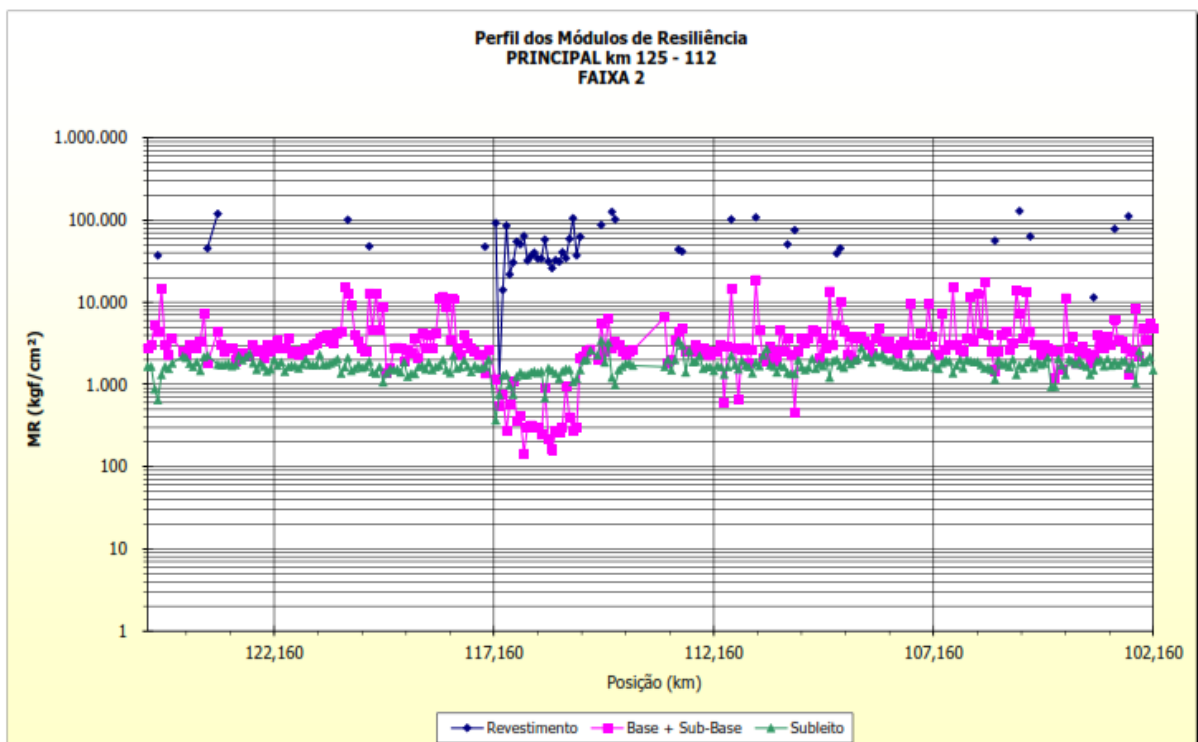
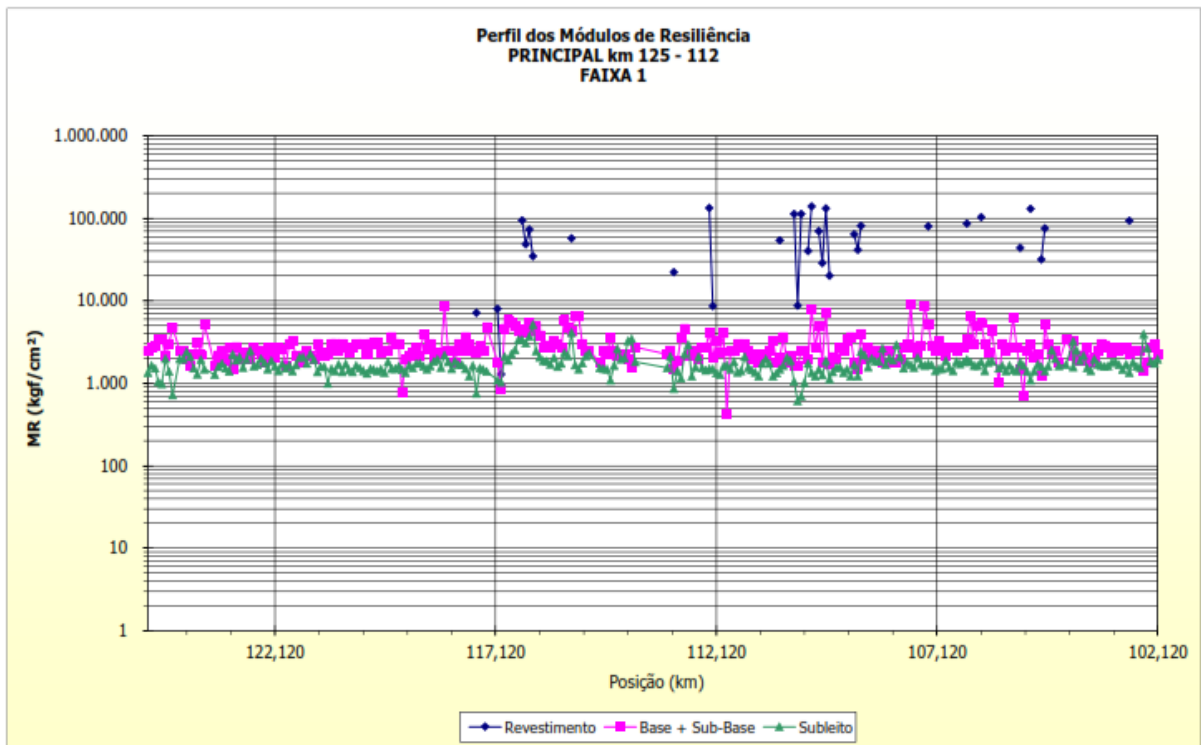
World Meteorological Organization. **World Weather Information Service - Rio de Janeiro**. Disponível na Web em: [www.hko.gov.hk/wxinfo/climat/world/eng/s\\_america/brazil/rio\\_de\\_janeiro\\_e.htm](http://www.hko.gov.hk/wxinfo/climat/world/eng/s_america/brazil/rio_de_janeiro_e.htm) Consultado em setembro de 2013.

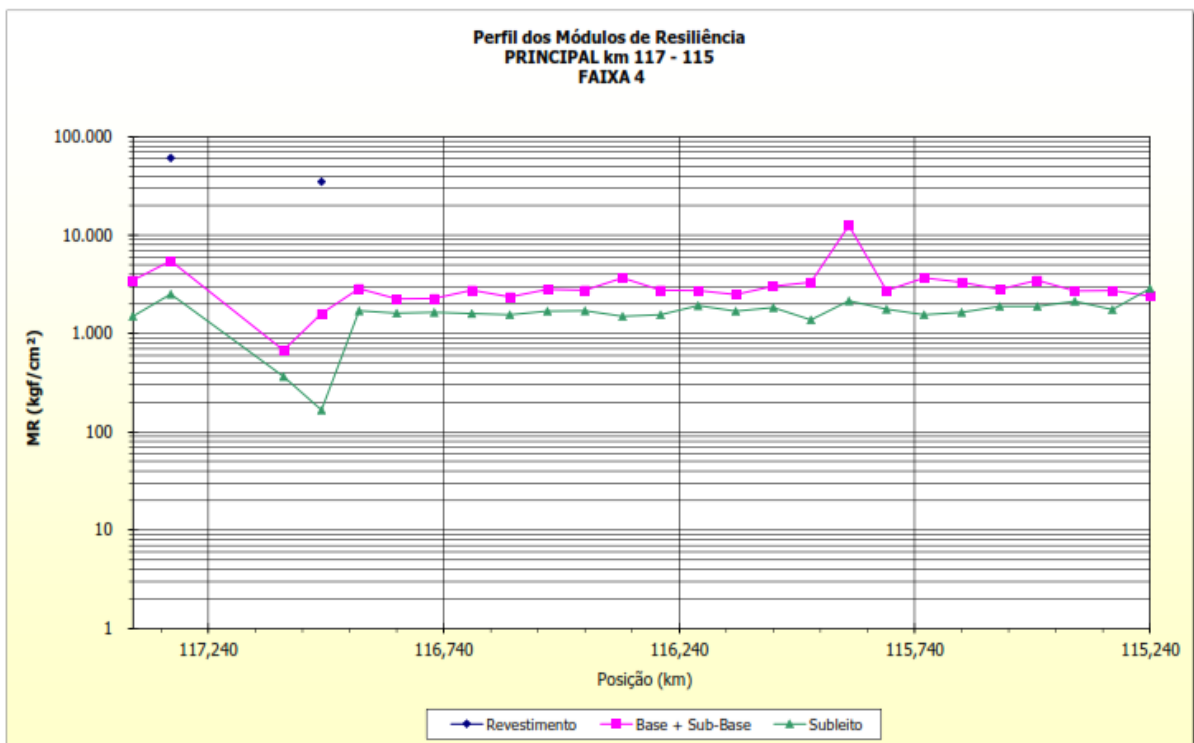
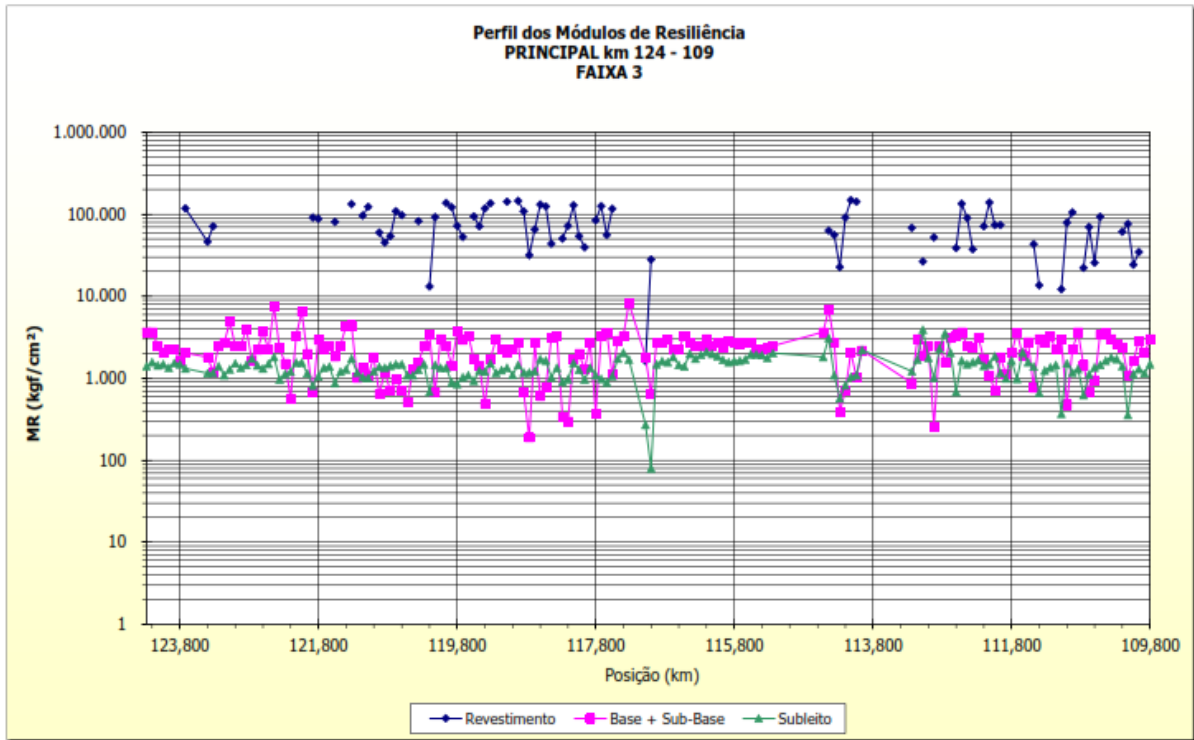
YSHIBA, J. K. **Modelo de Desempenho de Pavimentos: Estudo de Rodovias do Estado do Paraná**. 2003. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - SP

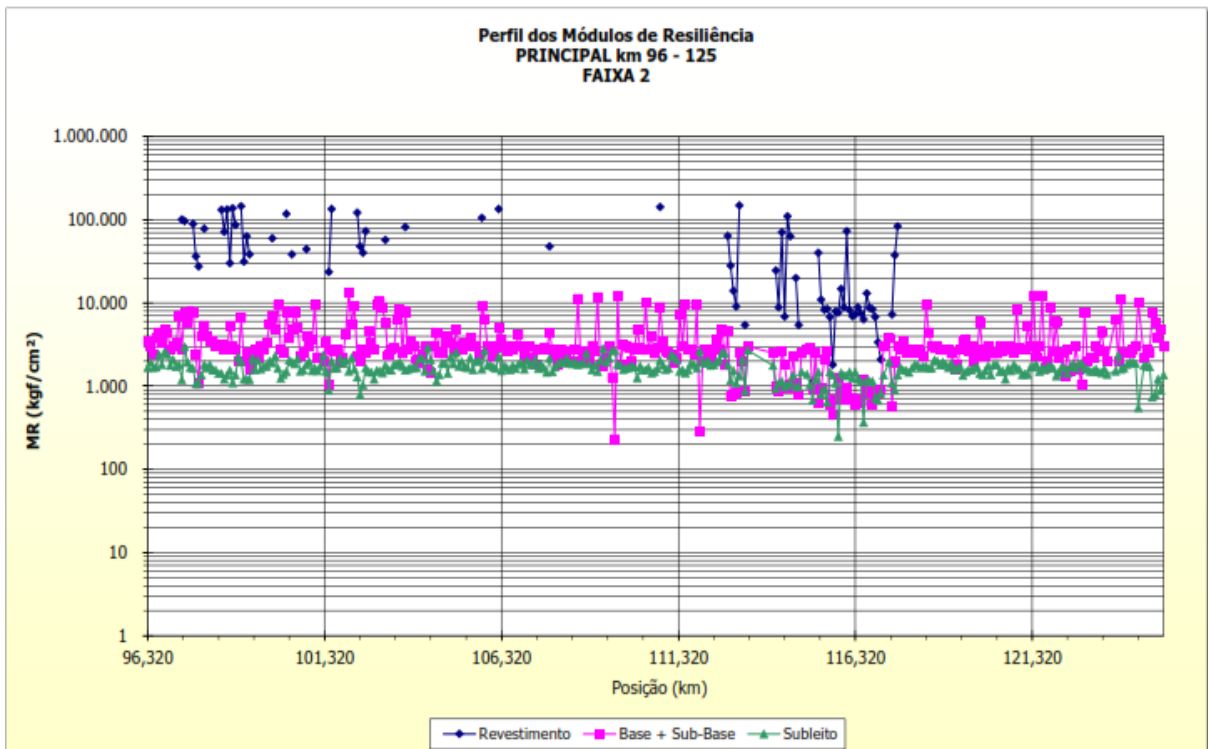
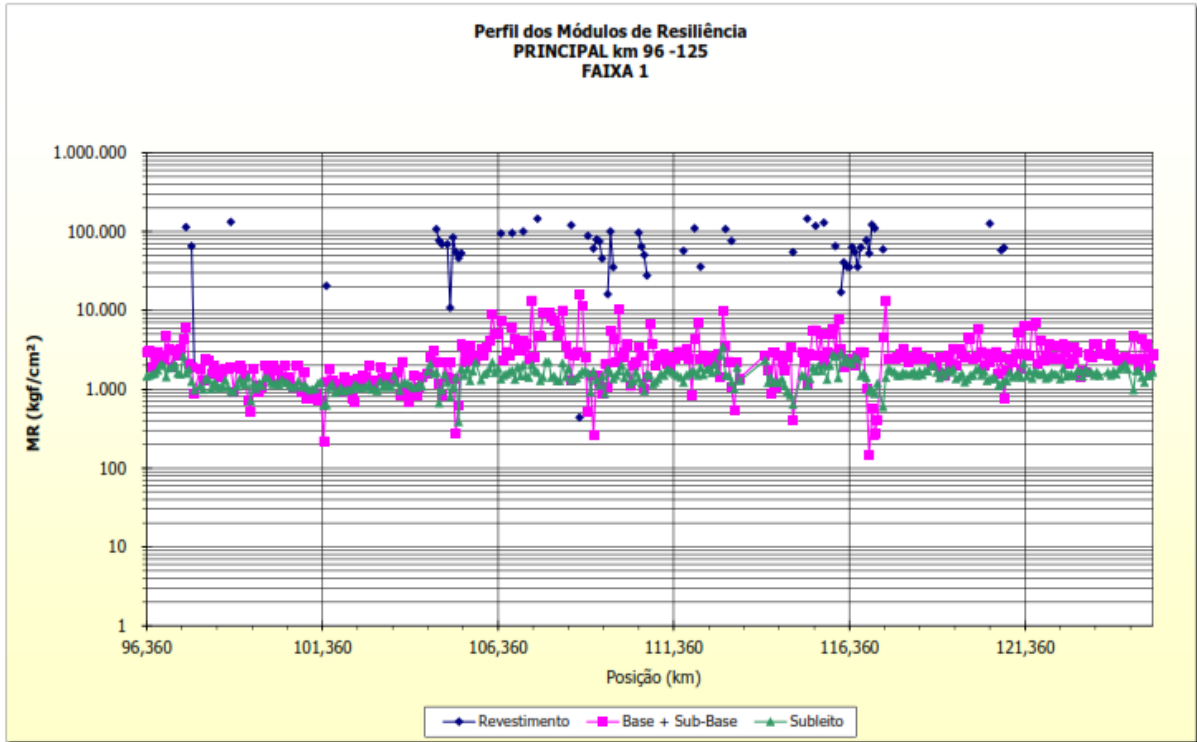
8 **ANEXOS**

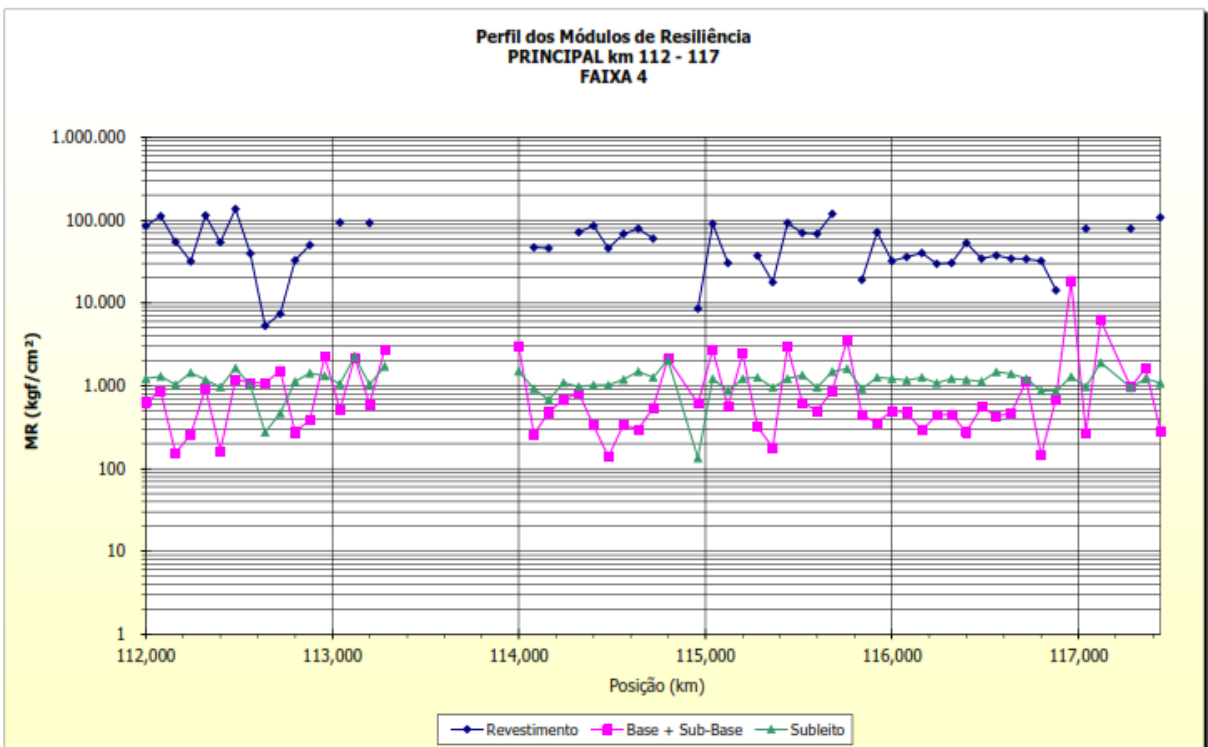
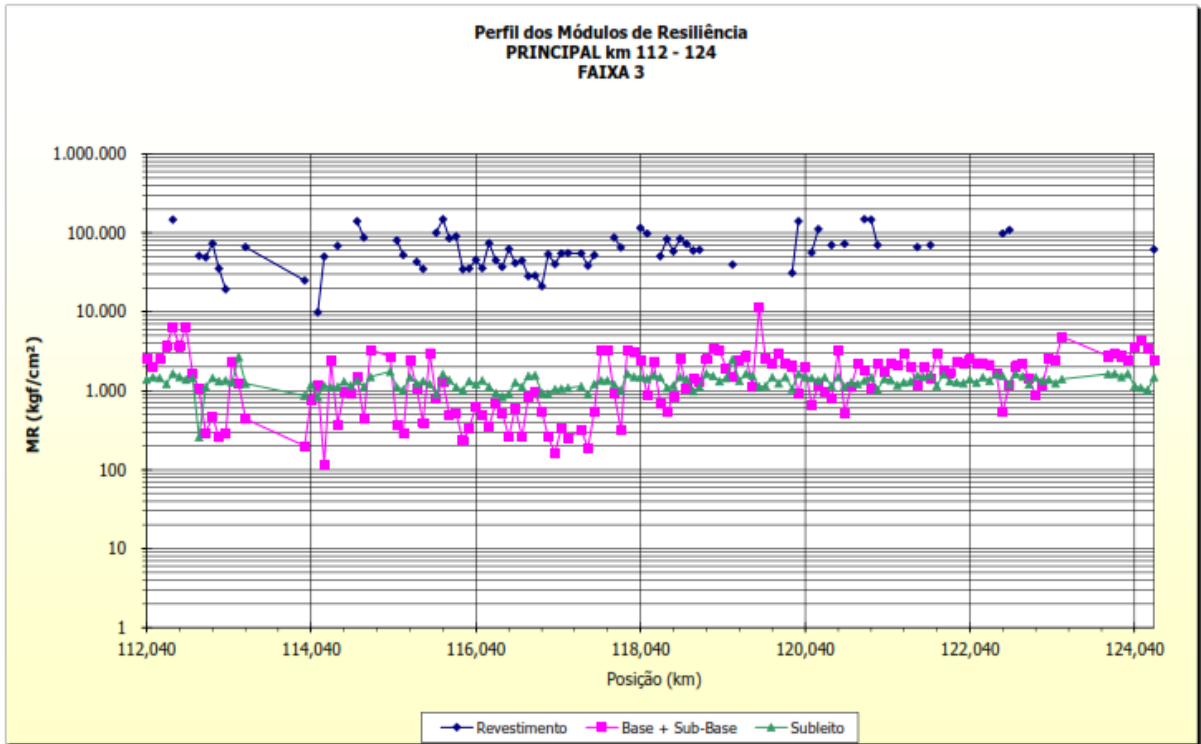


## 8.1 ANEXO A – MÓDULO DE RESILIÊNCIA









ANEXO B – INTERVENÇÕES DO TIPO A

KM	FAIXA	SENTIDO	2004/2005	2007/2008	2009	2010	2011	2012
96	1	RJ	0	1	0	0	0	0
97	1	RJ	0	1	0	0	0	1
98	1	RJ	0	1	0	0	0	1
99	1	RJ	0	1	0	0	0	1
100	1	RJ	1	1	0	0	0	0
101	1	RJ	1	1	1	0	0	0
102	1	RJ	1	0	1	1	0	0
103	1	RJ	1	0	1	0	0	0
104	1	RJ	1	0	1	0	0	0
105	1	RJ	1	1	1	0	0	0
106	1	RJ	1	0	0	0	0	0
107	1	RJ	1	0	0	0	0	0
108	1	RJ	1	0	0	0	0	0
109	1	RJ	1	1	1	0	0	0
110	1	RJ	1	1	1	0	0	0
111	1	RJ	0	1	1	0	0	1
112	1	RJ	1	1	1	0	0	1
113	1	RJ	0	1	1	0	0	0
114	1	RJ	0	1	1	0	0	1
115	1	RJ	0	1	1	0	1	1
116	1	RJ	1	1	1	0	0	1
117	1	RJ	1	1	1	0	1	1
118	1	RJ	1	1	1	1	1	1
119	1	RJ	1	1	1	1	0	1
120	1	RJ	0	0	1	1	1	0
121	1	RJ	1	1	1	1	0	0
122	1	RJ	0	0	0	1	0	0
123	1	RJ	0	1	1	0	0	0
124	1	RJ	0	1	0	0	1	0
125	1	RJ	0	1	0	0	1	0
96	2	RJ	0	1	0	0	0	0
97	2	RJ	0	1	0	0	0	1
98	2	RJ	0	1	0	0	0	1
99	2	RJ	0	1	0	0	0	1
100	2	RJ	1	1	0	0	0	0
101	2	RJ	1	1	1	0	0	0
102	2	RJ	1	0	1	1	0	0
103	2	RJ	1	0	1	0	0	0
104	2	RJ	1	0	1	0	0	0
105	2	RJ	1	1	1	0	0	0
106	2	RJ	1	0	0	0	0	0
107	2	RJ	1	0	0	0	0	0

KM	FAIXA	SENTIDO	2004/2005	2007/2008	2009	2010	2011	2012
108	2	RJ	1	0	0	0	0	0
109	2	RJ	1	1	1	0	0	0
110	2	RJ	1	1	1	0	0	0
111	2	RJ	0	1	1	0	0	1
112	2	RJ	1	1	1	0	0	1
113	2	RJ	0	1	1	0	0	0
114	2	RJ	0	1	1	0	0	1
115	2	RJ	0	1	1	0	1	1
116	2	RJ	1	1	1	0	0	1
117	2	RJ	1	1	1	0	1	1
118	2	RJ	1	1	1	1	1	1
119	2	RJ	1	1	1	1	0	1
120	2	RJ	0	0	1	1	1	0
121	2	RJ	1	1	1	1	0	0
122	2	RJ	0	0	0	1	0	0
123	2	RJ	0	1	1	0	0	0
124	2	RJ	0	1	0	0	1	0
125	2	RJ	0	1	0	0	1	0
112	3	RJ	0	0	0	0	0	0
113	3	RJ	0	1	1	0	0	0
114	3	RJ	0	1	1	0	0	1
115	3	RJ	0	1	1	0	1	1
116	3	RJ	1	1	1	0	0	1
117	3	RJ	1	1	1	0	1	1
118	3	RJ	1	1	1	1	1	1
119	3	RJ	1	1	1	1	0	1
120	3	RJ	0	0	1	1	1	0
121	3	RJ	1	1	1	1	0	0
122	3	RJ	0	0	0	1	0	0
123	3	RJ	0	1	1	0	0	0
112	4	RJ	0	0	0	0	0	0
113	4	RJ	0	1	1	0	0	0
114	4	RJ	0	1	1	0	0	1
115	4	RJ	0	1	1	0	1	1
116	4	RJ	1	1	1	0	0	1
117	4	RJ	1	1	1	0	1	1
102	1	JF	1	0	1	0	0	0
103	1	JF	1	0	1	0	0	0
104	1	JF	1	0	1	1	0	0
105	1	JF	1	1	1	0	0	0
106	1	JF	1	0	1	0	0	0
107	1	JF	1	0	1	0	0	1
108	1	JF	1	0	0	0	0	0

KM	FAIXA	SENTIDO	2004/2005	2007/2008	2009	2010	2011	2012
109	1	JF	1	1	1	0	1	0
110	1	JF	1	1	1	0	0	0
111	1	JF	1	1	1	0	1	0
112	1	JF	1	1	1	0	1	0
113	1	JF	1	0	0	0	1	0
114	1	JF	1	1	1	0	1	0
115	1	JF	1	0	1	0	0	1
116	1	JF	1	1	1	0	0	1
117	1	JF	0	1	1	0	0	1
118	1	JF	0	1	0	0	1	0
119	1	JF	1	1	1	0	0	0
120	1	JF	1	1	1	0	1	0
121	1	JF	0	1	1	0	0	0
122	1	JF	0	1	0	0	1	0
123	1	JF	0	1	1	0	1	0
124	1	JF	0	1	1	0	1	0
125	1	JF	0	1	1	0	0	0
102	2	JF	1	0	1	0	0	0
103	2	JF	1	0	1	0	0	0
104	2	JF	1	0	1	1	0	0
105	2	JF	1	1	1	0	0	0
106	2	JF	1	0	1	0	0	0
107	2	JF	1	0	1	0	0	1
108	2	JF	1	0	0	0	0	0
109	2	JF	1	1	1	0	1	0
110	2	JF	1	1	1	0	0	0
111	2	JF	1	1	1	0	1	0
112	2	JF	1	1	1	0	1	0
113	2	JF	1	0	0	0	1	0
114	2	JF	1	1	1	0	1	0
115	2	JF	1	0	1	0	0	1
116	2	JF	1	1	1	0	0	1
117	2	JF	0	1	1	0	0	1
118	2	JF	0	1	0	0	1	0
119	2	JF	1	1	1	0	0	0
120	2	JF	1	1	1	0	1	0
121	2	JF	0	1	1	0	0	0
122	2	JF	0	1	0	0	1	0
123	2	JF	0	1	1	0	1	0
124	2	JF	0	1	1	0	1	0
125	2	JF	0	1	1	0	0	0
109	3	JF	1	1	1	0	1	0
110	3	JF	1	1	1	0	0	0
111	3	JF	1	1	1	0	1	0
112	3	JF	1	1	1	0	1	0
113	3	JF	1	0	0	0	1	0

KM	FAIXA	SENTIDO	2004/2005	2007/2008	2009	2010	2011	2012
114	3	JF	1	1	1	0	1	0
115	3	JF	1	0	1	0	0	1
116	3	JF	1	1	1	0	0	1
117	3	JF	0	1	1	0	0	1
118	3	JF	0	1	0	0	1	0
119	3	JF	1	1	1	0	0	0
120	3	JF	1	1	1	0	1	0
121	3	JF	0	1	1	0	0	0
122	3	JF	0	1	0	0	1	0
123	3	JF	0	1	1	0	1	0
124	3	JF	0	1	1	0	1	0
114	4	JF	0	0	0	0	0	0
115	4	JF	0	0	0	0	0	0
116	4	JF	1	1	1	0	0	1
117	4	JF	0	1	1	0	0	1



## 8.2 ANEXO C – HISTÓRICO DE DEFLEXÃO ( $10^{-2}$ MM)

SENTIDO JF - F1							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
102	10,86	10,53	9,78	10,30	9,88	12,31	11,65
103	12,57	11,11	11,23	10,62	11,67	11,68	11,46
104	14,18	14,57	11,61	10,69	11,33	19,25	16,73
105	21,05	21,40	19,38	19,01	20,30	24,73	13,28
106	20,93	22,06	25,84	19,61	25,60	29,76	12,55
107	20,78	17,24	21,60	18,37	19,42	24,65	12,18
108	11,55	10,10	9,50	11,47	16,34	21,92	10,98
109	24,52	21,72	24,31	20,79	20,50	27,08	12,50
110	23,01	24,63	25,55	18,58	20,01	22,21	19,07
111	17,74	17,51	20,39	17,09	23,26	25,50	12,36
112	20,19	17,54	20,91	16,52	22,03	25,33	9,23
113	12,55	19,40	26,27	15,58	16,78	14,68	7,09
114	14,53	15,30	15,49	13,28	16,20	15,72	11,56
115	18,24	15,95	17,13	16,50	17,15	20,87	15,70
116	25,65	22,67	23,34	23,69	21,16	25,55	16,81
117	21,18	18,94	18,41	15,73	19,39	20,91	8,38
118	16,55	15,83	14,93	14,65	15,31	18,34	11,53
119	21,29	17,41	17,07	17,75	19,38	23,25	17,65
120	17,35	17,30	17,38	14,39	17,32	17,57	13,26
121	14,13	13,63	14,12	12,18	12,42	14,86	10,98
122	14,13	13,98	15,21	11,65	12,43	14,25	11,36
123	16,89	15,08	15,44	16,51	15,10	19,78	15,49
124	13,78	15,08	12,88	13,49	10,66	15,44	16,86
125	18,30	16,60	17,25	19,85	11,20	12,65	15,22

SENTIDO JF - F2							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
102	21,35	15,08	20,27	12,61	12,92	18,77	19,29
103	19,55	16,23	22,79	15,13	14,49	14,78	22,07
104	22,00	12,46	18,48	15,32	13,82	16,56	23,16
105	20,47	20,58	19,27	16,09	16,57	19,05	16,25
106	21,15	14,38	17,15	14,27	13,17	18,32	18,24
107	19,97	15,28	18,38	14,31	11,93	14,90	27,42
108	13,72	9,02	10,74	8,25	8,45	12,58	14,64
109	20,68	15,79	14,59	12,33	16,44	18,08	15,17
110	19,58	17,03	20,19	14,52	15,65	17,14	15,78
111	17,52	12,28	21,69	15,15	11,85	17,05	11,63
112	17,76	12,03	14,09	13,12	14,84	16,22	17,20
113	22,50	18,25	9,70	19,20	15,13	16,75	16,25
114	22,77	22,87	22,76	17,69	19,74	20,31	16,51
115	20,97	11,64	16,04	9,54	13,55	0,00	8,59
116	0,00	23,10	25,20	0,00	17,80	9,10	
117	16,10	16,71	17,49	11,51	13,43	18,38	26,37
118	21,19	15,75	15,72	19,76	15,36	18,34	15,85
119	23,40	20,92	18,58	19,82	19,39	21,52	17,01
120	22,86	18,53	16,28	19,01	15,12	20,85	19,00
121	17,15	17,80	13,95	13,36	12,27	13,26	16,51
122	14,55	13,37	20,57	12,26	11,28	15,72	14,10
123	20,54	13,37	27,47	13,72	12,68	17,94	13,34
124	16,80	16,41	15,76	11,25	14,47	17,18	22,58
125	19,20		11,30	21,03	8,50	13,80	7,99

SENTIDO JF - F3							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
109	39,30	17,30	38,20			39,82	9,88
110	40,15	35,00	39,01	35,19	31,83	41,49	41,79
111	35,48	26,70	34,44	35,82	34,62	42,39	25,65
112	45,63	38,80	35,95	31,37	27,62	38,35	53,83
113	53,55	27,00	32,00	31,60	44,40	46,57	
114	42,10	42,06	36,28	36,65	30,82	35,76	31,42
115	18,10	14,65	14,70	14,35	0,00	18,90	30,93
116	18,70	22,80	0,00	13,20	38,80	26,33	
117	36,81	35,34	36,67	41,51	36,86	42,42	51,10
118	51,30	34,98	38,58	39,44	35,03	42,62	37,75
119	48,68	38,40	36,53	35,58	40,09	43,90	35,80
120	53,01	36,63	41,88	40,48	33,85	40,68	36,22
121	42,42	36,15	38,17	32,11	30,83	42,42	32,13
122	33,06	22,49	24,19	24,78	22,29	30,26	28,95
123	38,26	27,54	40,53	31,40	26,96	34,58	23,49
124	27,43	25,20	37,73	23,82	22,18	33,64	35,72

SENTIDO JF - F4							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
114		15,90	12,90	9,80	9,56	14,88	
115	16,64	16,03	14,91	11,07	11,00	15,58	
116	15,63	15,05	13,65	11,05	12,90	15,05	
117	33,4	0,00	22,10	24,00	13,95	23,60	

SENTIDO RJ - F1							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
96	16,04	14,40	18,27	23,74	13,56	19,59	33,35
97	20,33	22,00	20,29	21,23	18,94	23,16	28,47
98	24,76	19,58	21,36	22,28	17,78	24,63	32,56
99	22,04	17,14	21,27	19,95	15,34	20,29	28,82
100	18,67	16,45	18,62	16,27	14,22	17,95	17,64
101	16,29	12,64	18,68	15,34	13,77	16,08	19,22
102	16,13	14,39	20,73	14,86	15,65	20,03	25,83
103	17,27	15,15	19,12	14,02	14,27	15,45	22,55
104	16,98	11,82	16,83	12,73	21,45	19,20	15,94
105	22,55	15,76	20,16	14,47	18,40	20,82	29,41
106	26,32	17,67	23,63	18,23	28,25	32,88	20,77
107	26,45	16,85	19,85	17,49	27,78	27,77	16,01
108	24,60	17,23	21,34	18,89	29,38	29,91	14,17
109	29,49	22,72	28,79	22,11	37,13	34,87	18,22
110	28,91	18,97	31,18	25,74	33,10	30,67	14,00
111	19,78	17,04	21,74	16,99	19,00	26,61	11,50
112	17,97	13,98	19,78	14,27	20,96	27,80	8,88
113	20,70	21,88	29,70	14,75	16,18	33,30	27,20
114	39,17	30,64	37,30	28,96	30,87	37,04	37,14
115	27,53	24,16	26,15	21,46	17,45	25,88	23,01
116	39,15	26,38	31,64	28,39	35,76	38,68	37,06
117	17,86	14,77	24,70	18,92	17,45	27,85	15,31
118	14,45	11,95	14,02	13,92	11,64	15,43	10,63
119	19,88	15,17	18,25	14,64	21,30	30,63	12,97
120	32,94	24,86	30,19	25,39	32,67	36,77	15,06
121	21,34	17,48	19,43	22,48	26,38	31,14	13,92
122	18,32	15,70	18,51	21,10	29,31	30,88	14,49
123	16,11	13,49	16,11	15,27	19,45	23,18	17,76
124	15,78	11,13	13,38	12,03	11,75	14,21	8,93
125	17,00	12,50	12,95	12,35	12,20	17,20	14,33

SENTIDO RJ - F2							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
96	21,08	16,74	27,71	17,33	11,71	23,41	37,42
97	30,80	24,99	28,59	34,58	26,51	31,66	32,00
98	33,14	26,39	33,88	23,24	18,35	30,78	32,56
99	22,30	14,33	24,93	18,35	12,53	16,84	25,44
100	26,39	15,54	23,57	19,47	16,73	19,52	18,39
101	18,69	15,75	18,13	17,31	14,79	20,63	14,21
102	31,61	26,91	32,47	26,08	27,44	29,62	19,50
103	23,16	20,64	27,51	22,91	15,04	18,86	22,00
104	15,64	14,54	14,24	9,84	8,87	13,15	23,33
105	20,06	14,84	17,06	14,58	11,73	16,82	16,00
106	18,82	14,25	18,84	16,33	12,98	16,14	18,50
107	17,12	12,46	15,59	13,09	9,93	13,54	24,00
108	14,90	11,62	15,41	11,26	10,45	14,21	12,17
109	14,93	10,31	13,68	10,53	10,30	13,47	14,74
110	17,84	12,29	17,18	13,01	11,34	15,18	16,25
111	16,17	12,06	16,28	13,11	11,90	15,46	15,28
112	17,69	12,80	17,05	10,64	21,87	21,30	10,31
113	18,57	19,07	19,65	17,70	9,60	13,75	
114	30,62	26,38	29,98	36,14	26,37	36,26	28,13
115	38,10	29,20	25,60	23,60	33,50	0,00	
116	0,00	0,00	30,20	0,00	0,00	0,00	
117	22,34	15,28	14,75	13,25	13,99	20,73	13,47
118	16,22	14,42	12,88	10,65	13,72	15,75	13,63
119	18,12	15,10	15,30	12,36	8,10	18,41	16,37
120	25,98	19,24	22,58	18,75	17,72	22,55	20,07
121	19,70	14,73	16,62	14,88	11,74	18,44	11,12
122	16,02	12,28	13,29	12,22	11,88	15,75	12,53
123	19,36	14,84	18,01	13,97	11,88	18,23	12,49
124	16,58	13,38	14,13	10,69	11,17	18,20	14,84
125	19,50	11,90	16,53	14,63	19,00	14,85	13,77

SENTIDO RJ - F3							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
112	38,41	25,00	39,54	33,94	33,23	43,63	23,83
113	62,70	26,60	35,40	50,40	50,55	51,75	36,24
114	56,76	47,26	56,78	45,31	43,05	50,94	44,35
115	62,46	51,80	55,08	45,17	56,56	57,51	
116	82,02	65,94	71,12	48,25	69,07	70,00	61,94
117	46,66	39,59	60,49	40,06	46,38	35,80	44,28
118	54,27	45,45	51,04	40,06	34,12	37,94	43,05
119	36,30	39,15	42,90	32,84	41,38	41,75	44,81
120	51,38	45,41	46,80	43,08	36,19	42,57	34,47
121	36,95	27,84	31,43	32,17	31,95	35,95	35,51
122	40,99	34,14	44,44	31,95	29,76	36,19	33,68
123	29,43	23,35	27,46	25,33	21,58	29,27	
124	36,23	30,85	70,00	31,87	39,37	31,83	

SENTIDO RJ - F4							
KM	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013
112	79,48	66,62	79,14	92,46	71,61	68,10	23,83
113	78,55	45,60	88,90	80,70	73,10	59,00	36,24
114	90,26	52,27	80,85	66,42	60,48	57,21	44,35
115	82,44	61,35	80,45	57,58	61,54	66,85	
116	101,40	77,82	88,31	72,43	73,01	34,91	61,94
117	79,48	52,30	70,85	84,20	0,00	61,30	44,28

8.3 ANEXO D – HISTÓRICO DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL (M/KM)

SENTIDO JF - F1					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
125,00	0,0	2,6	2,3	2,1	
124,00	2,1	2,5	2,3	2,4	3,5
123,00	2,2	2,3	2,1	2,0	3,2
122,00	1,9	1,8	2,1	2,1	2,2
121,00	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0
120,00	1,9	1,8	2,1	2,1	2,2
119,00	2,2	2,2	2,0	2,0	2,1
118,00	2,0	1,8	2,3	2,3	2,0
117,00	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
116,00	2,3	2,3	2,1	2,1	2,6
115,00	2,2	2,4	2,5	2,5	2,3
114,00	2,4	2,5	2,3	2,4	3,0
113,00	2,4	2,5	2,3	2,4	3,0
112,00		2,4	2,3	2,3	2,5
111,00		2,5	2,3	2,4	2,9
110,00		2,8	2,3	2,3	3,0
109,00		2,6	2,7	2,7	2,8
108,00		2,8	2,3	2,4	3,5
107,00		2,6	2,4	2,5	3,2
106,00		2,9	2,8	2,8	2,8
105,00		3,1	2,6	2,7	3,5
104,00		2,8	2,6	2,6	4,0
103,00		2,5	2,4	2,6	3,3
102,00		2,8	2,3		3,2

SENTIDO JF - F2					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
125	0,0	0,0	2,3	2,2	
124	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2
123	1,9	2,3	2,2	2,1	2,7
122	2,0	2,2	2,0	1,9	2,1
121	2,0	2,1	2,2	2,2	3,0
120	1,9	2,2	2,1	2,1	2,3
119	2,0	2,2	2,2	2,2	2,3
118	2,2	2,4	2,5	2,3	2,3
117	2,8	2,0	2,8	2,4	2,4
116	2,1	2,5	2,7	2,2	3,1
115	2,1	2,5	2,5	2,4	3,0
114	2,5	2,7	2,4	2,5	3,4
113	2,5	2,8	2,3	2,3	3,5
112	2,3	2,6	2,2	2,3	2,6
111	2,3	2,6	2,5	2,5	2,6
110	2,3	2,5	2,4	2,4	3,1
109	2,6	2,8	2,2	2,2	2,9
108	2,3	3,0	2,5	2,6	2,4
107	2,3	2,6	2,3	2,4	2,6
106	2,3	2,5	2,6	2,5	2,6
105	2,7	2,9	2,2	2,3	3,1
104	2,4	2,7	2,5	2,5	2,5
103	2,4	2,8	2,5	2,6	3,0
102	2,2	2,7	2,1		3,7

SENTIDO JF - F3					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
124		2,4	2,1	2,3	
123		2,3	2,4	2,5	4,3
122		2,7	2,1	2,0	2,4
121		2,8	2,4	2,5	2,3
120		2,8	2,4	2,5	3,6
119		2,9	2,5	2,6	3,2
118		2,7	2,4	2,4	3,6
117		3,2	2,4	2,2	2,8
116			2,2	2,0	2,3
115		2,7	2,2	1,9	2,3
114		2,8	2,6	2,8	3,5
113		2,8	2,5	2,6	3,5
112		2,8	2,2	2,5	3,2
111		2,7	2,5	2,5	3,3
110		3,1	2,4	2,6	4,3
109		3,0	2,7	2,8	2,9

SENTIDO JF - F4					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
117		2,9	2,3	2,9	
116		1,9	2,2	2,1	2,2
115		2,2	2,2	2,0	2,0
114			2,7	2,4	2,3

SENTIDO RJ - F1					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
96	2,5	2,9	2,8	2,8	3,2
97	2,8	2,8	2,7	2,8	4,0
98	2,6	2,6	2,5	2,6	4,1
99	2,6	2,6	2,4	2,5	2,6
100	2,9	2,6	2,3	2,3	2,6
101	1,9		2,1	2,2	2,3
102	2,4	2,5	2,3	2,4	2,8
103	2,7	2,6	2,5	2,6	3,1
104	3,0	3,3	2,4	2,5	3,6
105	2,6	2,6	2,7	2,6	3,4
106	2,5	2,7	2,2	2,3	2,4
107	2,4	2,7	2,3	2,5	2,8
108	2,4	2,9	2,6	2,6	3,0
109	2,8	3,1	2,2	2,4	2,8
110	2,2	2,7	2,1	2,2	2,7
111	2,5	3,0	2,2	2,3	2,6
112	2,6	2,8	2,3	2,3	2,9
113	2,8	2,9	2,5	2,5	0,0
114	2,8	2,8	2,6	2,7	3,2
115	2,2	2,5	2,1	2,1	2,9
116	2,9	3,0	2,5	2,6	2,6
117	1,9	2,5	2,4	2,3	2,3
118	1,9	2,2	2,1	2,2	2,2
119	2,1	2,2	2,0	2,1	2,1
120	2,0	2,5	2,0	2,0	2,1
121	2,1	2,7	2,0	2,0	2,4
122	2,4	2,7	2,0	2,1	2,1
123	2,3	2,9	2,2	2,4	2,2
124	2,2	2,6	2,3	2,3	4,4
125	2,7	2,8		1,8	

SENTIDO RJ - F2					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
96	2,3	3,3	2,3	2,3	3,1
97	3,2	2,4	2,4	2,5	3,8
98	2,5	3,0	2,4	2,3	3,6
99	2,6	2,3	2,3	2,3	3,6
100	2,5	2,4	2,2	2,3	2,3
101	1,9	2,1	2,1	2,1	3,1
102	2,2	2,2	2,1	2,4	3,7
103	2,1	2,6	2,3	2,4	4,4
104	2,4	2,7	2,2	2,4	4,0
105	2,1	2,4	2,3	2,4	3,5
106	2,2	2,3	2,1	2,3	3,5
107	2,0	2,0	2,1	2,2	3,3
108	2,2	1,9	2,1	2,2	3,2
109	2,2	2,2	2,1	2,2	2,3
110	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4
111	2,1	2,3	2,3	2,6	3,1
112	2,3	2,3	2,3	2,3	2,8
113	3,0	3,0	2,4	2,5	3,2
114	2,6	2,4	2,3	2,5	3,7
115	2,6	2,8	2,2	2,5	3,2
116	2,5	2,7	2,1	2,4	3,0
117	2,2	2,8	2,3	2,4	2,5
118	2,2	1,9	2,1	2,3	3,2
119	2,1	2,1	1,9	2,2	2,9
120		1,9	1,8	2,1	2,9
121	1,9	2,0	1,9	2,1	3,2
122	1,9	1,9	1,9	1,9	2,7
123	3,1	2,5	2,1	2,3	2,9
124	2,0	2,4	2,3	2,4	4,7
125	2,4				

SENTIDO RJ - F3					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
112	2,2	2,4	2,3	2,4	2,4
113	2,7	2,9	2,4	2,3	3,2
114	2,0	2,2	2,5	2,4	3,0
115	3,3	2,7	2,4	2,4	3,8
116	2,6	2,8	2,3	2,4	3,2
117	2,5	2,8	2,4	2,2	2,5
118	2,4	2,6	2,1	2,2	2,5
119	2,2	2,5	2,2	2,3	2,8
120	2,4	2,3	2,2	2,4	2,8
121	2,2	2,7	2,1	2,2	2,4
122	1,9	3,1	2,1	2,3	3,4
123		2,3	2,3	2,3	3,0

SENTIDO RJ - F4					
KM	2006	2009	2011	2012	2013
112	2,5	2,7	2,5	2,3	2,5
113	2,6	2,9	2,5	2,5	3,0
114	2,2	2,3	2,4	2,5	3,1
115	2,6	2,7	2,4	2,5	2,8
116	2,8	2,5	2,6	2,5	2,6
117		2,2	3,1	2,6	3,3

## 8.4 ANEXO E – COMPARATIVO ENTRE MODELOS DE DEFLEXÃO ( $10^{-2}$ mm)

CODIGO	KM	Dados Reais 2013	Regressão/ Previsão 2013	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	Marcon (1996)	Basílio (2002)	Yshiba (2003)	Albuquerque (2007)	Vitorello (2008)
FWD_JF_F1 - 2013	102	11,65	15,16	9,45	20,87	129,82	115,68	77,12	173,92	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	103	11,46	13,81	8,11	19,52	129,82	115,68	78,84	171,75	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	104	16,73	21,79	16,08	27,50	129,82	115,68	65,87	188,86	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	105	13,28	25,89	20,18	31,59	129,82	115,68	61,36	195,22	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	106	12,55	27,23	21,53	32,94	129,82	115,68	58,59	199,22	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	107	12,18	23,67	17,96	29,37	129,82	115,68	61,41	195,14	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	108	10,98	22,03	16,33	27,74	129,82	115,68	63,41	192,30	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	109	12,50	28,69	22,98	34,40	129,82	115,68	59,95	197,24	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	110	19,07	25,60	19,89	31,31	129,82	115,68	63,17	192,64	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	111	12,36	25,87	20,17	31,58	129,82	115,68	60,87	195,91	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	112	9,23	26,34	20,63	32,04	129,82	115,68	60,98	195,76	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	113	7,09	17,26	11,56	22,97	129,82	115,68	72,09	180,45	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	114	11,56	18,46	12,75	24,16	129,82	115,68	70,35	182,76	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	115	15,70	20,30	14,59	26,00	129,82	115,68	64,30	191,04	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	116	16,81	21,20	15,49	26,91	129,82	115,68	60,84	195,96	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	117	8,38	22,71	17,00	28,41	129,82	115,68	64,27	191,09	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	118	11,53	20,13	14,42	25,84	129,82	115,68	66,86	187,49	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	119	17,65	25,26	19,56	30,97	129,82	115,68	62,38	193,75	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	120	13,26	21,54	15,83	27,25	129,82	115,68	67,79	186,23	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	121	10,98	17,30	11,59	23,01	129,82	115,68	71,76	180,88	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	122	11,36	16,82	11,11	22,53	129,82	115,68	72,86	179,43	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	123	15,49	22,12	16,41	27,82	129,82	115,68	65,33	189,61	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	124	16,86	17,34	11,63	23,05	129,82	115,68	70,80	182,16	61,88
FWD_JF_F1 - 2013	125	15,22	18,13	12,42	23,84	129,82	115,68	76,28	175,00	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	102	19,29	21,05	15,34	26,75	129,82	115,68	66,39	188,15	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	103	22,07	16,73	11,02	22,43	129,82	115,68	71,90	180,70	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	104	23,16	17,80	12,10	23,51	129,82	115,68	69,11	184,43	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	105	16,25	21,11	15,41	26,82	129,82	115,68	66,09	188,56	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	106	18,24	19,71	14,00	25,42	129,82	115,68	66,89	187,46	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	107	27,42	16,51	10,80	22,21	129,82	115,68	71,69	180,98	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	108	14,64	13,31	7,60	19,02	129,82	115,68	76,45	174,78	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	109	15,17	19,35	13,65	25,06	129,82	115,68	67,16	187,08	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	110	15,78	20,62	14,91	26,32	129,82	115,68	68,34	185,48	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	111	11,63	21,83	16,13	27,54	129,82	115,68	68,46	185,32	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	112	17,20	19,26	13,55	24,96	129,82	115,68	69,61	183,76	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	113	16,25	18,58	12,88	24,29	129,82	115,68	68,85	184,78	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	114	16,51	23,29	17,58	28,99	129,82	115,68	64,82	190,32	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	117	26,37	19,62	13,91	25,33	129,82	115,68	66,82	187,56	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	118	15,85	21,18	15,48	26,89	129,82	115,68	66,87	187,48	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	119	17,01	24,26	18,56	29,97	129,82	115,68	63,74	191,84	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	120	19,00	23,24	17,54	28,95	129,82	115,68	64,32	191,02	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	121	16,51	16,03	10,33	21,74	129,82	115,68	74,87	176,80	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	122	14,10	18,09	12,38	23,79	129,82	115,68	70,36	182,75	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	123	13,34	20,94	15,23	26,64	129,82	115,68	67,33	186,85	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	124	22,58	19,26	13,55	24,96	129,82	115,68	68,28	185,56	61,88
FWD_JF_F2 - 2013	125	7,99	16,95	11,25	22,66	129,82	115,68	73,74	178,28	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	109	9,88	35,20	29,49	40,91	129,82	115,68	54,98	204,56	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	110	41,79	41,24	35,54	46,95	129,82	115,68	54,53	205,23	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	111	25,65	39,74	34,03	45,44	129,82	115,68	54,30	205,57	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	112	53,83	37,81	32,10	43,52	129,82	115,68	55,40	203,93	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	114	31,42	37,86	32,15	43,57	129,82	115,68	56,22	202,71	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	115	30,93	20,16	14,45	25,87	129,82	115,68	66,24	188,35	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	117	51,10	39,97	34,26	45,67	129,82	115,68	54,29	205,58	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	118	37,75	42,90	37,19	48,61	129,82	115,68	54,24	205,66	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	119	35,80	41,51	35,81	47,22	129,82	115,68	53,94	206,12	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	120	36,22	41,94	36,23	47,64	129,82	115,68	54,74	204,91	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	121	32,13	42,33	36,62	48,04	129,82	115,68	54,29	205,58	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	122	28,95	29,83	24,12	35,53	129,82	115,68	58,36	199,55	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	123	23,49	33,62	27,91	39,33	129,82	115,68	56,63	202,10	61,88
FWD_JF_F3 - 2013	124	35,72	31,03	25,33	36,74	129,82	115,68	56,97	201,59	61,88



<b>CODIGO</b>	<b>KM</b>	<b>Dados Reais 2013</b>	<b>Regressão/ Previsão 2013</b>	<b>Intervalo Inferior</b>	<b>Intervalo Superior</b>	<b>Marcon (1996)</b>	<b>Basílio (2002)</b>	<b>Yshiba (2003)</b>	<b>Albuquerque (2007)</b>	<b>Vitorello (2008)</b>
FWD_RJ_F1-2013	96	33,35	22,59	16,88	28,30	129,82	115,68	65,52	189,34	61,88
FWD_RJ_F1-2013	97	28,47	24,88	19,17	30,58	129,82	115,68	62,45	193,66	61,88
FWD_RJ_F1-2013	98	32,56	27,68	21,97	33,38	129,82	115,68	61,42	195,12	61,88
FWD_RJ_F1-2013	99	28,82	24,43	18,72	30,14	129,82	115,68	64,84	190,30	61,88
FWD_RJ_F1-2013	100	17,64	24,33	18,62	30,03	129,82	115,68	67,33	186,86	61,88
FWD_RJ_F1-2013	101	19,22	22,67	16,96	28,38	129,82	115,68	69,81	183,49	61,88
FWD_RJ_F1-2013	102	25,83	26,27	20,57	31,98	129,82	115,68	65,09	189,94	61,88
FWD_RJ_F1-2013	103	22,55	21,99	16,28	27,70	129,82	115,68	70,78	182,19	61,88
FWD_RJ_F1-2013	104	15,94	24,60	18,89	30,30	129,82	115,68	65,92	188,79	61,88
FWD_RJ_F1-2013	105	29,41	23,41	17,70	29,12	129,82	115,68	64,35	190,98	61,88
FWD_RJ_F1-2013	106	20,77	29,68	23,97	35,38	129,82	115,68	57,26	201,16	61,88
FWD_RJ_F1-2013	107	16,01	28,13	22,43	33,84	129,82	115,68	59,57	197,78	61,88
FWD_RJ_F1-2013	108	14,17	29,81	24,10	35,51	129,82	115,68	58,52	199,32	61,88
FWD_RJ_F1-2013	109	18,22	31,44	25,73	37,14	129,82	115,68	56,52	202,25	61,88
FWD_RJ_F1-2013	110	14,00	30,39	24,68	36,10	129,82	115,68	58,18	199,82	61,88
FWD_RJ_F1-2013	111	11,50	26,51	20,80	32,21	129,82	115,68	60,21	196,86	61,88
FWD_RJ_F1-2013	112	8,88	26,81	21,10	32,52	129,82	115,68	59,56	197,80	61,88
FWD_RJ_F1-2013	113	27,20	32,65	26,94	38,36	129,82	115,68	57,10	201,40	61,88
FWD_RJ_F1-2013	114	37,14	33,45	27,75	39,16	129,82	115,68	55,80	203,33	61,88
FWD_RJ_F1-2013	115	23,01	27,38	21,67	33,08	129,82	115,68	60,64	196,24	61,88
FWD_RJ_F1-2013	116	37,06	32,31	26,61	38,02	129,82	115,68	55,30	204,07	61,88
FWD_RJ_F1-2013	117	15,31	27,96	22,25	33,67	129,82	115,68	59,53	197,85	61,88
FWD_RJ_F1-2013	118	10,63	17,99	12,28	23,70	129,82	115,68	70,81	182,15	61,88
FWD_RJ_F1-2013	119	12,97	27,94	22,23	33,64	129,82	115,68	58,19	199,79	61,88
FWD_RJ_F1-2013	120	15,06	33,64	27,94	39,35	129,82	115,68	55,89	203,20	61,88
FWD_RJ_F1-2013	121	13,92	29,43	23,72	35,14	129,82	115,68	57,97	200,12	61,88
FWD_RJ_F1-2013	122	14,49	28,98	23,28	34,69	129,82	115,68	58,08	199,96	61,88
FWD_RJ_F1-2013	123	17,76	24,52	18,81	30,22	129,82	115,68	62,43	193,68	61,88
FWD_RJ_F1-2013	124	8,93	17,94	12,24	23,65	129,82	115,68	72,93	179,34	61,88
FWD_RJ_F1-2013	125	14,33	20,02	14,31	25,73	129,82	115,68	68,26	185,59	61,88
FWD_RJ_F2-2013	96	37,42	23,30	17,59	29,00	129,82	115,68	62,27	193,92	61,88
FWD_RJ_F2-2013	97	32,00	31,59	25,88	37,30	129,82	115,68	57,75	200,44	61,88
FWD_RJ_F2-2013	98	32,56	30,46	24,76	36,17	129,82	115,68	58,13	199,89	61,88
FWD_RJ_F2-2013	99	25,44	17,81	12,10	23,51	129,82	115,68	68,74	184,94	61,88
FWD_RJ_F2-2013	100	18,39	21,96	16,25	27,67	129,82	115,68	65,60	189,24	61,88
FWD_RJ_F2-2013	101	14,21	22,11	16,40	27,82	129,82	115,68	64,53	190,73	61,88
FWD_RJ_F2-2013	102	19,50	29,48	23,77	35,18	129,82	115,68	58,65	199,12	61,88
FWD_RJ_F2-2013	103	22,00	20,88	15,18	26,59	129,82	115,68	66,29	188,29	61,88
FWD_RJ_F2-2013	104	23,33	16,41	10,71	22,12	129,82	115,68	75,12	176,49	61,88
FWD_RJ_F2-2013	105	16,00	19,86	14,15	25,57	129,82	115,68	68,76	184,90	61,88
FWD_RJ_F2-2013	106	18,50	19,04	13,33	24,75	129,82	115,68	69,73	183,60	61,88
FWD_RJ_F2-2013	107	24,00	16,31	10,61	22,02	129,82	115,68	74,27	177,59	61,88
FWD_RJ_F2-2013	108	12,17	15,81	10,10	21,51	129,82	115,68	72,94	179,32	61,88
FWD_RJ_F2-2013	109	14,74	16,15	10,44	21,86	129,82	115,68	74,43	177,38	61,88
FWD_RJ_F2-2013	110	16,25	18,59	12,89	24,30	129,82	115,68	71,21	181,62	61,88
FWD_RJ_F2-2013	111	15,28	17,63	11,92	23,33	129,82	115,68	70,76	182,21	61,88
FWD_RJ_F2-2013	112	10,31	20,54	14,84	26,25	129,82	115,68	63,93	191,57	61,88
FWD_RJ_F2-2013	114	28,13	32,96	27,25	38,66	129,82	115,68	56,05	202,95	61,88
FWD_RJ_F2-2013	117	13,47	24,14	18,44	29,85	129,82	115,68	64,44	190,86	61,88
FWD_RJ_F2-2013	118	13,63	16,81	11,10	22,52	129,82	115,68	70,31	182,81	61,88
FWD_RJ_F2-2013	119	16,37	20,51	14,81	26,22	129,82	115,68	66,79	187,60	61,88
FWD_RJ_F2-2013	120	20,07	23,89	18,18	29,60	129,82	115,68	62,90	193,01	61,88
FWD_RJ_F2-2013	121	11,12	21,33	15,62	27,04	129,82	115,68	66,76	187,64	61,88
FWD_RJ_F2-2013	122	12,53	18,94	13,23	24,64	129,82	115,68	70,30	182,83	61,88
FWD_RJ_F2-2013	123	12,49	21,71	16,01	27,42	129,82	115,68	67,00	187,31	61,88
FWD_RJ_F2-2013	124	14,84	19,33	13,62	25,03	129,82	115,68	67,03	187,27	61,88
FWD_RJ_F2-2013	125	13,77	20,41	14,71	26,12	129,82	115,68	71,78	180,86	61,88

<b>CODIGO</b>	<b>KM</b>	<b>Dados Reais 2013</b>	<b>Regressão/ Previsão 2013</b>	<b>Intervalo Inferior</b>	<b>Intervalo Superior</b>	<b>Marcon (1996)</b>	<b>Basilio (2002)</b>	<b>Yshiba (2003)</b>	<b>Albuquerque (2007)</b>	<b>Vitorello (2008)</b>
FWD_RJ_F3 - 2013	112	23,83	38,48	32,78	44,19	129,82	115,68	54,00	206,03	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	113	36,24	47,32	41,62	53,03	129,82	115,68	52,34	208,54	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	114	44,35	44,33	38,63	50,04	129,82	115,68	52,49	208,32	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	116	61,94	66,38	60,68	72,09	129,82	115,68	49,87	212,36	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	117	44,28	39,06	33,35	44,77	129,82	115,68	56,20	202,73	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	118	43,05	41,81	36,10	47,52	129,82	115,68	55,52	203,74	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	119	44,81	35,11	29,41	40,82	129,82	115,68	54,46	205,33	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	120	34,47	42,26	36,55	47,96	129,82	115,68	54,26	205,64	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	121	35,51	36,20	30,50	41,91	129,82	115,68	56,15	202,80	61,88
FWD_RJ_F3 - 2013	122	33,68	34,89	29,19	40,60	129,82	115,68	56,07	202,92	61,88

## 8.5 ANEXO F – INTERVALO DE PREDIÇÃO DE DEFLEXÃO

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização		X0							
	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	1	Intervenção em 2012	MR - Revestimento	MR - Subleito	N (USACE)	Dmed0	Intervalo de tempo entre o Dmed0 e a previsão	SNC
2,25	2,22	28,10	FWD_JF_F1 - 2013	102	1	0,00	14709,98	163,75	2,02E+07	12,31	1	0,65
	0,86	26,76	FWD_JF_F1 - 2013	103	1	0,00	14709,98	170,48	2,02E+07	11,68	1	0,68
	8,85	34,73	FWD_JF_F1 - 2013	104	1	0,00	14709,98	158,82	2,02E+07	19,25	1	0,46
	12,94	38,84	FWD_JF_F1 - 2013	105	1	0,00	14533,78	156,31	2,02E+07	24,73	1	0,38
	14,24	40,22	FWD_JF_F1 - 2013	106	1	0,00	14709,98	167,66	2,02E+07	29,76	1	0,34
	10,71	36,63	FWD_JF_F1 - 2013	107	1	1,00	14709,98	164,83	2,02E+07	24,65	1	0,38
	9,06	35,01	FWD_JF_F1 - 2013	108	1	0,00	14709,98	177,47	2,02E+07	21,92	1	0,42
	15,74	41,64	FWD_JF_F1 - 2013	109	1	0,00	14400,12	142,07	2,02E+07	27,08	1	0,36
	12,65	38,55	FWD_JF_F1 - 2013	110	1	0,00	13902,57	160,63	2,02E+07	22,21	1	0,41
	12,92	38,83	FWD_JF_F1 - 2013	111	1	0,00	14709,98	156,49	2,02E+07	25,50	1	0,37
	13,39	39,29	FWD_JF_F1 - 2013	112	1	0,00	14562,68	154,06	2,02E+07	25,33	1	0,38
	4,33	30,20	FWD_JF_F1 - 2013	113	1	0,00	14709,98	168,89	2,02E+07	14,68	1	0,56
	5,52	31,39	FWD_JF_F1 - 2013	114	1	0,00	14709,98	165,95	2,02E+07	15,72	1	0,53
	7,32	33,27	FWD_JF_F1 - 2013	115	1	1,00	14709,98	177,80	2,02E+07	20,87	1	0,43
	8,12	34,28	FWD_JF_F1 - 2013	116	1	1,00	14709,98	201,23	2,02E+07	25,55	1	0,37
	9,77	35,65	FWD_JF_F1 - 2013	117	1	1,00	14709,98	148,61	2,02E+07	20,91	1	0,43
	7,18	33,08	FWD_JF_F1 - 2013	118	1	0,00	14709,98	171,10	2,02E+07	18,34	1	0,47
	12,32	38,21	FWD_JF_F1 - 2013	119	1	0,00	14709,98	147,95	2,02E+07	23,25	1	0,40
	8,60	34,48	FWD_JF_F1 - 2013	120	1	0,00	14709,98	146,70	2,02E+07	17,57	1	0,49
	4,36	30,24	FWD_JF_F1 - 2013	121	1	0,00	14709,98	170,57	2,02E+07	14,86	1	0,56
	3,88	29,76	FWD_JF_F1 - 2013	122	1	0,00	14709,98	169,31	2,02E+07	14,25	1	0,58
	9,18	35,06	FWD_JF_F1 - 2013	123	1	0,00	14709,98	159,34	2,02E+07	19,78	1	0,45
	4,39	30,29	FWD_JF_F1 - 2013	124	1	0,00	14709,98	176,53	2,02E+07	15,44	1	0,54
	5,15	31,11	FWD_JF_F1 - 2013	125	1	0,00	14709,98	132,39	2,02E+07	12,65	1	0,63
	8,09	34,01	FWD_JF_F2 - 2013	102	1	0,00	14368,40	174,07	2,02E+07	18,77	1	0,47
	3,78	29,67	FWD_JF_F2 - 2013	103	1	0,00	14709,98	176,70	2,02E+07	14,78	1	0,56
	4,84	30,77	FWD_JF_F2 - 2013	104	1	0,00	14709,98	182,67	2,02E+07	16,56	1	0,51
	8,16	34,07	FWD_JF_F2 - 2013	105	1	0,00	14526,62	170,88	2,02E+07	19,05	1	0,46
	6,75	32,67	FWD_JF_F2 - 2013	106	1	0,00	14709,98	176,07	2,02E+07	18,32	1	0,47
	3,56	29,45	FWD_JF_F2 - 2013	107	1	1,00	14709,98	168,00	2,02E+07	14,90	1	0,56
	0,34	26,28	FWD_JF_F2 - 2013	108	1	0,00	14709,98	190,30	2,02E+07	12,58	1	0,64
	6,39	32,32	FWD_JF_F2 - 2013	109	1	0,00	14709,98	178,25	2,02E+07	18,08	1	0,48
	7,68	33,55	FWD_JF_F2 - 2013	110	1	0,00	14709,98	153,93	2,02E+07	17,14	1	0,50
	8,89	34,78	FWD_JF_F2 - 2013	111	1	0,00	13972,80	160,49	2,02E+07	17,05	1	0,50
	6,32	32,19	FWD_JF_F2 - 2013	112	1	0,00	14709,98	161,33	2,02E+07	16,22	1	0,52
	5,63	31,53	FWD_JF_F2 - 2013	113	1	0,00	14709,98	175,00	2,02E+07	16,75	1	0,51
	10,33	36,24	FWD_JF_F2 - 2013	114	1	0,00	14078,52	168,58	2,02E+07	20,31	1	0,44
	6,68	32,56	FWD_JF_F2 - 2013	117	1	1,00	14709,98	164,97	2,02E+07	18,38	1	0,47
	8,25	34,12	FWD_JF_F2 - 2013	118	1	0,00	14709,98	158,18	2,02E+07	18,34	1	0,47
	11,32	37,21	FWD_JF_F2 - 2013	119	1	0,00	14709,98	147,16	2,02E+07	21,52	1	0,42
	10,29	36,19	FWD_JF_F2 - 2013	120	1	0,00	14305,89	166,59	2,02E+07	20,85	1	0,43
	3,10	28,97	FWD_JF_F2 - 2013	121	1	0,00	14709,98	166,41	2,02E+07	13,26	1	0,61
	5,15	31,03	FWD_JF_F2 - 2013	122	1	0,00	14709,98	170,41	2,02E+07	15,72	1	0,53
	7,99	33,88	FWD_JF_F2 - 2013	123	1	0,00	14368,28	167,96	2,02E+07	17,94	1	0,48
	6,31	32,20	FWD_JF_F2 - 2013	124	1	0,00	14709,98	170,98	2,02E+07	17,18	1	0,50
	4,02	29,89	FWD_JF_F2 - 2013	125	1	0,00	14709,98	162,14	2,02E+07	13,80	1	0,59
	22,18	48,22	FWD_JF_F3 - 2013	109	1	0,00	14709,98	128,70	2,02E+07	39,82	1	0,27
	28,29	54,20	FWD_JF_F3 - 2013	110	1	0,00	12263,74	138,04	2,02E+07	41,49	1	0,27
	26,77	52,71	FWD_JF_F3 - 2013	111	1	0,00	13270,12	130,76	2,02E+07	42,39	1	0,26
	24,85	50,77	FWD_JF_F3 - 2013	112	1	0,00	12726,92	148,79	2,02E+07	38,35	1	0,28
	24,90	50,82	FWD_JF_F3 - 2013	114	1	0,00	13062,70	123,41	2,02E+07	35,76	1	0,30
	7,22	33,10	FWD_JF_F3 - 2013	115	1	1,00	14709,98	162,98	2,02E+07	18,90	1	0,46
	27,01	52,93	FWD_JF_F3 - 2013	117	1	1,00	12981,67	124,10	2,02E+07	42,42	1	0,26
	29,94	55,86	FWD_JF_F3 - 2013	118	1	0,00	12065,68	129,86	2,02E+07	42,62	1	0,26
	28,53	54,50	FWD_JF_F3 - 2013	119	1	0,00	13241,93	117,96	2,02E+07	43,90	1	0,26

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização		X0							
	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	1	Intervenção em 2012	MR - Revestimento	MR - Subleito	N (USACE)	Dmed0	Intervalo de tempo entre o Dmedo e a previsão	SNC
2,25	28,98	54,89	FWD_JF_F3 - 2013	120	1	0,00	12025,63	132,41	2,02E+07	40,68	1	0,27
	29,37	55,29	FWD_JF_F3 - 2013	121	1	0,00	12543,06	121,28	2,02E+07	42,42	1	0,26
	16,86	42,79	FWD_JF_F3 - 2013	122	1	0,00	14709,98	139,03	2,02E+07	30,26	1	0,33
	20,65	46,59	FWD_JF_F3 - 2013	123	1	0,00	14318,84	130,36	2,02E+07	34,58	1	0,30
	18,05	44,01	FWD_JF_F3 - 2013	124	1	0,00	14709,98	144,67	2,02E+07	33,64	1	0,31
	9,65	35,53	FWD_RJ_F1 - 2013	96	1	0,00	14709,98	151,94	2,02E+07	19,59	1	0,45
	11,93	37,82	FWD_RJ_F1 - 2013	97	1	1,00	14356,55	150,02	2,02E+07	23,16	1	0,40
	14,70	40,65	FWD_RJ_F1 - 2013	98	1	1,00	14571,59	119,84	2,02E+07	24,63	1	0,38
	11,46	37,40	FWD_RJ_F1 - 2013	99	1	1,00	14709,98	122,53	2,02E+07	20,29	1	0,44
	11,33	37,32	FWD_RJ_F1 - 2013	100	1	0,00	14709,98	116,15	2,02E+07	17,95	1	0,48
	9,68	35,66	FWD_RJ_F1 - 2013	101	1	0,00	14709,98	118,18	2,02E+07	16,08	1	0,52
	13,27	39,28	FWD_RJ_F1 - 2013	102	1	0,00	14709,98	110,54	2,02E+07	20,03	1	0,44
	9,00	34,98	FWD_RJ_F1 - 2013	103	1	0,00	14709,98	119,81	2,02E+07	15,45	1	0,54
	11,65	37,54	FWD_RJ_F1 - 2013	104	1	0,00	14185,89	139,96	2,02E+07	19,20	1	0,46
	10,47	36,35	FWD_RJ_F1 - 2013	105	1	0,00	14709,98	152,07	2,02E+07	20,82	1	0,43
	16,69	42,66	FWD_RJ_F1 - 2013	106	1	0,00	14709,98	156,74	2,02E+07	32,88	1	0,31
	15,18	41,09	FWD_RJ_F1 - 2013	107	1	0,00	14669,29	145,21	2,02E+07	27,77	1	0,35
	16,85	42,76	FWD_RJ_F1 - 2013	108	1	0,00	14418,32	145,98	2,02E+07	29,91	1	0,33
	18,45	44,43	FWD_RJ_F1 - 2013	109	1	0,00	14709,98	146,86	2,02E+07	34,87	1	0,30
	17,42	43,36	FWD_RJ_F1 - 2013	110	1	0,00	14709,98	134,68	2,02E+07	30,67	1	0,33
	13,56	39,46	FWD_RJ_F1 - 2013	111	1	1,00	14378,75	153,51	2,02E+07	26,61	1	0,36
	13,85	39,77	FWD_RJ_F1 - 2013	112	1	1,00	14331,90	159,08	2,02E+07	27,80	1	0,35
	19,67	45,64	FWD_RJ_F1 - 2013	113	1	0,00	14709,98	122,87	2,02E+07	33,30	1	0,31
	20,45	46,45	FWD_RJ_F1 - 2013	114	1	1,00	14709,98	121,84	2,02E+07	37,04	1	0,29
	14,43	40,32	FWD_RJ_F1 - 2013	115	1	1,00	14243,41	142,06	2,02E+07	25,88	1	0,37
	19,30	45,32	FWD_RJ_F1 - 2013	116	1	1,00	14709,98	144,95	2,02E+07	38,68	1	0,28
	15,01	40,91	FWD_RJ_F1 - 2013	117	1	1,00	14105,12	152,24	2,02E+07	27,85	1	0,35
	5,05	30,93	FWD_RJ_F1 - 2013	118	1	1,00	14709,98	155,75	2,02E+07	15,43	1	0,54
	14,97	40,90	FWD_RJ_F1 - 2013	119	1	1,00	14709,98	151,69	2,02E+07	30,63	1	0,33
	20,66	46,63	FWD_RJ_F1 - 2013	120	1	0,00	14481,77	137,68	2,02E+07	36,77	1	0,29
	16,46	42,40	FWD_RJ_F1 - 2013	121	1	0,00	14709,98	149,35	2,02E+07	31,14	1	0,32
	16,01	41,95	FWD_RJ_F1 - 2013	122	1	0,00	14709,98	153,23	2,02E+07	30,88	1	0,33
	11,57	37,46	FWD_RJ_F1 - 2013	123	1	0,00	14709,98	156,61	2,02E+07	23,18	1	0,40
	5,01	30,88	FWD_RJ_F1 - 2013	124	1	0,00	14709,98	155,12	2,02E+07	14,21	1	0,58
	7,08	32,96	FWD_RJ_F1 - 2013	125	1	0,00	14709,98	161,81	2,02E+07	17,20	1	0,50
	10,32	36,27	FWD_RJ_F2 - 2013	96	1	0,00	14709,98	173,19	2,02E+07	23,41	1	0,40
	18,60	44,57	FWD_RJ_F2 - 2013	97	1	1,00	12928,28	167,35	2,02E+07	31,66	1	0,32
	17,51	43,42	FWD_RJ_F2 - 2013	98	1	1,00	13672,61	153,19	2,02E+07	30,78	1	0,33
	4,86	30,76	FWD_RJ_F2 - 2013	99	1	1,00	14709,98	172,58	2,02E+07	16,84	1	0,51
	9,01	34,91	FWD_RJ_F2 - 2013	100	1	0,00	14422,40	167,74	2,02E+07	19,52	1	0,45
	9,15	35,07	FWD_RJ_F2 - 2013	101	1	0,00	14577,04	170,40	2,02E+07	20,63	1	0,44
	16,52	42,44	FWD_RJ_F2 - 2013	102	1	0,00	14439,04	147,56	2,02E+07	29,62	1	0,34
	7,94	33,83	FWD_RJ_F2 - 2013	103	1	0,00	14709,98	166,48	2,02E+07	18,86	1	0,46
	3,48	29,35	FWD_RJ_F2 - 2013	104	1	0,00	14709,98	160,29	2,02E+07	13,15	1	0,61
	6,91	32,81	FWD_RJ_F2 - 2013	105	1	0,00	14343,93	171,11	2,02E+07	16,82	1	0,51
	6,10	31,98	FWD_RJ_F2 - 2013	106	1	0,00	14590,93	166,79	2,02E+07	16,14	1	0,52
	3,38	29,25	FWD_RJ_F2 - 2013	107	1	0,00	14709,98	166,67	2,02E+07	13,54	1	0,60
	2,86	28,76	FWD_RJ_F2 - 2013	108	1	0,00	14709,98	181,16	2,02E+07	14,21	1	0,58
	3,21	29,09	FWD_RJ_F2 - 2013	109	1	0,00	14709,98	167,68	2,02E+07	13,47	1	0,60
	5,66	31,53	FWD_RJ_F2 - 2013	110	1	0,00	14655,12	160,08	2,02E+07	15,18	1	0,55
	4,69	30,56	FWD_RJ_F2 - 2013	111	1	1,00	14709,98	160,51	2,02E+07	15,46	1	0,54
	7,57	33,52	FWD_RJ_F2 - 2013	112	1	1,00	14709,98	178,18	2,02E+07	21,30	1	0,43
	19,99	45,92	FWD_RJ_F2 - 2013	114	1	1,00	13939,83	146,86	2,02E+07	36,26	1	0,29
	11,20	37,09	FWD_RJ_F2 - 2013	117	1	1,00	13899,14	154,14	2,02E+07	20,73	1	0,43
	3,86	29,76	FWD_RJ_F2 - 2013	118	1	1,00	14709,98	173,59	2,02E+07	15,75	1	0,53
	7,58	33,45	FWD_RJ_F2 - 2013	119	1	1,00	14709,98	154,25	2,02E+07	18,41	1	0,47
	10,94	36,84	FWD_RJ_F2 - 2013	120	1	0,00	14709,98	159,61	2,02E+07	22,55	1	0,41

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização		X <sup>0</sup>							
	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	1	Intervenção em 2012	MR - Revestimento	MR - Subleito	N (USACE)	Dmed0	Intervalo de tempo entre o Dmedo e a previsão	SNC
2,25	8,39	34,27	FWD_RJ_F2 - 2013	121	1	0,00	14709,98	157,31	2,02E+07	18,44	1	0,47
	6,00	31,87	FWD_RJ_F2 - 2013	122	1	0,00	14709,98	160,42	2,02E+07	15,75	1	0,53
	8,78	34,65	FWD_RJ_F2 - 2013	123	1	0,00	14709,98	150,70	2,02E+07	18,23	1	0,48
	6,36	32,29	FWD_RJ_F2 - 2013	124	1	0,00	14709,98	179,63	2,02E+07	18,20	1	0,48
	7,45	33,37	FWD_RJ_F2 - 2013	125	1	0,00	14709,98	132,39	2,02E+07	14,85	1	0,56
	25,48	51,48	FWD_RJ_F3 - 2013	112	1	0,00	13844,82	135,32	2,02E+07	43,63	1	0,26
	34,34	60,30	FWD_RJ_F3 - 2013	113	1	0,00	11956,61	126,51	2,02E+07	51,75	1	0,23
	31,33	57,34	FWD_RJ_F3 - 2013	114	1	1,00	12814,28	120,18	2,02E+07	50,94	1	0,23
	53,29	79,48	FWD_RJ_F3 - 2013	116	1	1,00	6710,64	129,10	2,02E+07	70,00	1	0,19
	26,09	52,03	FWD_RJ_F3 - 2013	117	1	1,00	12289,61	119,66	2,02E+07	35,80	1	0,30
	28,82	54,80	FWD_RJ_F3 - 2013	118	1	1,00	11065,53	135,22	2,02E+07	37,94	1	0,28
	22,09	48,14	FWD_RJ_F3 - 2013	119	1	1,00	14622,97	130,10	2,02E+07	41,75	1	0,27
	29,30	55,21	FWD_RJ_F3 - 2013	120	1	0,00	12219,73	132,76	2,02E+07	42,57	1	0,26
	23,25	49,16	FWD_RJ_F3 - 2013	121	1	0,00	13474,52	132,28	2,02E+07	35,95	1	0,29
	21,93	47,86	FWD_RJ_F3 - 2013	122	1	0,00	13943,66	135,40	2,02E+07	36,19	1	0,29

8.6 ANEXO G – COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS DE IRREGULARIDADE (M/KM)

CODIGO	KM	Dados Reais 2013	Regressão/ Previsão 2013	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	Marcon (1996)	Basílio (2002)	Albuquerque (2007)	Vitarello (2008)
IRI_JF_F1 - 2013	102	3,2	2,6	2,3	3,1	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	103	3,3	2,7	2,3	3,1	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	104	4,0	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	105	3,5	2,6	2,4	3,2	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	106	2,8	2,7	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	107	3,2	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_JF_F1 - 2013	108	3,5	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	109	2,8	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	110	3,0	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	111	2,9	2,7	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	112	2,5	2,4	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	113	3,0	2,7	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	114	3,0	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	115	2,3	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_JF_F1 - 2013	116	2,6	2,4	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_JF_F1 - 2013	117	2,4	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_JF_F1 - 2013	118	2,0	2,4	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	119	2,1	2,4	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	120	2,2	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	121	2,0	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	122	2,2	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	123	3,2	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F1 - 2013	124	3,5	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	102	3,7	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	103	3,0	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	104	2,5	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	105	3,1	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	106	2,6	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	107	2,6	2,6	2,3	3,1	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_JF_F2 - 2013	108	2,4	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	109	2,9	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	110	3,1	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	111	2,6	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	112	2,6	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	113	3,5	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	114	3,4	2,7	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	115	3,0	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6		2,5
IRI_JF_F2 - 2013	116	3,1	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	5,8	2,5
IRI_JF_F2 - 2013	117	2,4	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_JF_F2 - 2013	118	2,3	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	119	2,3	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	120	2,3	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	121	3,0	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	122	2,1	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	123	2,7	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F2 - 2013	124	2,2	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0

CODIGO	KM	Dados Reais 2013	Regressão/ Previsão 2013	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	Marcon (1996)	Basílio (2002)	Albuquerque (2007)	Vitorello (2008)
IRI_JF_F3 - 2013	109	2,9	2,4	2,4	3,2	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	110	4,3	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	111	3,3	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	112	3,2	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	113	3,5	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	114	3,5	2,6	2,4	3,2	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	115	2,3	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_JF_F3 - 2013	116	2,3	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_JF_F3 - 2013	117	2,8	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_JF_F3 - 2013	118	3,6	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	119	3,2	2,6	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	120	3,6	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	121	2,3	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	122	2,4	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F3 - 2013	123	4,3	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_JF_F4 - 2013	114	2,3	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F4 - 2013	115	2,0	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_JF_F4 - 2013	116	2,2	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	104	3,6	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	105	3,4	2,7	2,3	3,1	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	106	2,4	2,7	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	107	2,8	2,7	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	108	3,0	2,7	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	109	2,8	2,8	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	110	2,7	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	111	2,6	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	112	2,9	2,7	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	114	3,2	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	115	2,9	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	116	2,6	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	117	2,3	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	118	2,2	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	119	2,1	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F1 - 2013	120	2,1	2,4	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	121	2,4	2,6	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	122	2,1	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	123	2,2	2,4	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F1 - 2013	124	4,4	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	96	3,1	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	97	3,8	2,4	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	98	3,6	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	99	3,6	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	100	2,3	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	101	3,1	2,7	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	102	3,7	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	103	4,4	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	104	4,0	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	105	3,5	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	106	3,5	2,7	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	107	3,3	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	108	3,2	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	109	2,3	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	110	2,4	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	111	3,1	2,5	2,3	3,1	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	112	2,8	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	113	3,2	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	5,9	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	114	3,7	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5

<b>CODIGO</b>	<b>KM</b>	<b>Dados Reais 2013</b>	<b>Regressão/ Previsão 2013</b>	<b>Intervalo Inferior</b>	<b>Intervalo Superior</b>	<b>Marcon (1996)</b>	<b>Basílio (2002)</b>	<b>Albuquerque (2007)</b>	<b>Vitorello (2008)</b>
IRI_RJ_F2 - 2013	115	3,2	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6		2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	116	3,0	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6		2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	117	2,5	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	118	3,2	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	119	2,9	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,5
IRI_RJ_F2 - 2013	120	2,9	2,4	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	121	3,2	2,4	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	122	2,7	2,5	2,0	2,8	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	123	2,9	2,5	2,1	2,9	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F2 - 2013	124	4,7	2,8	2,2	3,0	4,3	4,6	6,0	2,0
IRI_RJ_F3 - 2013	112	2,4	2,7	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F3 - 2013	113	3,2	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F3 - 2013	115	3,8	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F3 - 2013	116	3,2	2,7	2,2	3,0	4,3	4,6	6,2	2,5
IRI_RJ_F3 - 2013	117	2,5	2,8	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F3 - 2013	118	2,5	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F3 - 2013	119	2,8	2,4	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F3 - 2013	120	2,8	2,5	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F3 - 2013	121	2,4	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F3 - 2013	122	3,4	2,7	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F3 - 2013	123	3,0	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F4 - 2013	112	2,5	2,6	2,1	2,9	4,3	4,6	6,2	2,0
IRI_RJ_F4 - 2013	113	3,0	2,4	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,0
IRI_RJ_F4 - 2013	114	3,1	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F4 - 2013	115	2,8	2,6	2,2	3,0	4,3	4,6	6,2	2,5
IRI_RJ_F4 - 2013	116	2,6	2,4	2,2	3,0	4,3	4,6	6,1	2,5
IRI_RJ_F4 - 2013	117	3,3	2,4	2,3	3,1	4,3	4,6	6,1	2,5



## 8.7 ANEXO H – INTERVALO DE PREDIÇÃO DA IRREGULARIDADE

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização			X'o		
	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	<i>l</i>	N (USACE)	Intervalo de tempo entre o IRI <sub>0</sub> e a previsão	IRI <sub>0</sub>
2,26	2,22	3,02	IRI_RJ_F1 - 2013	104	1	2,02E+07	1	2,50
	2,27	3,06	IRI_RJ_F1 - 2013	105	1	2,02E+07	1	2,60
	2,14	2,93	IRI_RJ_F1 - 2013	106	1	2,02E+07	1	2,30
	2,22	3,02	IRI_RJ_F1 - 2013	107	1	2,02E+07	1	2,50
	2,27	3,06	IRI_RJ_F1 - 2013	108	1	2,02E+07	1	2,60
	2,18	2,97	IRI_RJ_F1 - 2013	109	1	2,02E+07	1	2,40
	2,09	2,89	IRI_RJ_F1 - 2013	110	1	2,02E+07	1	2,20
	2,14	2,93	IRI_RJ_F1 - 2013	111	1	2,02E+07	1	2,30
	2,14	2,93	IRI_RJ_F1 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,30
	2,31	3,11	IRI_RJ_F1 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,70
	2,05	2,84	IRI_RJ_F1 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,10
	2,27	3,06	IRI_RJ_F1 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,60
	2,14	2,93	IRI_RJ_F1 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,30
	2,09	2,89	IRI_RJ_F1 - 2013	118	1	2,02E+07	1	2,20
	2,05	2,84	IRI_RJ_F1 - 2013	119	1	2,02E+07	1	2,10
	2,01	2,80	IRI_RJ_F1 - 2013	120	1	2,02E+07	1	2,00
	2,01	2,80	IRI_RJ_F1 - 2013	121	1	2,02E+07	1	2,00
	2,05	2,84	IRI_RJ_F1 - 2013	122	1	2,02E+07	1	2,10
	2,18	2,97	IRI_RJ_F1 - 2013	123	1	2,02E+07	1	2,40
	2,14	2,93	IRI_RJ_F1 - 2013	124	1	2,02E+07	1	2,30
	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	96	1	2,02E+07	1	2,30
	2,22	3,02	IRI_RJ_F2 - 2013	97	1	2,02E+07	1	2,50
	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	98	1	2,02E+07	1	2,30
	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	99	1	2,02E+07	1	2,30
	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	100	1	2,02E+07	1	2,30
	2,05	2,84	IRI_RJ_F2 - 2013	101	1	2,02E+07	1	2,10
	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	102	1	2,02E+07	1	2,40
	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	103	1	2,02E+07	1	2,40
	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	104	1	2,02E+07	1	2,40
	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	105	1	2,02E+07	1	2,40
	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	106	1	2,02E+07	1	2,30
	2,09	2,89	IRI_RJ_F2 - 2013	107	1	2,02E+07	1	2,20
	2,09	2,89	IRI_RJ_F2 - 2013	108	1	2,02E+07	1	2,20
	2,09	2,89	IRI_RJ_F2 - 2013	109	1	2,02E+07	1	2,20
	2,09	2,89	IRI_RJ_F2 - 2013	110	1	2,02E+07	1	2,20
	2,27	3,06	IRI_RJ_F2 - 2013	111	1	2,02E+07	1	2,60
	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,30

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização		X'o			
	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	I	N (USACE)	Intervalo de tempo entre o IRIo e a previsão	IRIO
t ( $\alpha/2$ );n-p	2,22	3,02	IRI_RJ_F2 - 2013	113	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,22	3,02	IRI_RJ_F2 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,22	3,02	IRI_RJ_F2 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	118	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,09	2,89	IRI_RJ_F2 - 2013	119	1	2,02E+07	1	2,20
.	2,05	2,84	IRI_RJ_F2 - 2013	120	1	2,02E+07	1	2,10
.	2,05	2,84	IRI_RJ_F2 - 2013	121	1	2,02E+07	1	2,10
.	1,96	2,75	IRI_RJ_F2 - 2013	122	1	2,02E+07	1	1,90
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F2 - 2013	123	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F2 - 2013	124	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F3 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F3 - 2013	113	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F3 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F3 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,09	2,89	IRI_RJ_F3 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,20
.	2,09	2,89	IRI_RJ_F3 - 2013	118	1	2,02E+07	1	2,20
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F3 - 2013	119	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,18	2,97	IRI_RJ_F3 - 2013	120	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,09	2,89	IRI_RJ_F3 - 2013	121	1	2,02E+07	1	2,20
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F3 - 2013	122	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F3 - 2013	123	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,14	2,93	IRI_RJ_F4 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,22	3,02	IRI_RJ_F4 - 2013	113	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,22	3,02	IRI_RJ_F4 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,22	3,02	IRI_RJ_F4 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,22	3,02	IRI_RJ_F4 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,27	3,06	IRI_RJ_F4 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,60
.	2,27	3,06	IRI_JF_F1 - 2013	102	1	2,02E+07	1	2,60
.	2,27	3,06	IRI_JF_F1 - 2013	103	1	2,02E+07	1	2,60
.	2,31	3,11	IRI_JF_F1 - 2013	104	1	2,02E+07	1	2,70
.	2,35	3,16	IRI_JF_F1 - 2013	105	1	2,02E+07	1	2,80
.	2,22	3,02	IRI_JF_F1 - 2013	106	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,18	2,97	IRI_JF_F1 - 2013	107	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,31	3,11	IRI_JF_F1 - 2013	108	1	2,02E+07	1	2,70
.	2,14	2,93	IRI_JF_F1 - 2013	109	1	2,02E+07	1	2,30
.	2,18	2,97	IRI_JF_F1 - 2013	110	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,14	2,93	IRI_JF_F1 - 2013	111	1	2,02E+07	1	2,30

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização			X'o		
	t ( $\alpha/2$ );n-p	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	I	N (USACE)	Intervalo de tempo entre o IRIo e a previsão
	2,18	2,97	IRI_JF_F1 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,40
	2,18	2,97	IRI_JF_F1 - 2013	113	1	2,02E+07	1	2,40
	2,22	3,02	IRI_JF_F1 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,50
	2,05	2,84	IRI_JF_F1 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,10
	2,18	2,97	IRI_JF_F1 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,40
	2,14	2,93	IRI_JF_F1 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,30
	2,01	2,80	IRI_JF_F1 - 2013	118	1	2,02E+07	1	2,00
	2,05	2,84	IRI_JF_F1 - 2013	119	1	2,02E+07	1	2,10
	2,05	2,84	IRI_JF_F1 - 2013	120	1	2,02E+07	1	2,10
	2,05	2,84	IRI_JF_F1 - 2013	121	1	2,02E+07	1	2,10
	2,01	2,80	IRI_JF_F1 - 2013	122	1	2,02E+07	1	2,00
	2,18	2,97	IRI_JF_F1 - 2013	123	1	2,02E+07	1	2,40
	2,05	2,84	IRI_JF_F1 - 2013	124	1	2,02E+07	1	2,10
	2,27	3,06	IRI_JF_F2 - 2013	102	1	2,02E+07	1	2,60
	2,22	3,02	IRI_JF_F2 - 2013	103	1	2,02E+07	1	2,50
	2,14	2,93	IRI_JF_F2 - 2013	104	1	2,02E+07	1	2,30
	2,22	3,02	IRI_JF_F2 - 2013	105	1	2,02E+07	1	2,50
	2,18	2,97	IRI_JF_F2 - 2013	106	1	2,02E+07	1	2,40
	2,27	3,06	IRI_JF_F2 - 2013	107	1	2,02E+07	1	2,60
	2,09	2,89	IRI_JF_F2 - 2013	108	1	2,02E+07	1	2,20
	2,18	2,97	IRI_JF_F2 - 2013	109	1	2,02E+07	1	2,40
	2,22	3,02	IRI_JF_F2 - 2013	110	1	2,02E+07	1	2,50
	2,14	2,93	IRI_JF_F2 - 2013	111	1	2,02E+07	1	2,30
	2,14	2,93	IRI_JF_F2 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,30
	2,22	3,02	IRI_JF_F2 - 2013	113	1	2,02E+07	1	2,50
	2,18	2,97	IRI_JF_F2 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,40
	2,09	2,89	IRI_JF_F2 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,20
	2,18	2,97	IRI_JF_F2 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,40
	2,14	2,93	IRI_JF_F2 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,30
	2,09	2,89	IRI_JF_F2 - 2013	118	1	2,02E+07	1	2,20
	2,05	2,84	IRI_JF_F2 - 2013	119	1	2,02E+07	1	2,10
	2,09	2,89	IRI_JF_F2 - 2013	120	1	2,02E+07	1	2,20
	1,96	2,75	IRI_JF_F2 - 2013	121	1	2,02E+07	1	1,90
	2,05	2,84	IRI_JF_F2 - 2013	122	1	2,02E+07	1	2,10
	2,09	2,89	IRI_JF_F2 - 2013	123	1	2,02E+07	1	2,20
	2,09	2,89	IRI_JF_F2 - 2013	124	1	2,02E+07	1	2,20
	2,35	3,16	IRI_JF_F3 - 2013	109	1	2,02E+07	1	2,80
	2,27	3,06	IRI_JF_F3 - 2013	110	1	2,02E+07	1	2,60
	2,22	3,02	IRI_JF_F3 - 2013	111	1	2,02E+07	1	2,50

95% de nível de confiança	Intervalo de confiança para Predição de novas observações		Localização			X'o		
t ( $\alpha/2$ );n-p	Intervalo Inferior	Intervalo Superior	CODIGO	KM	I	N (USACE)	Intervalo de tempo entre o IRIo e a previsão	IRIO
.	2,22	3,02	IRI_JF_F3 - 2013	112	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,27	3,06	IRI_JF_F3 - 2013	113	1	2,02E+07	1	2,60
.	2,35	3,16	IRI_JF_F3 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,80
.	1,96	2,75	IRI_JF_F3 - 2013	115	1	2,02E+07	1	1,90
.	2,01	2,80	IRI_JF_F3 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,00
.	2,09	2,89	IRI_JF_F3 - 2013	117	1	2,02E+07	1	2,20
.	2,18	2,97	IRI_JF_F3 - 2013	118	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,27	3,06	IRI_JF_F3 - 2013	119	1	2,02E+07	1	2,60
.	2,22	3,02	IRI_JF_F3 - 2013	120	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,22	3,02	IRI_JF_F3 - 2013	121	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,01	2,80	IRI_JF_F3 - 2013	122	1	2,02E+07	1	2,00
.	2,22	3,02	IRI_JF_F3 - 2013	123	1	2,02E+07	1	2,50
.	2,18	2,97	IRI_JF_F4 - 2013	114	1	2,02E+07	1	2,40
.	2,01	2,80	IRI_JF_F4 - 2013	115	1	2,02E+07	1	2,00
.	2,05	2,84	IRI_JF_F4 - 2013	116	1	2,02E+07	1	2,10