



AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS DE RETROANÁLISE DE BACIAS
DEFLECTOMÉTRICAS - APLICAÇÃO A UM TRECHO DE UMA RODOVIA
FEDERAL

Rosilene Alves Lopes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Laura Maria Goretti da Motta

Rio de Janeiro

Abril de 2019

AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS DE RETROANÁLISE DE BACIAS
DEFLECTOMÉTRICAS - APLICAÇÃO A UM TRECHO DE UMA RODOVIA
FEDERAL

Rosilene Alves Lopes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof^a. Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.

Prof. Francisco Thiago Sacramento Aragão, Ph.D.

Dr. Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, D.Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2019

Lopes, Rosilene Alves

Avaliação de programas de retroanálise de bacias deflectométricas - aplicação a um trecho de uma rodovia federal/ Rosilene Alves Lopes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XXI, 263 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Laura Maria Goretti da Motta

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 204-217.

1. Mecânica dos Pavimentos. 2. Retroanálise. 3. Reforço de pavimentos. I. Motta, Laura Maria Goretti da. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele o fará.”

SALMOS 37:5

“Se quiséssemos apenas ser felizes, seria fácil; mas queremos ser mais felizes do que as outras pessoas, o que é quase sempre difícil, porque as imaginamos mais felizes do que são.”

CHARLES DE MONTESQUIEU

A minha irmã Maristela, em memória, minha “estrela do mar”.

Aos meus pais.

Ao meu irmão, Mauro Sérgio, o Bau.

AGRADECIMENTOS

De forma infinita e, ainda assim, insuficiente, à minha orientadora, Laura Maria Goretti da Motta, pelo trabalho e pela preocupação que lhe causei ao longo da orientação. Ajudou-me e “puxou minha orelha”. Exemplo de humildade, simplicidade e bondade possuindo, ao mesmo tempo, grande conhecimento e renome em todo meio científico rodoviário.

Aos amigos de vida profissional do Ministério Público do Rio de Janeiro, Luiz Antônio, Sylvio Gomes e Márcio Goulart, que me apoiaram na caminhada do mestrado.

Aos amigos da COPPE. A Vivian Gil, pelos estudos noturnos. Ao D.Sc. Pablo Trejo que, mesmo no dia de seu aniversário, estava me ajudando. Ao Jônio e aos amigos da pavimentação. Ao Alex, que viu meus choros, reclamações e angústias e que, durante muitos finais de semana, foi meu companheiro nos estudos.

Aos amigos Rafael e Marcos, por terem ido incontáveis vezes ao meu encontro na UFRJ, pela manhã, à tarde, ou à noite. Ao Sérgio, por seu apoio.

Ao D.Sc. Marcos Fritzen, pela participação na banca de qualificação e por seus comentários, sugestões e incentivo.

Ao D.Sc. Filipe Franco, por disponibilizar parte dos *softwares* utilizados nesta pesquisa e por seus comentários, sugestões e incentivo.

Ao M.Sc. Piero Laurent, por disponibilizar parte dos *softwares* utilizados nesta pesquisa e por suas explicações.

Ao Ph.D. Prof. Francisco Thiago Sacramento Aragão e ao D.Sc. Antonio Carlos Rodrigues Guimarães, pela participação na banca examinadora, contribuindo para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao meu pai, Raimundo, que me ensinou a força da honestidade e da perseverança em tudo o que se faz, e à minha irmã, Maristela, que foi um doce de menina. Ambos em memória. Ao meu irmão, Mauro Sérgio, e à Dona Margarida, minha mãe.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DE PROGRAMAS DE RETROANÁLISE DE BACIAS
DEFLECTOMÉTRICAS - APLICAÇÃO A UM TRECHO DE UMA RODOVIA
FEDERAL

Rosilene Alves Lopes

Abril/2019

Orientador: Laura Maria Goretti da Motta

Programa: Engenharia Civil

O Brasil usa transporte de carga predominantemente rodoviário, e em grande parte, sua malha viária apresenta condições insatisfatórias. O novo método de dimensionamento, MeDiNa, foi concebido para ajudar a mudar esta realidade. O objetivo deste estudo foi avaliar programas de retroanálise a partir de um banco de dados de bacias deflectométricas medidas com deflectômetro FWD, procurando identificar o quanto o dimensionamento de reforço das estruturas pode ser afetado pelos resultados obtidos em cada método. Verificou-se com os módulos obtidos pela retroanálise se as espessuras de reforço indicadas pelas normas PRO 11/79 e PRO 269/94, do DNIT, fornecem o tempo de vida útil de 10 anos. Foram utilizados três programas de retroanálise: o PITRA-BACK, o ELMOD e o BackMeDiNa, que é um módulo do MeDiNa. A análise foi feita aplicando-se os três métodos aos dados reais de levantamentos de segmentos de uma rodovia federal. Foi possível concluir que o BackMeDiNa e o ELMOD, quando bem calibrado, fornecem módulos aproximados, mas que, a amplitude da diferença dos módulos calculados, não se refletiu na vida útil do reforço. Os métodos de reforço do DNIT, forneceram vida útil inferior a 10 anos, em todos os casos do presente estudo. Os resultados indicam a importância da consideração das características elásticas dos materiais dos pavimentos no estado de tensões e deformações decorrentes das condições de contorno.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EVALUATION OF DEFLECTOMETRIC BASE RETROANALYSIS PROGRAMS -
APPLICATION TO A FEDERAL ROAD

Rosilene Alves Lopes

April/2019

Advisor: Laura Maria Goretti da Motta

Department: Civil Engineering

Brazil uses predominantly road freight transport, and in large part, its road network presents unsatisfactory conditions. The new design method, MeDiNa, was developed to help change this reality. The objective of this study was to evaluate backcalculation programs using a database of deflectometric basins measured with FWD deflectometer to try to identify how much the reinforcement design of the structures can be affected by the results obtained from each method. It was verified with the moduli obtained by the backcalculation if the reinforcement thicknesses indicated by the standards PRO 11/79 and PRO 269/94, from DNIT, provide the useful life of 10 years. Three backcalculation programs were used: PITRA-BACK, ELMOD and BackMeDiNa, which is a MeDiNa module. The analysis was done by applying the three methods to the actual data of segment surveys of a federal highway. It was concluded that the BackMeDiNa and ELMOD, when well calibrated, provide approximate moduli, but that the magnitude of the difference of the calculated moduli was not reflected in the life of the reinforcement. The DNIT reinforcement method provided a useful life of less than 10 years in all cases of the present study. The results indicate the importance of considering the elastic characteristics of pavement materials in the state of stresses and deformations resulting from the boundary conditions.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Introdução	8
2.2	Análise de tensões, deformações e deslocamentos.....	10
2.2.1	Os métodos clássicos	10
2.2.2	Método das espessuras equivalentes de Odemark.....	16
2.3	Módulo de resiliência	18
2.4	Avaliação de pavimentos.....	21
2.4.1	Avaliação funcional de pavimentos.....	22
2.4.2	Avaliação estrutural de pavimentos.....	26
2.5	Segmentos homogêneos	36
2.6	Retroanálise em pavimentos asfálticos.....	39
2.6.1	Estimativa dos módulos semente e da espessura da Camada.....	45
2.6.2	Interdependência entre a camada granular e o subleito.....	49
2.6.3	Compensação de camadas e efeitos da não linearidade	50
2.6.4	Influência da temperatura	51
2.6.5	Aderência entre as camadas de pavimentos asfálticos	54
2.6.6	Métodos iterativos	55
2.6.7	Métodos simplificados.....	58
2.7	Número N	59
3	ROTINAS DE CÁLCULO DE TENSÃO E DEFORMAÇÃO DOS MÉTODOS DE RETROANÁLISE DESTA PESQUISA	61
3.1	Análise Elástica de Múltiplas Camadas - AEMC.....	61
3.2	PITRA-PAVE.....	65
3.3	MET.....	70
4	MÉTODOS DE RETROANÁLISE E PLANEJAMENTO DA PESQUISA..	71
4.1	Introdução.....	71
4.2	BackMeDiNa	72
4.3	PITRA-BACK	76
4.4	ELMOD.....	83

4.5	Planejamento da Pesquisa.....	89
5	ANÁLISE E RESULTADOS.....	94
5.1	Introdução.....	94
5.2	Levantamentos iniciais	95
5.3	Drenagem e Clima	96
5.4	Estudo de tráfego	100
5.5	Avaliação funcional e estrutural do pavimento	104
5.6	Segmentos homogêneos	108
5.7	Segmentos selecionados para as retroanálises do presente estudo	110
5.8	Retroanálises – Metodologia, resultados e comparações	115
5.8.1	Segmento 1- estaca 1540-1590.....	126
5.8.2	Segmento 2- estaca 2220-2270.....	131
5.8.3	Segmento 3 - estaca 2480-2530.....	136
5.8.4	Segmento 4 - estaca 3376-3432.....	141
5.8.5	Segmento 5 - estaca 3650-3700.....	146
5.8.6	Segmento 6 - estaca 5334-5384.....	151
5.8.7	Segmento 7 - estaca 6758-6810.....	156
5.8.8	Segmento 8 - estaca 10004-10054.....	161
5.9	Considerações sobre a retroanálise.....	166
5.10	Comparação entre os resultados da retroanálise no dimensionamento de reforço e vida útil	179
5.11	Conclusões sobre as comparações dos resultados	195
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .	199
6.1	Conclusões.....	199
6.2	Recomendações para futuras pesquisas.....	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Tipos de estruturas de pavimentos rodoviários (ADADA, 2008).	8
Figura 2.2 - Fluxograma de dimensionamento do pavimento (MOTTA, 1991).	9
Figura 2.3 - Distribuição de “pressões” de acordo com a profundidade (MARANGON, 2013).	11
Figura 2.4 - Bulbo de pressões (linhas de igual valor de “pressão”) (MARANGON, 2013).	11
Figura 2.5 - Tensões num pavimento flexível (MEDINA & MOTTA, 2005).	12
Figura 2.6 - Esquema representativo das tensões, deformações e deslocamentos em pontos críticos de um pavimento asfáltico (FRANCO, 2007).	12
Figura 2.7 - Carregamento circular axissimétrico num sistema de duas camadas (SILVA, 2014).	13
Figura 2.8 - Esquema de transformação da espessura da primeira camada do sistema em uma camada equivalente (TREJOS, 2015).	17
Figura 2.9 - Conversão da primeira camada abaixo do ponto de aplicação da carga em uma camada equivalente (a), conversão da segunda camada em uma camada equivalente (b) e a conversão da terceira camada em uma camada equivalente (c). (adaptado de TREJOS, 2015).	18
Figura 2.10 - Esquema do equipamento triaxial de carga repetida (DNIT, 2017).	20
Figura 2.11 - Esquema do equipamento de ensaio de compressão diametral de cargas repetidas (FRITZEN, 2016).	21
Figura 2.12 - Serventia x tráfego ou tempo de utilização da via (BERNUCCI et al., 2008).	24
Figura 2.13 - Variação da serventia no tempo (desempenho do pavimento) (BALBO, 2007).	25
Figura 2.14 - Exemplo de perfilômetro a Laser (Solocap, 2018)	25
Figura 2.15 - Esquema da utilização em campo da Viga Benkleman (SOLOCAP, 2018).	29
Figura 2.16 - Detalhe do deflectógrafo Lacroix (Vectra-Esteio Rodovias, 2012).	30
Figura 2.17 - Curviâmetro (CORREIA, 2014).	31

Figura 2.18- Bacia de deflexão obtida pelo ensaio com o Curviômetro (ROAD SURVEY DEVICE, 2018).	32
Figura 2.19 - Princípio de funcionamento do FWD (HAAS <i>et. al.</i> , 1994).	32
Figura 2.20 – Esquema de um Deflectômetro de Impacto FWD (DNIT, 2006).	34
Figura 2.21 - Representação esquemática do FWD (detalhamento dos sensores (CORREIA, 2014).	34
Figura 2.22- Exemplo de FWD - equipamento Dynatest (DYNATEST, 2018).	35
Figura 2.23 - Exemplo do equipamento FWD KUAB (KUAB, 2018).	35
Figura 2.24 - Método das diferenças acumuladas para separar trechos homogêneos (AASHTO, 1993).	37
Figura 2.25 - Deflectômetro de impacto (FWD) e zonas de tensão (CORREIA, 2014).	47
Figura 2.26 - Efeito da camada rígida nas bacias de deflexões (WSDT-EVERSERIES, 2005).	48
Figura 2.27- Tipos de aderência entre as camadas asfálticas (adaptado de SUTANO, 2009).	55
Figura 3.1 - Sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no programa AEMC (FRANCO, 2018).	62
Figura 3.2 – Coordenadas de pontos segundo os tipos de eixos no programa AEMC (FRANCO, 2018).	63
Figura 3.3 - Tela inicial do programa AEMC (FRANCO, 2018).	64
Figura 3.4 - Sistemas de coordenadas do PITRA-PAVE (Lanamme, UCR, 2015).	66
Figura 3.5 - Propriedades da estrutura de um pavimento típico (Lanamme, UCR, 2015).	68
Figura 3.6 – Pontos de medição no PITRA-PAVE (Lanamme, UCR, 2015).	69
Figura 3.7 - Tela inicial PITRA-PAVE (PITRA-PAVE, 2018).	69
Figura 3.8 - Calculadora de carga (PITRA-PAVE, 2018).	70
Figura 3.9 - Unidades do sistema internacional (SI) ou unidades inglesas (EUA) (PITRA-PAVE, 2018).	70
Figura 4.1 - Planilha Modelo de arquivo de bacias, a ser usado no BackMedina (FRANCO, 2018).	73
Figura 4.2 - Tela inicial do BackMeDiNa, após carregamento dos arquivos csv ou bac. (FRANCO, 2018).	74

Figura 4.3 - Comando ESTRUTURA no programa BackMeDiNa (FRANCO, 2018)..	75
Figura 4.4 – Interface inicial do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	78
Figura 4.5 – Aba “Banco de Dados” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	79
Figura 4.6 – Arquivos de entrada do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	79
Figura 4.7 - Aba “Estrutura” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	80
Figura 4.8 – Tela de configuração das quantidade de interações, faixa de variação dos módulos e pontos de interpolação utilizados no retrocálculo (MATAMOROS, 2017).	80
Figura 4.9 - Aba “Retrocálculo” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	81
Figura 4.10 - Aba “Resultados” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	82
Figura 4.11 – Interface do botão “Deflexiones” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).....	82
Figura 4.12 – Tela inicial do ELMOD (DYNATEST, 2018).....	85
Figura 4.13 - Janela de introdução de dados da estrutura no ELMOD (DYNATEST, 2018).....	86
Figura 4.14 – Tela que exemplifica a divisão de segmentos, seção 3 (DYNATEST, 2018).	87
Figura 4.15 - Desenho esquemático da estrutura em seções (DYNATEST, 2018).....	87
Figura 4.16 - Tela de retroanálise dos módulos elásticos do ELMOD (DYNATEST, 2018).....	87
Figura 4.17- Fluxograma do planejamento desta pesquisa.....	93
Figura 5.1 – Exemplos de sarjetas que deverão ser limpas ou receber algum reparo no BR 153 (DNIT, 2012).....	96
Figura 5.2 - Mapa da geomorfologia local do segmento em estudo (DNIT, 2012).	98
Figura 5.3 - Mapa da temperatura média anual do ar onde se localiza o segmento em estudo (DNIT, 2012).	99
Figura 5.4- Mapa da pedologia local do segmento em estudo (DNIT, 2012).	99
Figura 5.5- Variação Sazonal Mensal do Tráfego (DNIT, 2012).....	101
Figura 5.6- Dados das Pesagens de Tráfego de 2005 (DNIT, 2012).....	103
Figura 5.7- Deflexões máximas nas bacias realizadas com FWD (DNIT, 2012).	105
Figura 5.8 - Conversão das medições do FWD para leituras de viga Benkelman (DNIT, 2012).....	106
Figura 5.9 - Raio de curvatura obtidos no segmento (DNIT, 2014).....	107

Figura 5.10 - Valores Df_6 do trecho selecionado para esta pesquisa (DNIT, 2014). ...	108
Figura 5.11 - Efeito da Carga Sobre um Pavimento Flexível (DNER, 1979).	111
Figura 5.12 - Exemplo de retroanálise do trecho 8, do presente estudo, pelo BackMeDiNa.	116
Figura 5.13 - Exemplo do preenchimento da aba estrutura do trecho 2 no PITRA-BACK, presente neste estudo.	117
Figura 5.14 - Exemplo do preenchimento da aba retroanálise do trecho 8 no PITRA- BACK, presente neste estudo.	118
Figura 5.15 - Exemplo da aba resultados do trecho 8 no PITRA-BACK, presente neste estudo.....	118
Figura 5.16 – Exemplo de modelo e de valores utilizados no processo de retroanálise do segmento 2 no ELMOD.....	120
Figura 5.17 - Exemplo do trecho 2 de ajustes para se efetuar a retroanálise no ELMOD.	120
Figura 5.18– Exemplo de Resultado da retroanálise do segmento 8 do presente estudo no ELMOD.....	121
Figura 5.19 - Exemplo do trecho 1 do presente estudo, com módulos retroanalizados usados na modelagem no AEMC.	122
Figura 5.20 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 1 desta pesquisa.....	126
Figura 5.21 – Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 1 desta pesquisa.....	127
Figura 5.22 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 1 desta pesquisa.....	127
Figura 5.23 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 1 desta pesquisa.....	128
Figura 5.24 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 1 deste estudo.	130
Figura 5.25 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 1 deste estudo.	130
Figura 5.26 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 2 desta pesquisa.....	131
Figura 5.27 - Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 2 desta pesquisa.....	132
Figura 5.28 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 2 desta pesquisa.....	132
Figura 5.29 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 2 desta pesquisa.....	133

Figura 5.30 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 2 deste estudo.	135
Figura 5.31 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 2 deste estudo.	135
Figura 5.32 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 3 desta pesquisa.....	136
Figura 5.33- Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 3 desta pesquisa.	137
Figura 5.34 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 3 desta pesquisa.....	137
Figura 5.35 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 3 desta pesquisa.....	138
Figura 5.36 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 3 deste estudo.	140
Figura 5.37- Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 3 deste estudo.	140
Figura 5.38 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 4 desta pesquisa.....	141
Figura 5.39 - Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 4 desta pesquisa.....	142
Figura 5.40 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 4 desta pesquisa.....	142
Figura 5.41 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 4 desta pesquisa.....	143
Figura 5.42 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 29 bacias, referentes ao trecho 4 deste estudo.	145
Figura 5.43 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 4 deste estudo.	145
Figura 5.44- Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 5 desta pesquisa.....	146
Figura 5.45 - Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 5 desta pesquisa.....	147
Figura 5.46 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 5 desta pesquisa.....	147
Figura 5.47 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 5 desta pesquisa.....	148
Figura 5.48 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 5 deste estudo.	150
Figura 5.49- Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 5 deste estudo.	150

Figura 5.50 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 6 desta pesquisa.....	151
Figura 5.51 - Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 6 desta pesquisa.....	152
Figura 5.52 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 6 desta pesquisa.....	152
Figura 5.53 - Raio de curvatura de cada bacia no segmento 6 desta pesquisa.	153
Figura 5.54 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 6 deste estudo.	155
Figura 5.55 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 6 deste estudo.	155
Figura 5.56 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 7 desta pesquisa.....	156
Figura 5.57 - Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 7 desta pesquisa.....	157
Figura 5.58 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 7 desta pesquisa.....	157
Figura 5.59 - Raio de curvatura de cada bacia no segmento 7 desta pesquisa.	158
Figura 5.60 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 27 bacias, referentes ao trecho 7 deste estudo.	160
Figura 5.61 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 7 deste estudo.	160
Figura 5.62 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 8 desta pesquisa.....	161
Figura 5.63 - Deflexões D_0 - D_3 de cada bacia do segmento 8 desta pesquisa.....	162
Figura 5.64 - Deflexões D_6 de cada bacia do segmento 8 desta pesquisa.....	162
Figura 5.65 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 8 desta pesquisa.....	163
Figura 5.66 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 8 deste estudo.	165
Figura 5.67 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 8 deste estudo.	165
Figura 5.68 – Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de subleito entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.....	169
Figura 5.69 – Exemplo de “surface módulos” do programa ELMOD de uma das bacias do segmento 8 do presente estudo.	172

Figura 5.70 - Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de revestimento entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.....	175
Figura 5.71 - Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de base entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.	177
Figura 5.72 - Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de sub- base entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.	177
Figura 5.73- Tela de cálculo do Fator de Veículo presente no MeDiNa (FRANCO, 2018).	180
Figura 5.74 – Propriedades da nova camada de revestimento para o dimensionamento de reforço (FRANCO, 2018).....	182
Figura 5.75 – Exemplo da tela de entrada de dados no modo reforço, referente ao segmento 1 desta pesquisa, com as análises do reforço do pavimento (MeDiNa).....	183
Figura 5.76 – Exemplo da tela resultados, selecionada o botão evolução dos danos mensais, referente ao Trecho 1 desta pesquisa (MeDiNa).	185
Figura 5.77 - Evolução do dano mês a mês, segundo o percentual de trincas e do número N equivalente, para a Classe 1 do segmento 1.	186
Figura 5.78 - A evolução do dano mês a mês, segundo o percentual de trincas e do número N equivalente, para a Classe 4 do segmento 1.	186
Figura 5.79 - Resultado da retroanálise na condição de não aderência entre as camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) pelo programa BackMeDiNa. .	192

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG (DNIT 006/2003).	26
Tabela 2.2 - Desvantagens para a utilização método destrutivo de avaliação de pavimentos (DNIT, 2006).	28
Tabela 2.3 - Sequência de cálculo para delimitação do trecho homogêneo pela metodologia da AASHTO (1993) (BERNUCCI <i>et al.</i> , 2008).....	38
Tabela 2.4 - Programas de retroanálise utilizados ao redor do mundo (FHWA, 2017). 43	
Tabela 2.5 - Funções critério para retroanálise em pavimentos com M camadas e n medidas.....	57
Tabela 4.1- Roteiro para preenchimento da Planilha Modelo de arquivo de bacias (FRANCO, 2018).	73
Tabela 4.2 – Análise preliminar dos programas de retroanálise por ajuste de uma bacia gerada pelo AEMC.	91
Tabela 5.1 - Fatores de sazonalidade adotados nesta análise (DNIT, 2012).	101
Tabela 5.2 - Volume Médio Diário (VMD) em cada posto de contagem (adaptado de DNIT, 2012).	102
Tabela 5.3 - Tabela Resumo do Número “N” (DNIT, 2012).	104
Tabela 5.4 -Critérios para Avaliação Estrutural (DNER PRO 11/79).....	112
Tabela 5.5 - Análise visual preliminar dos segmentos.	113
Tabela 5.6 - Parâmetros funcionais dos segmentos homogêneos escolhidos para esta pesquisa.	113
Tabela 5.7 – Parâmetros estruturais médios dos segmentos em estudo nesta pesquisa.	114
Tabela 5.8 – Estrutura dos pavimentos analisados nesta pesquisa.	114
Tabela 5.9 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 1.....	126
Tabela 5.10 – Resultados médios das retroanálises no segmento 1 desta pesquisa.	128
Tabela 5.11 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 2.....	131
Tabela 5.12 – Resultados médios das retroanálises no segmento 2 desta pesquisa.	133
Tabela 5.13 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 3.....	136
Tabela 5.14 - Resultados médios das retroanálises no segmento 3 desta pesquisa.	138

Tabela 5.15 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 4.....	141
Tabela 5.16 - Resultados médios das retroanálises no segmento 4 desta pesquisa.	143
Tabela 5.17 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 5.....	146
Tabela 5.18 - Resultados médios das retroanálises no segmento 5 desta pesquisa.	148
Tabela 5.19 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 6.....	151
Tabela 5.20 - Resultados médios das retroanálises no segmento 6 desta pesquisa.	153
Tabela 5.21 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 7.....	156
Tabela 5.22 - Resultados médios das retroanálises no segmento 7 desta pesquisa.	158
Tabela 5.23 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 8.....	161
Tabela 5.24 - Resultados médios das retroanálises no segmento 8 desta pesquisa.	163
Tabela 5.25 - Módulos de elasticidade geralmente adotados na Costa Rica (VARGAS, 2013 <i>apud</i> MATAMOROS, 2017).....	175
Tabela 5.26 Coeficientes de Poisson geralmente adotados na Costa Rica (VARGAS, 2013 <i>apud</i> MATAMOROS, 2017).....	175
Tabela 5.27 – Segmentos e módulos de resiliência utilizados no dimensionamento de reforço desta pesquisa.....	181
Tabela 5.28 - Resultados dos danos mensais limitados a 30% de trincas.....	185
Tabela 5.29 - Espessuras de reforço pelos métodos DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94.....	187
Tabela 5.30 - Resumo da vida útil de projeto dos segmentos desta pesquisa.....	188
Tabela 5.31 – Resultado da retroanálise na condição de não aderência entre as camadas, pelo programa BackMeDiNa.....	191
Tabela 5.32- Comparação da vida útil do pavimento na condição de aderência e não aderência das camadas.....	192
Tabela 5.33 - Nível de confiabilidade adotado nos cálculos do dimensionamento de reforço do presente estudo.....	194
Tabela 5.34 – Resultados dos estudos efetuados nas jazidas 1 a 5, para a verificação da possibilidade de utilização do material nas camadas de base e sub-base (UFG, 2016 / DNIT 2017).	198

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CBR	California Bearing Ratio
CBR	Capacidade de suporte
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAVI	Conselho Nacional de Estradas
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CREMA	Contrato de Restauração e Manutenção
Dadm	Valor da deflexão admissível
Dc	Deflexão de característica
DCP	Dynamic Cone Penetration
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DRF	Distritos Rodoviários Regionais
ELMOD	Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design
FC	Fator de Equivalência de Carga
FE	Fator de eixo
FEM	Finite Element Method
FHWA	Federal Highway Administration
FLC	Fator campo laboratório
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
FV	fator de veículo
FWD	Falling Weight Deflectometer
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GPR	Ground Penetration Radar

GTZ	Sociedade Alemã de Cooperação Técnica
ICPF	Índice de Condição dos Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos
IES	Índice do Estado da Superfície do Pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGGE	Índice de Gravidade Global Expedito
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	International Roughness Index
JULEA	Jacob Uzan Layered Elastic Analysis
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
MEF	Módulo de Elemento Finito

1 INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, implantadas após a terraplenagem, ou seja, construída sobre o terreno de fundação da estrutura, conhecido como subleito. Sua função é manter-se íntegro aos esforços oriundos da passagem de cargas cíclicas advindas dos eixos dos veículos, pelo tempo de vida útil para o qual foi projetado.

Essas camadas, para o pavimento rodoviário, são nomeadas de acordo com a NBR 7207/82 da seguinte forma:

a) O revestimento é a camada, tanto quanto possível, impermeável e que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos. É destinada econômica e simultaneamente a:

- Melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

b) A base é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos, sobre a qual se constrói o revestimento.

c) A sub-base é a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando, por qualquer circunstância, não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido devido à terraplenagem.

d) O subleito é o terreno de fundação do pavimento ou do revestimento.

Existem diversas categorias de pavimentos para distintos tipos de modais (rodoviário, ferroviário, aeroportuário), que têm reflexo no desenvolvimento econômico de uma região, visto que possibilitam o transporte eficiente dos produtos nacionais, tornando-os mais competitivos no mercado interno e externo.

O Plano Nacional de Logística Integrada (PNLI), apresenta a matriz de transporte do ano de 2015, onde se verifica que 65% de todas as mercadorias transportadas no Brasil são por rodovia. (EPL, 2015).

A pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento internacional. O Brasil tem comportamento similar, com mais de 95% das estradas pavimentadas tendo revestimento asfáltico (ARAÚJO, 2016).

Em 2017, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) elaborou uma pesquisa em que verificou a diminuição da qualidade do estado geral de diversas rodovias brasileiras. As categorias regular, ruim ou péssima aumentaram em relação ao mesmo período do ano anterior. Em 2016, 41,8% das rodovias foram consideradas em bom ou ótimo estado, enquanto em 2017 esse valor diminuiu em quase 10% (CNT, 2017).

A verificação da evolução do estado de conservação do pavimento das rodovias públicas federais entre 2004 e 2016 foi efetuada pela CNT e divulgada na pesquisa “Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?” que avaliou métodos e normas, incluindo resultados de auditorias fornecidos por órgãos de controle e por fim, entrevistando especialistas acadêmicos e de setores público e privado. A conclusão foi que, no tocante à pavimentação de rodovias, ainda são usadas metodologias de dimensionamento ultrapassadas em conjunto com: técnicas deficientes de execução; pouco investimento; erros gerenciais e de fiscalização das intervenções e na manutenção das rodovias (CNT, 2017).

O desempenho de um segmento específico de pavimento de concreto asfáltico, também conhecido tradicionalmente como flexível, pode ser de difícil previsão ao se adotar em métodos tradicionais de dimensionamento. Assim, a engenharia rodoviária tem objetivado estabelecer modelos de previsão de desempenho de maneira que se possam prognosticar os mecanismos de deterioração relevantes que atuam no declínio dos índices de serventia dos pavimentos ao longo de sua vida útil. Estes modelos são funções que associam as conjunturas atuais (estruturais, funcionais e de deterioração superficial), às peculiaridades do pavimento, sob condições climáticas e de tráfego, ao crescimento temporal dos defeitos de superfície e ao decréscimo do nível de serventia.

A Teoria da elasticidade e os métodos numéricos desenvolvidos por Boussinesq, Burmister e por outros pesquisadores, simultaneamente com o avanço acelerado da tecnologia dos computadores e dos ensaios de laboratório, promoveu o desenvolvimento de programas de multicamadas elásticas e viscoelásticas. O aprimoramento desses programas de cálculo de tensões e deformações viabilizou a concepção de métodos mecanístico-empíricos de dimensionamento, que permitem que as estruturas escolhidas para o pavimento sejam avaliadas.

FRANCO (2007) destaca alguns programas de cálculo de tensões e deformações como: o BISAR, desenvolvido em 1978 pela Shell Oil (SHELL, 1998); o ELSYM5, na Universidade da Califórnia (KOPPERMAN *et al.*, 1986); o ALIZE III, pelo Laboratoire Central des Ponts e Chaussées; o KENLAYER, pela Universidade de Kentucky (HUANG, 2003), o JULEA, por UZAN (1978); o CIRCLY (WARDLE, 1996), pelo Austroads; o LEAF, pela FAA; o MECAF3D e o FLAPS em 1991 por RODRIGUES (1998); o RIOPAVE, por AEDO (1997); além do FEPAVE, utilizado pela COPPE/UFRJ, desenvolvido na Universidade de Berkeley em 1968 e outros como o ILLIPAVE e o MICHPAVE. Pode-se ainda acrescentar o AEMC e o EFIN3D, desenvolvidos por Franco (2007) em seu doutorado na COPPE e o CAP3D, desenvolvido pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

No Brasil, existem diversas pesquisas para a elaboração de programas de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos, destacando-se como resultado dessa investigação o MeDiNa, que até a publicação do presente estudo, está disponível no site do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), para fase de avaliação, a fim de se tornar o novo método brasileiro de dimensionamento do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Atualmente, pesquisas internacionais também buscam aprimorar a concepção de projetos de rodovias, à luz do dimensionamento mecanístico-empírico, podendo-se citar como exemplos:

- Nos EUA, o *Mechanistic – Empirical Procedure Design Guide* (MEPDG);
- Na França, o ALIZE-LCPC;

- Em Portugal o Paviflex;
- Na África do Sul, o Cyrano, o PADS (Pavement Analysis and Design Software) e o Rubicon Toolbox;
- No México o IMT PAVE 3.0;
- Na Costa Rica o CR-ME.

Além do projeto de um pavimento asfáltico novo, o método mecanístico-empírico também pode ser utilizado no projeto de reforço ou reconstrução de um pavimento.

O conceito de serventia de um pavimento possibilita a compreensão do seu ciclo de vida e a interpretação de dados que caracterizam a importância da via. Avalia até que nível de irregularidades pode ser aceito na concepção do projeto, objetivando a melhor relação custo/benefício e a implementação de um Sistema de Gerência para a mesma.

O reforço tem como objetivo resgatar as propriedades estruturais e funcionais do pavimento pela aplicação de uma camada de revestimento asfáltico adicional sobre a capa existente, com a função de estender sua vida útil.

No Brasil, existem 4 métodos para o projeto de dimensionamento de reforço de pavimentos normalizados pelo DNIT:

- DNER-PRO 10/79 – Procedimento A;
- DNER-PRO 11/79 – Procedimento B;
- DNER-PRO 159/85 e o
- DNER-PRO 269/94 – TECNAPAV.

Segundo FONSECA (2013), os quatro métodos de reforço supracitados podem ser substituídos com superioridade pelo método mecanístico-empírico, que considera as características elásticas dos materiais que compõem as camadas pavimento, empregando softwares que utilizam a hipótese da elasticidade em sistemas multicamadas em conjunto com modelos de comportamento tensão-deformação dos materiais. SOUZA JUNIOR (2018) obteve a mesma conclusão para os métodos DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94.

Assim sendo, como no dimensionamento do pavimento novo, para o dimensionamento de reforço, é necessário adotar um sistema de tensões e deformações e medir as deflexões existentes, o que possibilita estimar os módulos de elasticidade dos materiais pelo processo intitulado de retroanálise.

Internacionalmente, a retroanálise é muito utilizada para obtenção dos módulos elásticos das camadas que compõem o pavimento, segundo CORREIA (2014) e a FWHA (2017) e com este parâmetro o dimensionamento de reforço é calculado.

Segundo MEDINA e MOTTA (2015), no Brasil, têm sido empregados mais frequentemente os seguintes programas para retroanálise de bacias deflectométricas: para os usuários do FWD da fabricante Dynatest é oferecido ELMOD, para os usuários do FWD do fabricante KUAB é disponibilizado software homônimo à marca, o EVERCALC, desenvolvido e fornecido pela Universidade de Washington e o BAKFAA, os dois últimos de acesso público, pela internet.

Representando os programas brasileiros pode-se mencionar o RETROANA (MACÊDO, 1996), PAVESYS desenvolvido por Régis Martins Rodrigues, RETRAN2C (ALBERNAZ, 1997) e RETRAN5L também de Albernaz, de desenvolvimento posterior e de uso restrito, REPAV (FONSECA, 2002) e RETROANÁLISE (FRANCO, 2007).

Durante a concepção de uma estrutura, nova ou de reforço, devem ser avaliadas diversas possibilidades, a fim de determinar a melhor solução para o projeto a ser elaborado. Desta forma escolher a melhor opção, requer amplos estudos sobre as várias tecnologias existentes (SILVA, 2018).

O presente estudo objetiva a avaliação de programas de retroanálise de módulos de resiliência a partir de bancos de dados de bacias deflectométricas medidas com deflectômetro de impacto do tipo FWD, procurando identificar o quanto dimensionamento de reforço das estruturas examinadas poderá ser afetado pelos resultados obtidos em cada método, bem como, a partir dos módulos obtidos pela retroanálise, verificar se as espessuras de reforço indicadas pelas normas PRO 11/79 e PRO 269/94, do DNIT, fornecem o tempo de vida útil de 10 anos.

Como estudo de caso, foram empregados 3 programas de retroanálise para avaliar as propriedades elásticas de cada camada de segmentos homogêneos de uma rodovia federal e a interação entre as mesmas, sob a ótica de critérios de avaliação, para análises do comportamento tensão-deformação:

- O BackMeDiNa, desenvolvido pela COPPE/UFRJ para o DNIT;
- O PITRA-BACK, versão Beta, da Universidade da Costa Rica;
- O ELMOD 6 da Dynatest.

O conteúdo do projeto CREMA 2ª Etapa - Elaboração de Projeto Executivo de Engenharia para Restauração de Rodovia - RODOVIA: BR-153/TO de 2012 foi a fonte dos dados necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Esta dissertação foi dividida em capítulos, sendo o primeiro esta introdução, seguida de mais cinco, assim distribuídos:

2. Revisão Bibliográfica - apresenta conceitos fundamentais da Mecânica dos Pavimentos e do Método mecanístico-empírico.
3. Rotinas de cálculo de tensão e deformação dos métodos de retroanálise desta pesquisa - caracteriza os programas de cálculo de tensões, apresentando suas bases teóricas e metodologias de cálculo.
4. Métodos de retroanálise e planejamento da pesquisa – justifica a utilização dos programas BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD6, apresentando suas bases teóricas e metodologias de cálculo. Também explica aos materiais e métodos que serão utilizados no presente estudo.
5. Estudo de caso - apresenta um trecho rodoviário real como estudo de caso desta dissertação, em que é verificada a aplicação de cada software a oito segmentos selecionados, e avaliados os resultados que melhor se encaixam nas faixas de valores reais em função das condições funcionais e estruturais da via, bem como a análise da aplicação destes módulos no dimensionamento do reforço e verificação da vida útil proposta pelos métodos vigentes do DNIT - PRO 11/79 e PRO 269/94.

6. Conclusões – apresenta as considerações da autora da pesquisa, bem como suas propostas pra futuras pesquisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

O pavimento é um sistema de camadas de espessuras finitas que formam uma superestrutura e que estão sobrepostas ao semi-espaço infinito, conhecido como infraestrutura ou terreno de fundação, denominado como subleito. Seu propósito é suportar os impactos causados pelas solicitações advindas dos esforços atuantes do tráfego de veículos e do intemperismo, proporcionando aos usuários uma superfície adequadamente resistente ao desgaste, com textura e declividade capazes de oferecer boas condições de rolamento, conforto e segurança.

As camadas do pavimento são sobrepostas horizontalmente e são construídas conforme sua finalidade viária, devendo seus materiais interagirem apropriadamente sob as solicitações das cargas advindas do tráfego de veículos. Esta interação é, de fato, uma tarefa complexa, considerando a necessidade de se compatibilizar materiais com parâmetros de elasticidade tão distintos. Para cada tipo e magnitude de solicitação, existem diferentes estruturas de pavimentos, sendo tradicionalmente divididos em quatro classes, conforme exemplificado na Figura 2.1.



Figura 2.1 - Tipos de estruturas de pavimentos rodoviários (ADADA, 2008).

Segundo MEDINA & MOTTA (2015), a mecânica dos pavimentos é uma disciplina da engenharia civil que estuda os pavimentos como sistemas em camadas sobrepostas e sujeitos às cargas dos veículos. Conhecidos os parâmetros de deformabilidade, por meio de ensaios específicos, bem como as informações do meio físico e das cargas impostas pelo tráfego, é possível estimar as tensões, deformações e deslocamentos na estrutura do pavimento, utilizando-se programas próprios para esta

finalidade. Estes programas ponderam o número de repetições de cargas que provocarão a fadiga do revestimento asfáltico, bem como as suas deformações plásticas.

Assim sendo, é possível estabelecer um fluxograma de dimensionamento do pavimento, para um projeto completo, conforme a Figura 2.2.

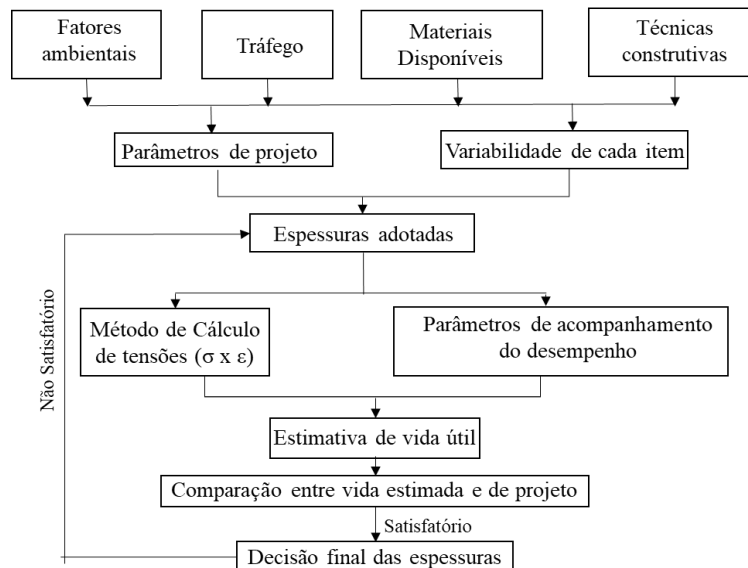


Figura 2.2 - Fluxograma de dimensionamento do pavimento (MOTTA, 1991).

As técnicas construtivas, bem como o controle tecnológico da execução de campo são componentes relevantes na definição da confiabilidade final de um método de dimensionamento (MOTTA, 1991). Por exemplo, inicialmente pode-se optar por um pavimento flexível ou semirrígido, dependendo do tráfego, mas para um pavimento semirrígido, com base de brita graduada tratada com cimento (BGTC), deve-se atentar ao para o máximo de espessura de compactação. A técnica construtiva brasileira mais moderna consegue compactar no máximo uma camada de 25cm de BGTC, mas no caso de uma empresa pequena e com limitações orçamentárias, provavelmente não terá maquinário que compacte esse material nessa espessura. Assim, essa camada seria compactada com uma espessura menor e deveria ser dimensionada considerando essa limitação.

Avaliando “n” alternativas viáveis que atendam aos requisitos funcionais especificados para dimensionar o pavimento, o projeto deve contemplar a análise da combinação de materiais disponíveis, espessuras e posição das camadas constituintes,

bem como técnicas construtivas, buscando a solução mais econômica e segura, ou seja, com o melhor custo-benefício.

2.2 Análise de tensões, deformações e deslocamentos

2.2.1 Os métodos clássicos

As ações de forças externas em um corpo elástico provocam solicitações de tensões, deformações e deslocamentos no mesmo. A Teoria da Elasticidade analisa este comportamento, admitindo as hipóteses da teoria clássica, que são:

- Que o material seja homogêneo (propriedades constantes na massa);
- Que o material seja isotrópico (em qualquer ponto as propriedades são as mesmas independente da direção considerada);
- Que o material seja linear-elástico (tensão e deformação são proporcionais).

A propriedade elástica de um corpo pode ser definida como a de não manter as deformações residuais, ou seja, cessada a ação das forças que deformam o material, ele volta a assumir sua forma original. (TIMOSHENKO e GOODIER, 1970).

As cargas aplicadas na superfície de um maciço terroso provocam pressões que são calculadas, admitindo-se a hipótese simplificadora que o maciço seja: semi-infinito, elástico, isotrópico e homogêneo. As cargas transmitidas pelas estruturas se propagam para o interior dos maciços e se distribuem nas diferentes profundidades, como ilustrado na Figura 2.3. O conjunto de curvas/superfícies, que surgem ao submeter o maciço a uma carga concentrada, obtidas ligando-se os pontos de uma mesma pressão (isóbaras) vertical forma o que se chama bulbo de pressões, como indicado nas Figura 2.4 (MARANGON, 2013).

A ação das forças geradas por um veículo trafegando em uma rodovia pavimentada, onde a carga atua sobre a pista, causa estados de tensões e deformações ao longo das espessuras das camadas.

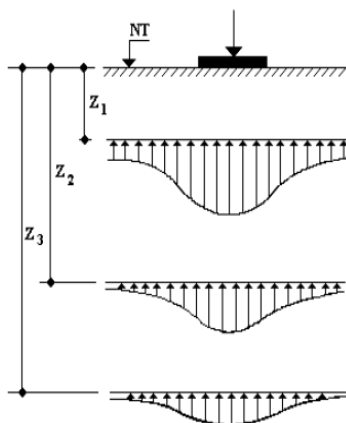


Figura 2.3 - Distribuição de “pressões” de acordo com a profundidade (MARANGON, 2013).

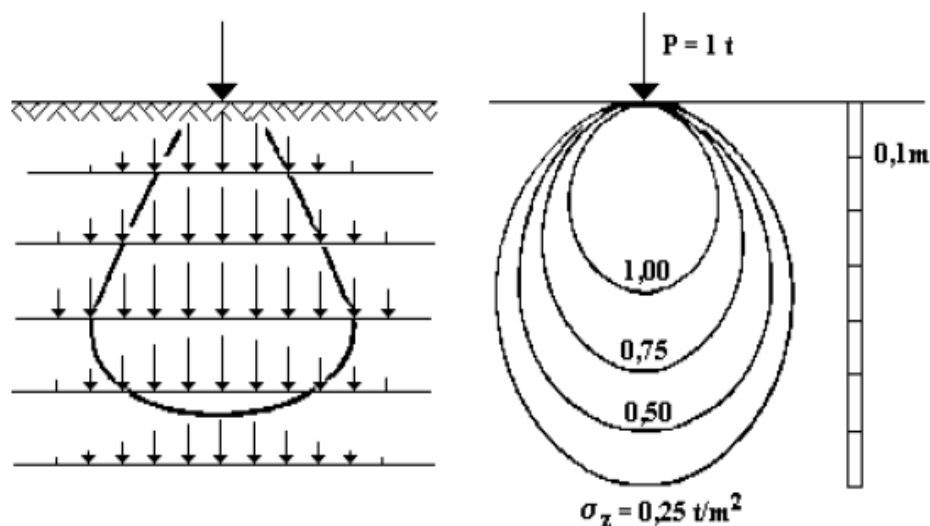


Figura 2.4 - Bulbo de pressões (linhas de igual valor de “pressão”) (MARANGON, 2013).

Os pavimentos flexíveis, considerando a estrutura clássica de base granular e revestimento de concreto asfáltico, deterioram-se pelos seguintes fatores, em conjunto ou isoladamente:

- Dano à fadiga: provocada pelas deformações de tração na fibra inferior do revestimento;
- Deformação permanente ou afundamento de trilha de roda (ATR): consequência das deformações plásticas acumuladas nas camadas, especialmente no subleito.

Um projeto de pavimento é feito de modo a atender fronteiras de deformações permanentes, deformações elásticas excessivas e tensões que possam provocar ruptura por cisalhamento nos materiais.

Assim, ao se dimensionar um pavimento, deve-se determinar o estado de tensões e de deformações atuantes, conforme exemplificado na Figura 2.5, conciliando-o com o estado de tensões e deformações suportáveis para uma determinada vida de projeto. A teoria da elasticidade, aplicada às misturas asfálticas e associada à carga distribuída, com base em modelos matemáticos, em meios homogêneos ou estratificados, possibilita o dimensionamento de estrutura de pavimentos flexíveis de forma mecanístico-empírica (MEDINA & MOTTA, 2005) (Figura 2.6).

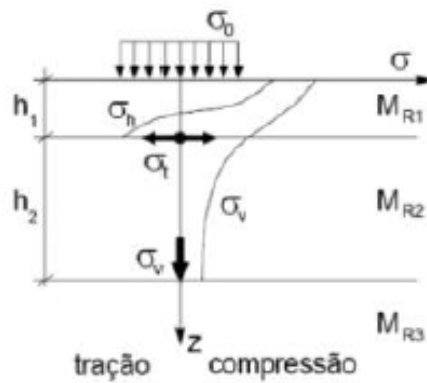


Figura 2.5 - Tensões num pavimento flexível (MEDINA & MOTTA, 2005).

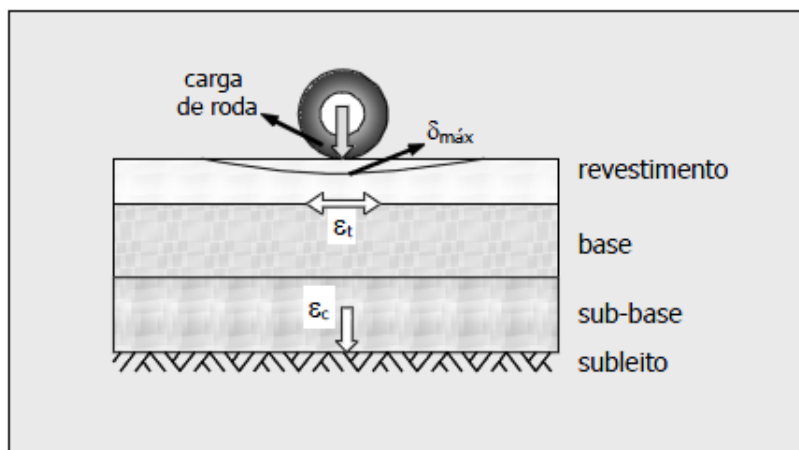


Figura 2.6 - Esquema representativo das tensões, deformações e deslocamentos em pontos críticos de um pavimento asfáltico (FRANCO, 2007).

O conjunto de equações para calcular tensões, extensões e deslocamentos em um meio elástico-linear, semi-infinito, homogêneo e isotrópico, abaixo de uma carga pontual, foi desenvolvido inicialmente por Boussinesq em 1885.

Foram utilizadas nos estudos teórico-experimentais, realizados pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE), as formulações desenvolvidas por Boussinesq, que proporcionaram três aplicações importantes (SILVA, 2014):

- ✓ Obtenção de curvas de cálculo empírico de pavimentos flexíveis;
- ✓ Dimensionamento da carga de roda equivalente para trens-de-pouso de aviões;
- ✓ Aperfeiçoamento de equações matemáticas para as curvas de dimensionamento embasadas no *California Bearing Ratio* (CBR) do subleito.

Vários autores apresentam as equações iniciais de Boussinesq, como por exemplo CORREIA (2014).

Donald Burmister, buscando resolver problemas que se apresentavam nos cálculos de fundações e de pavimentos de aeródromos, se baseou na teoria de Boussinesq, apresentando em 1943 a solução para determinar tensões e deformações em sistemas de duas camadas, conforme apresentado na Figura 2.7.

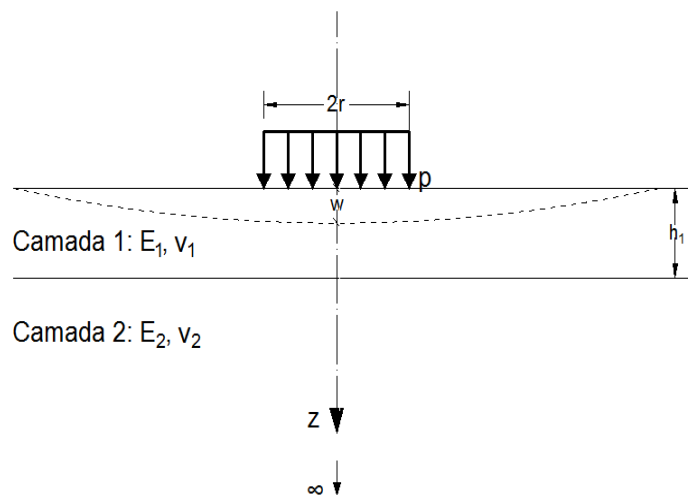


Figura 2.7 - Carregamento circular axissimétrico num sistema de duas camadas (SILVA, 2014).

Para o cálculo dos problemas de elasticidade que seguem esses modelos, as seguintes hipóteses devem ser consideradas (MEDINA e MOTTA, 2015):

- As camadas não têm peso e nem limites na direção horizontal;
- As camadas apresentam uma espessura limitada, exceto a camada inferior que é considerada semi-infinita;
- A lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é idêntico ao de tração;
- Os materiais são elásticos, isotrópicos e homogêneos;
- Na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
- A carga aplicada é aceita como estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato.

Deve-se ainda observar as seguintes condições de fronteira (MEDINA e MOTTA, 2015):

- A face exterior da camada superior não está subordinada a tensões fora da área carregada;
- As tensões e deformações a grandes profundidades deixam de ter efeito;
- Na interface das camadas, as condições de aderência podem se diferenciar de absolutamente aderida para sem aderência.

O Prof. Burmister demonstrou a importante relação entre os módulos das camadas na deformabilidade da estrutura, e, supondo uma estrutura de duas camadas, quanto maior a razão entre o módulo da primeira camada e o módulo da segunda camada (E_1/E_2) menor a deflexão (w) na parte central da área flexível de carregamento, que é calculada pela equação 2.1, visto que o fator de deflexão (F_w) varia com o ponto considerado (SILVA, 2014).

$$W = \frac{1,5p \cdot r}{E_2} \cdot F_w \quad (2.1)$$

onde:

w: deflexão da superfície no centro do carregamento (m);

p: pressão de contato do carregamento circular (MPa);

r: raio do carregamento (m);

E_1 : módulo elástico da primeira camada (MPa)

E_2 : módulo elástico da camada do subleito (MPa);

h_1 : espessura da primeira camada;

F_w : fator de deflexão e é função de r/h_1 e E_1/E_2 .

Se a camada superior for muito menos deformável e se comportar como uma laje, que distribui as tensões lateralmente, verifica-se que as tensões verticais no topo da segunda camada também diminuem com o acréscimo da razão E_1/E_2 . Este efeito de laje se faz à custa de tensões de tração na camada superior (PINTO, 2006).

Ao utilizar este modelo elástico, tem-se o benefício de combinar carregamentos com mais de uma roda, pela premissa da superposição e da hipótese de elasticidade linear. Também é possível encontrar os resultados de tensão, deformação e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura, sem a necessidade de divisão do meio contínuo em Elementos Finitos (FRANCO, 2007).

A aplicação da teoria da elasticidade nos procedimentos mecanístico-empíricos depende do conhecimento dos seguintes parâmetros dos materiais que compõem a estrutura do pavimento: o módulo de resiliência (MR) e o coeficiente de Poisson (ν), que são obtidos em laboratório, mas para pavimentos em uso, podem ser estimados pela interpretação das medidas dos deslocamentos em campo. Dependendo da aplicação a que se destina, se diferencia o grau de sofisticação utilizado na análise. Dessa forma, se o objetivo é a previsão das deflexões do pavimento, a teoria das camadas elásticas tem se apresentado satisfatória. Em contrapartida, quando se almeja prever o desempenho no quesito de acúmulo de deformações permanentes, a consideração de variáveis como a elasto-visco-plasticidade dos materiais pode se tornar relevante (BEZERRA NETO, 2004).

Segundo MEDINA & MOTTA (2015), a extensão da solução apresentada no sistema de duas camadas para o sistema de três camadas exigiu a adoção de faixas de variação para os diferentes parâmetros, de modo que, nos anos seguintes, muitos autores passaram a apresentar soluções gráficas para as equações de Burmister, tais como FOX (1948), ACUM E FOX (1951), JONES (1962) E PEATTIE (1962).

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos diversos programas computacionais baseados na teoria de sistemas de camadas elásticas (TSCE), permitindo a extrapolação da análise para sistemas com um número muito grande de camadas, através do emprego de diferentes métodos numéricos, tais como o Método das Diferenças Finitas (MDF), o Método dos Elementos Finitos (MEF) e o Método das Camadas Finitas (MCF) (VELLASCO, 2018).

2.2.2 Método das espessuras equivalentes de Odemark

A maioria das estruturas dos pavimentos asfálticos não são homogêneas, mas sim heterogêneas, ou seja, constituídas por várias camadas de materiais com propriedades diferentes. As equações de Boussinesq são aplicáveis somente a uma camada homogênea e isotrópica e as de Burmister a duas ou três camadas.

Entretanto, Odemark desenvolveu em 1949 uma metodologia aproximada que possibilita a transformação de um sistema constituído por diversas camadas com módulos distintos em um sistema equivalente onde as espessuras das camadas são alteradas igualando-se os módulos das camadas. Este método é conhecido por “*Method of Equivalent Thickness*” (MET) ou em português, método da espessura equivalente (CORREIA, 2014).

O MET, também conhecido como método Odemark - Boussinesq, calcula as respostas em sistemas multicamadas, transformando as camadas em uma equivalente, para aplicar as fórmulas de Boussinesq.

Considerando um sistema de duas camadas com módulos diferentes, e que o módulo da primeira camada é maior do que o da segunda camada, a primeira é transformada em uma de maior espessura, entretanto, com as características da segunda

camada. Desta maneira se obtém uma única camada equivalente, conforme ilustrado na Figura 2.8.

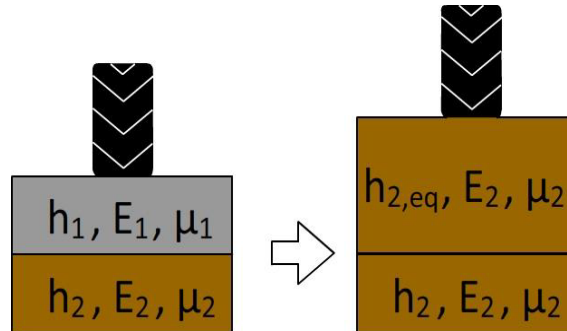


Figura 2.8 - Esquema de transformação da espessura da primeira camada do sistema em uma camada equivalente (TREJOS, 2015).

Vários autores mostram as expressões referentes a este procedimento, tais como CORREIA (2014) e TREJOS (2015).

Para que esta relação de equivalência possa ser utilizada é necessário considerar que a rigidez das duas camadas permanece a mesma (equações 2.2 e 2.3).

$$\frac{I \times E}{(1 - \nu^2)} \quad \text{permanece constante ou} \quad (2.2)$$

$$\frac{\frac{bh^3}{12} \times E}{(1 - \nu^2)} \quad (2.3)$$

Onde: I = momento de inércia; E = módulo da camada (MPa); ν = coeficiente de Poisson; h = espessura da camada; b = espessura da base da camada.

Para mais camadas como demonstrado na Figura 2.9 (a), há uma transformação da espessura da primeira camada em uma espessura equivalente, maior que a original, com o módulo da segunda camada. As mesmas características mecânicas são consideradas na primeira e na segunda camadas e podem ser admitidas como única camada, e assim sucessivamente (Figura 2.9 (b) e (c) segundo TREJOS (2015)).

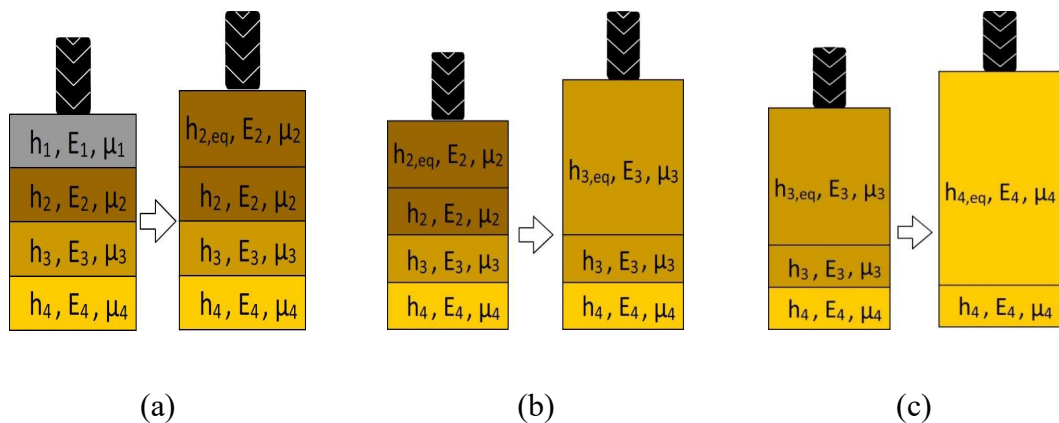


Figura 2.9 - Conversão da primeira camada abaixo do ponto de aplicação da carga em uma camada equivalente (a), conversão da segunda camada em uma camada equivalente (b) e a conversão da terceira camada em uma camada equivalente (c). (adaptado de TREJOS, 2015).

Admitindo-se que a estrutura de um pavimento com várias camadas de módulos conhecidos, pode ser transformada em um sistema equivalente, com um módulo homogêneo para todas as camadas, incluindo a camada semi-infinita do solo de fundação, aplicando o método de Odemark, o passo seguinte é a aplicação das equações de Boussinesq de modo a calcular a tensão, deformação e deslocamentos dentro do sistema de camadas de espessuras equivalentes adotado (CORREIA, 2014).

2.3 Módulo de resiliência

O projeto de um bom pavimento e que faz melhor uso dos materiais locais é aquele que associa os materiais e as espessuras das camadas conforme a rigidez das mesmas, de modo a propiciar uma resposta estrutural do conjunto apropriada com as solicitações do tráfego. A resposta dessa harmonização definirá a vida útil do pavimento (FRITZEN, 2016).

Quando submetidos à ação de cargas externas, os pavimentos sofrem deformações que podem ser classificadas em dois tipos: permanentes (ou plásticas) e recuperáveis (ou elásticas).

Segundo BORGES (2013), as deformações permanentes ocorrem devido aos seguintes fatores:

- Escoamento plástico do material asfáltico, provavelmente decorrente de uma alta quantidade de ligante;
- Excesso de carga aplicada ao pavimento, resultando em uma ruptura por cisalhamento de uma das camadas;
- Dimensionamento inadequado do pavimento;
- Expansão do subleito devido à sua saturação;
- Recalque das camadas de pavimento por conta de problemas construtivos (compactação e drenagem deficientes) ou de altas cargas impostas pelo tráfego, que acarretam o aparecimento de afundamento das trilhas de rodas.

As deformações recuperáveis dependem do comportamento elástico do pavimento, que é caracterizado pela capacidade da estrutura de absorver energia de deformação e dissipá-la quando as cargas externas são cessadas. Neste caso, a deformação recebe o nome de "deformação elástica", enquanto a energia de deformação armazenada no pavimento durante a fase elástica é denominada como "resiliência". Nota-se que toda deformação elástica carrega consigo uma pequena parcela de micro deformações plásticas (BALBO, 2007).

A consideração dos efeitos dinâmicos nas propriedades elásticas dos materiais, bem como a magnitude dos deslocamentos em questão, justifica a modificação do termo módulo de elasticidade pelo termo módulo de resiliência (MR), no caso do pavimento.

A nomenclatura de resiliência foi apresentada por Francis Hveem, em 1955, ao defender o conceito de que os revestimentos asfálticos ("flexíveis") trincavam e esse defeito se devia a repetição de pequenas deformações elásticas (deformações resilientes) nas camadas subjacentes. O termo resiliência foi legitimado para a melhor compreensão de que os deslocamentos nos pavimentos, sob a ação de cargas cíclicas, são muito mais elevados do que os observados em sólidos elásticos que compõem corriqueiras estruturas de engenharia (MEDINA & MOTTA, 2015).

A partir de frequências e tempos de pulso do carregamento, a certa temperatura, relacionados ao volume de tráfego e à velocidade do veículo, os ensaios de cargas repetidas procuram reproduzir as condições de campo. O MR é determinado no ensaio

triaxial de carga repetida, conforme a Figura 2.10, para solos e britas, controlando-se a tensão confinante de forma constante e medindo-se as deformações resilientes provocadas pela aplicação de uma tensão desvio pulsante. Para misturas asfálticas, o MR é determinado no ensaio de compressão diametral. (SILVA, 2014), conforme a Figura 2.1.

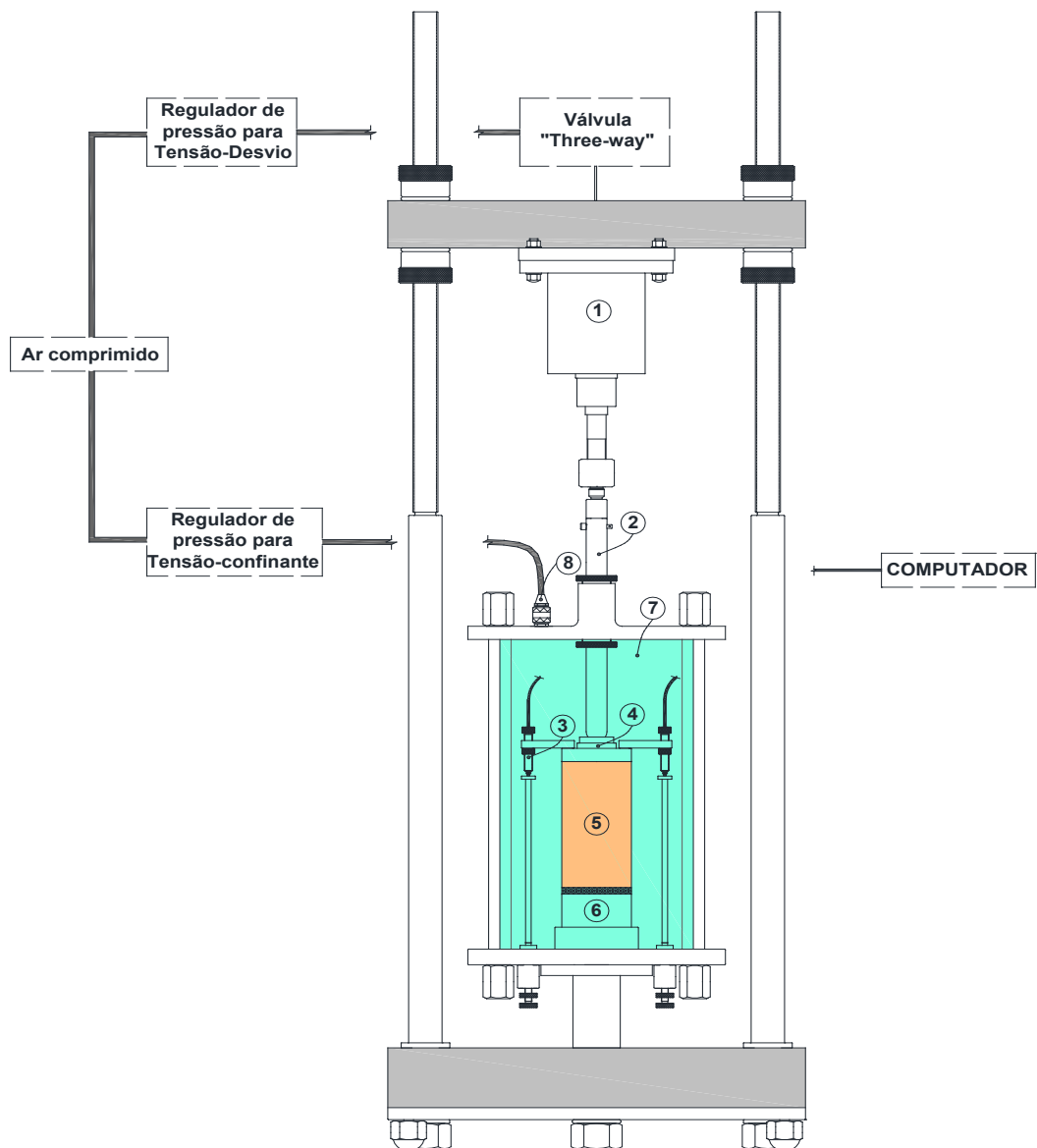


Figura 2.10 - Esquema do equipamento triaxial de carga repetida (DNIT, 2017).

MEDINA & MOTTA (2005) dissertam sobre os procedimentos destes ensaios, a interpretação dos seus resultados e a aplicação destes na prática de engenharia.

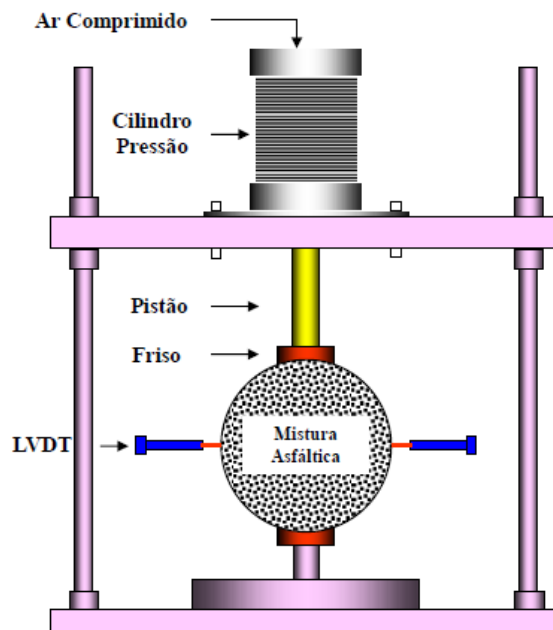


Figura 2.11 - Esquema do equipamento de ensaio de compressão diametral de cargas repetidas (FRITZEN, 2016).

O MR é um parâmetro utilizado tanto no método analítico como no MEF, considerando que ambos os métodos objetivam solucionar um sistema de equações diferenciais que satisfaçam as condições de contorno e se baseiam na teoria da elasticidade. Assim, pondera-se o compromisso entre o rigor analítico dos cálculos e as considerações realizadas na definição e escolha dos parâmetros dos materiais, visto que existe uma grande diferença de tempo computacional entre estes métodos (FRANCO, 2007).

Influenciam o comportamento resiliente dos materiais os seguintes fatores: o estado de tensões, o número de repetições da tensão desvio, histórico das tensões sofridas, duração e frequência de aplicação da tensão desvio, mais as condições intrínsecas - granulometria, tipo de partículas, condições de compactação e grau de saturação (DAROUS, 2003).

2.4 Avaliação de pavimentos

Para o desenvolvimento da avaliação dos pavimentos rodoviários, se considera a sinergia atuante entre os seguintes fatores (HENNADIPGIL *et al.*, 2011):

- Condições estruturais (aptidão de suportar deformações permanentes) - determinada como alteração de forma a volume inalterado, integridade das camadas (fadiga);
- Condições funcionais (domínio sobre a direção veículo e conforto ao rolamento) - eficiência do condutor em manter a direção, não sendo prejudicado por deformações que acumulem água e pelo coeficiente de atrito lateral, distância de frenagem (coeficiente de atrito);
- Estado da superfície do pavimento - tipos de defeitos, grau de severidade e extensão dos mesmos.

FERNANDES (1996) discute a necessidade de avaliação criteriosa sobre a condição do pavimento, adicionando as seguintes observações:

- As análises detalhadas em nível de projeto, quando avaliada a integridade estrutural, devem ser realizadas com equipamentos para medida de deflexão superficial (viga Benkelman e FWD, por exemplo);
- Equipamentos e controles do coeficiente de atrito superficial pneu-pavimento, estão relacionados à segurança;
- Por meio de medidas da irregularidade longitudinal (com aparelhos tipo resposta, ou perfilômetros) nas vias com velocidade acima de 60km/h, avalie-se a qualidade de rolamento da superfície;
- Os levantamentos de defeitos de campo avaliam a condição atual dos trechos que compõem a malha viária, classificando a severidade dos diferentes tipos de deterioração e sua extensão.

2.4.1 Avaliação funcional de pavimentos

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) é o órgão responsável pelas rodovias federais e apresenta especificações para a elaboração da avaliação das condições funcionais. Métodos diferentes para avaliação são utilizados, conforme cada tipo de projeto de restauração do pavimento (FONSECA, 2013).

Basicamente, há dois modos de avaliação funcional da condição do pavimento, classificadas em Subjetiva e Objetiva, detalhadas a seguir:

- Avaliações Subjetivas: São norteadas segundo conceitos qualitativos na definição do estado de degradação em que o pavimento se encontra, onde são atribuídas notas ao pavimento, conforme a norma 009/2003 – PRO que define o valor da serventia atual (VSA).
- Avaliações objetivas: São norteadas segundo conceitos quantitativos, em locais determinados em que os defeitos estão distribuídos, estabelecendo diferentes graus de severidade. Existem diversos procedimentos normalizados para o levantamento de parâmetros que avaliam a condição funcional de um pavimento, por medição da presença de defeitos e irregularidades no trecho objetivamente:
 - ✓ DNIT 006/2003-PRO - gera o Índice de Gravidade Global (IGG);
 - ✓ DNIT 007/2003-PRO - avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos;
 - ✓ DNIT 008/2003-PRO - levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.

Por serem normas antigas e bastante conhecidas não serão totalmente descritas aqui, sendo somente comentadas brevemente.

Normalizada pelo DNIT 009/2003 – PRO, a determinação do Valor de Serventia Atual (VSA), sendo este valor uma medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feito por um grupo de 5 avaliadores qualificados, em 2 veículos de passeio padrão, idênticos, que transitam o trecho em análise, ressaltando-se que o motorista não participa do processo avaliativo. Esses profissionais registram suas opiniões em relação à capacidade do pavimento quanto à suavidade e ao conforto (PEREIRA, 2007). A média da avaliação dos técnicos para o conforto ao rolamento de um veículo, percorrendo em um determinado trecho, em um dado momento da vida do pavimento, representada por

uma atribuição numérica em uma escala de 0 a 5, é chamada de Valor de Serventia Atual (VSA) (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Na curva de serventia dois limites são apontados: o de aceitabilidade e de trafegabilidade (Figura 2.12). Existe um extremo de aceitabilidade das condições de rolamento do pavimento para os usuários, abaixo do qual o grau de conforto passa a ser inadmissível, dependendo da categoria da rodovia e do tráfego (BERNUCCI *et al.*, 2008).

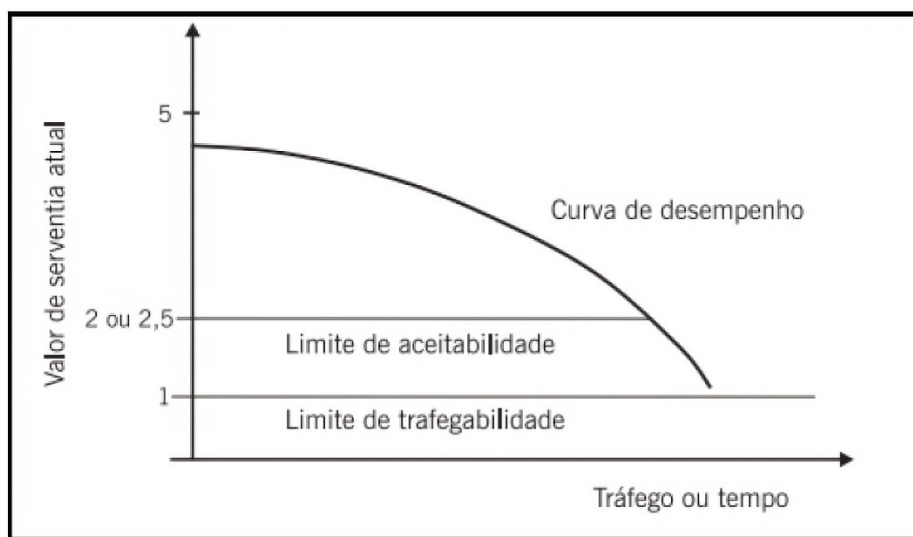


Figura 2.12 - Serventia x tráfego ou tempo de utilização da via (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Entretanto, é válido salientar que não ocorrendo a manutenção necessária na via, ou que a mesma seja ineficiente, o pavimento pode atingir o limite de trafegabilidade, não restando outra alternativa, além da sua onerosa reconstrução (Figura 2.13).

A avaliação da irregularidade longitudinal está diretamente ligada à capacidade da via oferecer ao tráfego segurança, conforto e economia. Considera os desvios de pontos da superfície do pavimento em relação a um plano de referência, medida ao longo da trilha de roda dos veículos. Os perfilômetros, perfilógrafos e veículos equipados com acelerômetros são os equipamentos utilizados nesta avaliação (Figura 2.13). Existem aparelhos tipo resposta que se associam a esse método, chamados integradores (PEREIRA, 2007).

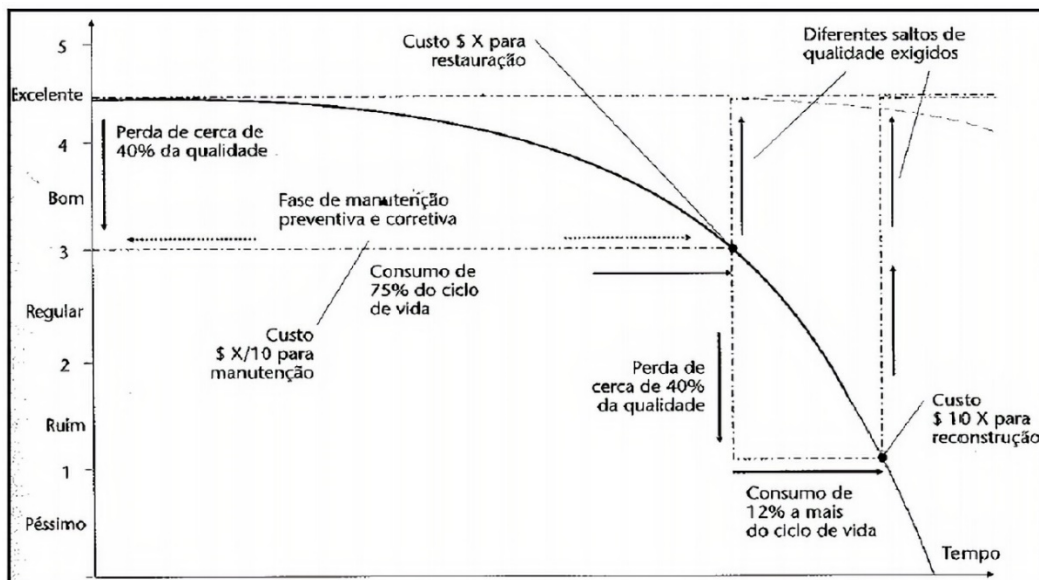


Figura 2.13 - Variação da serventia no tempo (desempenho do pavimento) (BALBO, 2007).

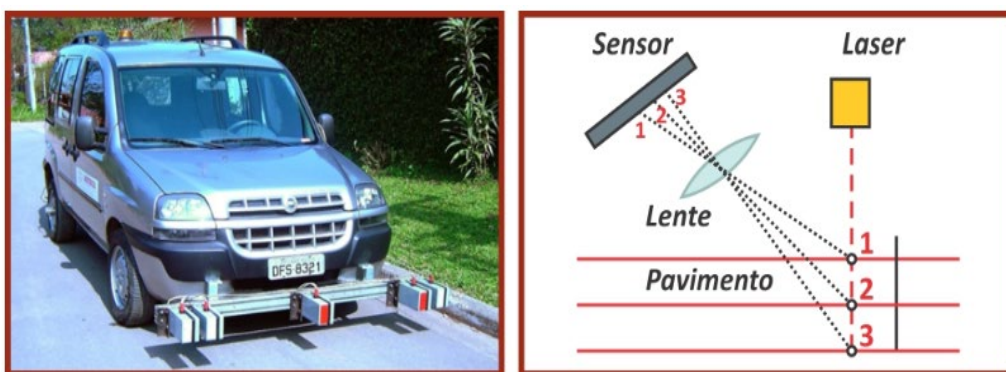


Figura 2.14 - Exemplo de perfilômetro a Laser (Solocap, 2018)

A irregularidade longitudinal do pavimento é o somatório dos desvios, em relação ao plano desejável para o mesmo, que afetam a dinâmica dos veículos e, em consequência, a qualidade do rolamento. Estes desvios também afetam a dinâmica das cargas e a drenagem da rodovia, o que acelera ainda mais o processo de irregularidade, visto que quanto maior a irregularidade, mais prejudicada será a drenagem da rodovia, e pela ação da infiltração da água, será afetado o suporte das camadas inferiores, aumentando a irregularidade (FONSECA, 2013).

Segundo BERNUCCI *et al.* (2008), o Índice de Irregularidade Internacional é a medida de referência atual da irregularidade longitudinal do pavimento e recebe a sigla

IRI (*International Roughness Index*), tendo como tradução direta Índice Internacional de Rugosidade.

O levantamento visual contínuo LVC (DNIT 008/2003 - PRO) é um procedimento de análise em que os avaliadores fazem uma verificação da condição da via com base nos defeitos encontrados, rodando em um veículo a uma velocidade de 40 km/h. Para se obter o resultado LVC, são estabelecidos os cálculos de três índices, específicos que resultam em uma escala de qualidade da condição dos pavimento avaliado.

O índice de Gravidade Global – IGG DNIT 006/2003 – PRO, indica as condições do pavimento estabelecendo uma metodologia para levantamento sistemático dos seus defeitos. As condições da superfície são avaliadas considerando-se uma lista de defeitos e aplicando-se um índice de ponderação em função da gravidade desses defeitos, que, multiplicado pela porcentagem de seções com ocorrência de cada defeito, resulta no índice de gravidade individual. Os índices de gravidade individuais, obtidos para cada defeito, integrados são a definição do Índice de Gravidade Global (IGG) (BERNUCCI *et al.*, 2008). Os critérios de avaliação do IGG são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG (DNIT 006/2003).

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

2.4.2 Avaliação estrutural de pavimentos

As características de resistência e deformabilidade das camadas do pavimento são estudadas por meio da avaliação estrutural, que verifica sua capacidade de carga, sendo usada na tomada de decisão quanto às soluções de projetos de reforços. A partir dos dados obtidos nesta avaliação é possível diagnosticar a causa dos defeitos no pavimento,

direcionando a solução necessária para mitigar a ação dos agentes causadores, a fim de garantir a vida de projeto (FONSECA, 2013).

O conjunto de procedimentos que determinam as respostas da estrutura quando sujeita às cargas do tráfego é conhecido como avaliação estrutural de pavimentos. Expressa em forma de tensões, deformações e deflexões em determinados pontos do pavimento, é possível verificar sua capacidade de resistir aos mecanismos responsáveis pela degradação da estrutura. Tendo em mãos esse diagnóstico, torna-se possível definir quais serviços serão necessários para o restabelecimento das condições admissíveis aos usuários da rodovia (RODRIGUES, 1995).

De acordo com FONSECA (2013), o principal objeto de análise de uma avaliação estrutural são os parâmetros de deformabilidade do pavimento. São separadas em deformações transitórias, ou recuperáveis, e deformações permanentes, ou irreversíveis, causadas pela ação das cargas transmitidas pelas rodas dos veículos.

A repetição do carregamento no pavimento, é a responsável pela fadiga das camadas asfálticas e cimentadas. As deformações recuperáveis são aquelas que acontecem ainda no regime elástico do material, ou seja, os deslocamentos verticais causados pelo carregamento do pavimento são recuperados no descarregamento, e são chamadas, por convenção, de deflexões.

A parte do deslocamento vertical provocado pelas cargas que não se recupera são as deformações permanentes chamadas também de plásticas, tornando-se perene na estrutura. Resultam no afundamento de trilha de roda que pode ser contribuição de todas as camadas e subleito, por ruptura por cisalhamento ou por escoamento plástico.

Vários tipos de equipamentos e procedimentos de avaliações destrutivas, semi-destrutivas e não destrutivas podem ser usados para analisar a capacidade de carga de um pavimento.

Segundo PINTO & PREUSSLER (2002) a principal reação das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento é a deflexão do pavimento. Todas as camadas fletem devido as tensões aplicadas, o que gera as deformações.

Nos métodos destrutivos considera-se a abertura de poços de sondagem no pavimento, para a retirada de amostras das camadas e avaliação das características estruturais, da densidade e da umidade in situ.

Geralmente se emprega uso de pá e picareta, com abertura de poços de 60 centímetros até 1,5 metros de profundidade, podendo avançar mais para a obtenção do nível d'água que afeta as camadas do pavimento. Com as amostras de cada camada são realizados ensaios de laboratório.

O Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos do DNIT, aponta desvantagens para a utilização dessa técnica, listadas na Tabela 2.2:

Tabela 2.2 - Desvantagens para a utilização método destrutivo de avaliação de pavimentos (DNIT, 2006).

Interrupção do tráfego da via por um intervalo de tempo expressivo e danoso
A metodologia destrutiva do ensaio pode induzir algum defeito nas seções do pavimento
Os ensaios não podem ser utilizados em larga escala, considerando os recursos elevados despendidos
Requerem muito tempo e mão- de obra
Os ensaios têm resultados que são representativos somente das condições do material em um ponto específico

Menos danoso para o pavimento é o método semidestrutivo, onde poços de sondagem são abertos com dimensões menores em relação ao método anterior, com medidas que dependem dos equipamentos utilizados. Um dos ensaios que tem sido utilizado é o Cone dinâmico de penetração DCP (*Dynamic Cone Penetration*). Em função da penetração por impacto apresenta alguma correlação com o índice de suporte CBR da camada em questão (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Segundo ANTUNES (1993), de acordo com a forma da aplicação das cargas durante os ensaios, existem dois grandes grupos de equipamentos de avaliação estrutural não-destrutiva: os de carga pontual e de carga rolante. Os de carga rolante são caracterizados pelos equipamentos cuja carga durante o ensaio é aplicada no pavimento pela passagem de um eixo de um veículo pesado como a Viga Benkelman e o curviâmetro. Os equipamentos cuja carga cai de uma determinada altura, e é aplicada num ponto da superfície do pavimento, são denominados de carga pontual, como o FWD.

A viga Benkelman (VB) é um equipamento que permite medir as deflexões de um pavimento, quando sobre este se aplica uma carga, por meio de um pneu de um veículo que se desloca a uma velocidade muito baixa (3 a 4 km/h). No Brasil tem sido usada desde a década de 1960, sendo bastante conhecida e empregada e por isso não será descrita. No entanto, embora possa ser empregada para medir a linha de influência da carga se deslocando em relação ao ponto de medida, é discutível a qualidade destas medidas da chamada bacia de deflexão ou deformada. A Figura 2.15 mostra um modelo de VB sendo usado no campo.



Figura 2.15 - Esquema da utilização em campo da Viga Benkleman (SOLOCAP, 2018).

A imprecisão nas medidas da deflexão em um elevado número de pontos, em um intervalo de tempo razoável, principalmente comparando com outros métodos existentes, como é o caso do deflectômetro de impacto, é uma das principais desvantagens da utilização da VB (NÓBREGA, 2003).

Existem modelos de Viga Benkelman automatizada conhecida como viga eletrônica ou deflectógrafo. Inicialmente desenvolvido no LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) na França, o deflectógrafo Lacroix, permite medir as deflexões

praticamente sem parar, sob a ação da carga quase estática do eixo traseiro de um caminhão.

O deflectógrafo Lacroix é composto por um caminhão de dois eixos com um distanciamento de aproximadamente cinco metros, salientando-se que o eixo traseiro de rodas duplas, quando carregado, pode representar no máximo uma força de 130 kN. Em baixo do caminhão encontra-se uma viga metálica, estabelecendo um plano de referência com três pontos de apoio sobre o pavimento e dois braços captores que podem rodar em torno do plano de referência (Figura 2.16).



Figura 2.16 - Detalhe do deflectógrafo Lacroix (Vectra-Esteio Rodovias, 2012).

Por meio de cabos ópticos, o conjunto de informações reunidas pelos sensores é transmitido a uma central de computação no interior da cabine do veículo, possibilitando assim, o acompanhamento em tempo real das medidas, proporcionando parâmetros como a deflexão máxima, raio de curvatura da bacia, distância percorrida, temperatura do pavimento e o gráfico da bacia de deformação, já calculadas.

A viga eletrônica mais comum, mede a metade da bacia, sem interferência do operador nas leituras. Assim que o veículo de carga começa a se deslocar inicia-se o registro das medições forma automática e, em seguida, transfere-se os dados coletados, via sinal de rádio, para um computador portátil localizado no veículo de apoio. Após breve análise, estes dados são armazenados permanentemente.

O curviômetro permite medir as deflexões no pavimento a uma velocidade máxima de 18 km/h (Figura 2.17). O veículo empregado é um caminhão de dois eixos, sendo o eixo traseiro um eixo de rodas duplas. A carga aplicada varia entre 80 e 130 kN.



Figura 2.17 - Curviômetro (CORREIA, 2014).

Os deflectogramas são obtidos pela integração dos sinais captados em cada sensor, distanciados entre si de cinco metros, ligados a uma corrente com 15 metros de comprimento. Medem as velocidades e acelerações verticais nos pontos da superfície do pavimento, que fornecem os valores da curvatura, ou seja, a bacia deflectométrica. Em cada ponto, lê-se a temperatura do ar e da superfície do pavimento (Figura 2.18).

Equipamentos de carregamento vibratório se caracterizam pela indução de uma vibração harmônica que configura o caráter dinâmico do carregamento por meio da aplicação de uma pré-carga na superfície do pavimento. A alternância do carregamento é obtida através da rotação de dois volantes desbalanceados que giram em sentidos contrários, para o caso do Dynaflex, ou por meio de sistemas eletrohidráulico, como é o caso Road Ratter, em suas distintas versões, e do Vibrador WES-16, do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE) (FONSECA, 2002).

O deflectômetro de impacto mais utilizado simula o efeito da passagem de uma carga de roda em movimento no pavimento sendo conhecido por Falling Weight Deflectometer (FWD). A leitura de deflexão é obtida pela queda de um conjunto de massas, iniciada de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores (Figura 2.19). Foi projetado para tornar o pulso de carga recebido pelo pavimento o mais próximo possível de uma senóide.

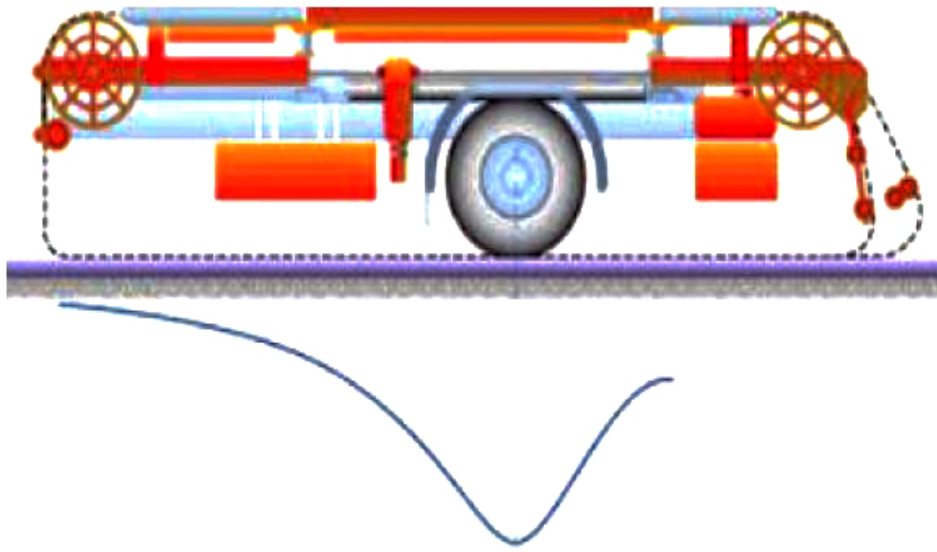


Figura 2.18- Bacia de deflexão obtida pelo ensaio com o Curviâmetro (ROAD SURVEY DEVICE, 2018).

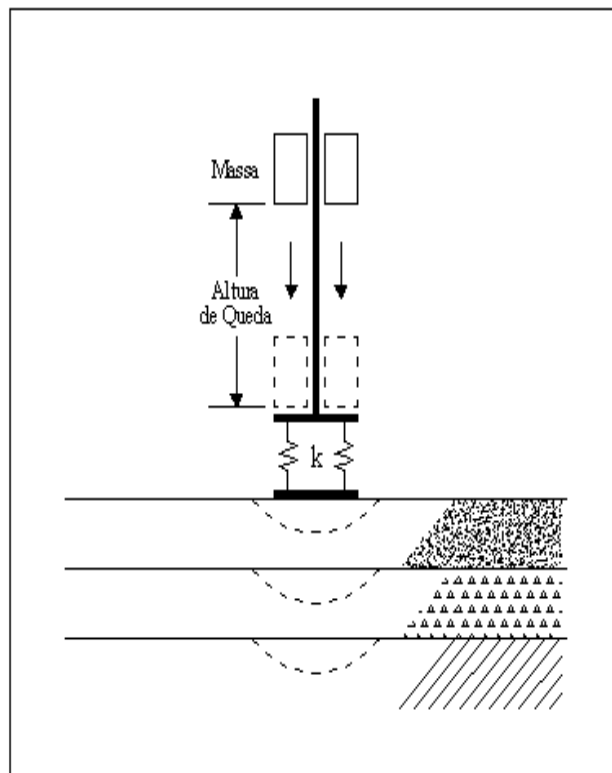


Figura 2.19 - Princípio de funcionamento do FWD (HAAS *et. al.*, 1994).

Equiparando-se, antes de sua queda, a energia potencial da massa, com o trabalho desempenhado pelos amortecedores, depois da queda, se conhece o pico da força exercida sobre o pavimento (CARDOSO, 1995) determinada pela equação 2.4:

$$F = \sqrt{2 \cdot m \cdot g \cdot h \cdot k} \quad (2.4)$$

Onde:

F é a força de pico; m é a massa do peso que cai; g é a aceleração da gravidade; h é a altura de queda; k é a constante de mola do sistema amortecedor.

Estes equipamentos foram concebidos na Europa tornando-se populares nos Estados Unidos, a partir de meados da década de 1980, no estudo de *Long Term Pavement Performance* (LTPP) dentro do *Strategic Highway Research Program* (SHRP) (PEREIRA, 2007).

O método do ensaio é a aplicação de uma força de impulso, gerada pela queda de uma massa ao longo de um eixo vertical existente no equipamento que atua sobre a base rígida. Possui um conjunto de amortecedores que transferem a carga resultante da queda da massa a uma placa rígida que pode ter entre 300 a 450 milímetros de diâmetro. É simulada a passagem de um veículo a uma velocidade entre 60 a 80 km/h.

A resposta da superfície do pavimento é medida por meio de vários sensores, suportados por um reboque, e o primeiro sensor se encontra posicionado no centro da placa. Os sensores restantes são locados a distâncias pré-definidas do centro de aplicação de carga, enfileirados na direção do eixo do reboque, e o número de sensores pode variar de seis a nove. Os deslocamentos verticais da superfície do pavimento são medidos nos pontos de apoio dos acelerômetros. As Figuras 2.20 e 2.21 representam respectivamente o esquema a execução deste ensaio, bem como o detalhe dos sensores do FWD (CORREIA, 2014).

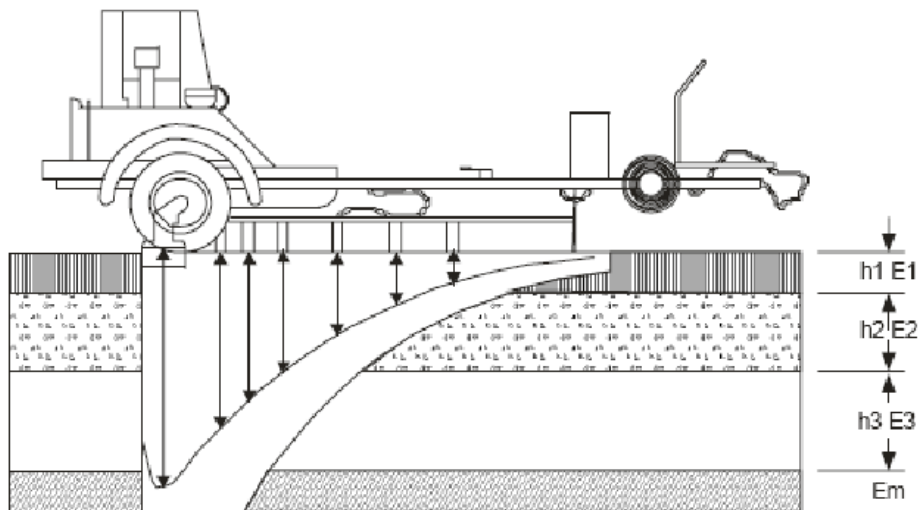


Figura 2.20 – Esquema de um Deflectômetro de Impacto FWD (DNIT, 2006).

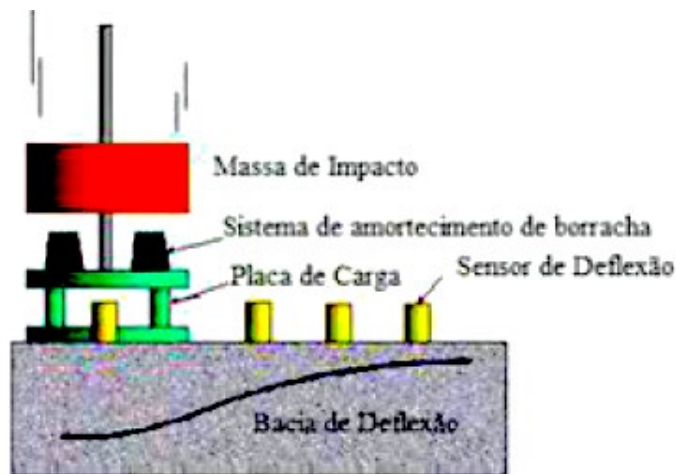


Figura 2.21 - Representação esquemática do FWD (detalhamento dos sensores (CORREIA, 2014)).

As ondas induzidas que se propagam pelas camadas do pavimento, são medidas por sensores que enviam os dados a um computador, que fornece as leituras de deflexão em cada geofone, no caso do FWD da Dynatest (Figura 2.22) ou LVDT, no KUAB (Figura 2.23). Simultaneamente, são registrados os valores de temperatura da superfície do revestimento e do ar, a força aplicada ao pavimento e a distância percorrida.

O afastamento dos acelerômetros, bem como a dimensão da placa metálica podem ser alterados em função da rigidez do pavimento, que resulta em bacias mais espreadas

ou mais concentradas. Entretanto, é comum que se adotem espaçamentos de: 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 150 cm (FONSECA, 2002).



Figura 2.22- Exemplo de FWD - equipamento Dynatest (DYNATEST, 2018).



Figura 2.23 - Exemplo do equipamento FWD KUAB (KUAB, 2018).

Os fatores influenciadores principais na magnitude obtida nos medições de deflexão são: ambiental (temperatura e umidade), carregamento (geometria, forma e valor

da carga), pressão de inflação do pneu (VB), posição do ponto de medida em referência ao ponto de aplicação de carga, bem como peculiaridades do próprio pavimento como espessura, posição e rigidez das camadas (FONSECA, 2013).

Segundo MACÊDO (1996), as medições da deflexão obtidos nos vários pontos com FWD apresentam uma defasagem quanto ao momento de aplicação da carga, o que ocasiona uma diferença de fase na leitura dos sensores, como um *delay* (atraso).

Segundo PINTO & DOMINGOS (2001), as principais vantagens na utilização do FWD para a auscultação do pavimento são as seguintes:

- Boa margem de precisão na medição de deflexões e reduzida dispersão das medições;
- É factível a aplicação de vários níveis de carga no mesmo ponto;
- Independentemente das condições climáticas, é um ensaio de execução simples e rápida;
- Distância entre pontos pré-estabelecidos definidos e aferição e registro automáticos da temperatura do ar e do pavimento.

2.5 Segmentos homogêneos

A análise estrutural é realizada, na maioria das vezes, em trechos com grande extensão, sendo inviável, por aspectos de ordem executiva, construtiva e financeira, se promover o diagnóstico a cada estaca do trecho em estudo, embora no caso de zonas de comportamento anômalo, seja necessária esta prática. Porém, torna-se conveniente se promover a análise em segmentos que representem um número expressivo de subtrechos com características semelhantes, que são agrupados nos chamados segmentos homogêneos (NÓBREGA, 2003).

Os segmentos homogêneos podem ser delimitados a partir de levantamentos deflectométricos utilizando-se a metodologia estabelecida pela AASHTO (1993) obedecendo a construção gráfica apresentada na Figura 2.24. Esse procedimento faz uso do método das diferenças acumuladas, que consiste em cálculos que obedecem a sequência descrita a seguir (BERNUCCI *et al.*, 2008).

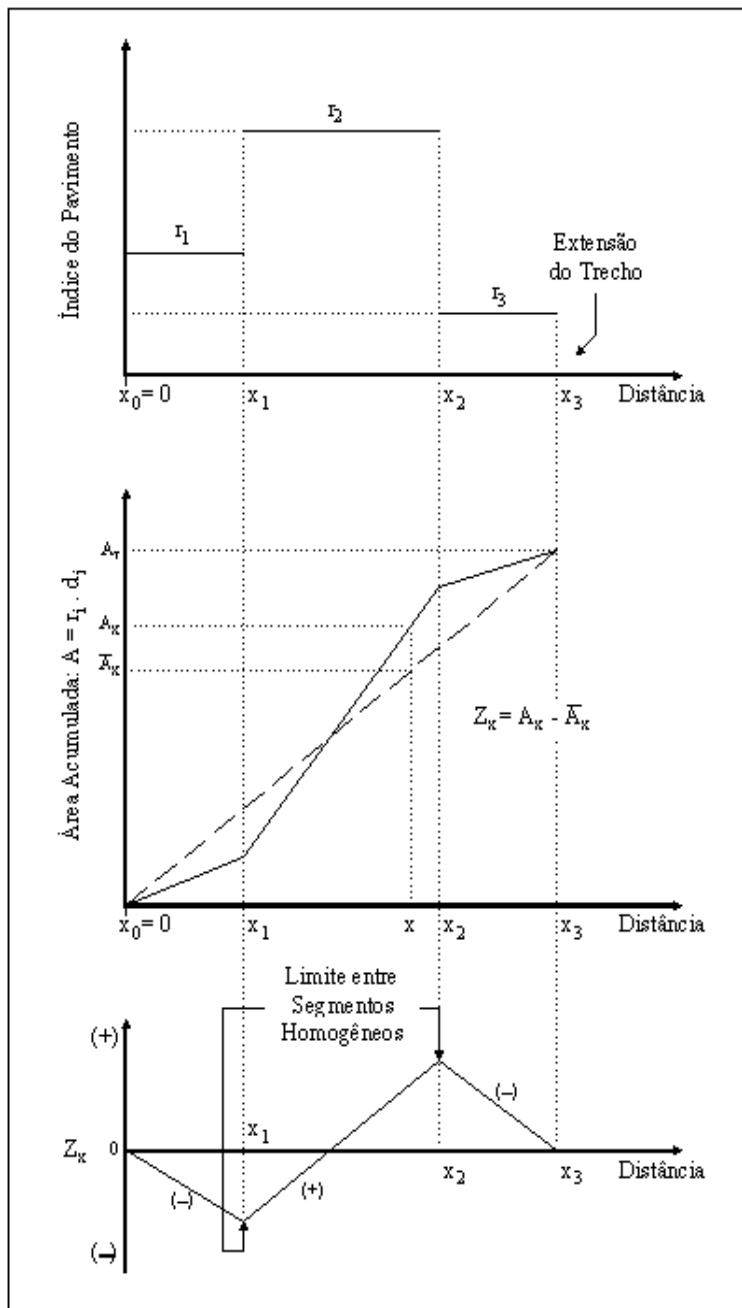


Figura 2.24 - Método das diferenças acumuladas para separar trechos homogêneos (AASHTO, 1993).

Primeiramente o valor médio da deflexão para todo o trecho (D) considerado é calculado, e em seguida a diferença entre cada valor individual e o valor médio também. Calculam-se os valores acumulados das diferenças e por fim constrói-se um gráfico, onde nas abscissas são as distâncias e nas ordenadas os valores acumulados das diferenças.

Uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro é indicada, pela oscilação de coeficiente angular da curva plotada, delimitando as extremidades dos segmentos homogêneos. Analiticamente, deve-se proceder a sequência de equações 2.5 a 2.10, conforme indicado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Sequência de cálculo para delimitação do trecho homogêneo pela metodologia da AASHTO (1993) (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Deflexão média:	
	$Di_{méd} = \frac{D(i-1) + Di}{2} \quad (2.5)$
Onde: Di = deflexão na estaca i;	
Área entre estações e curva:	
	$Ai = Di_{méd} \times \Delta li \quad (2.6)$
Onde: Dli = distância entre estações.	
Área acumulada:	
	$Ac = \sum_{i=1}^n Ai \quad (2.7)$
Distancia acumulada:	
	$LC = \sum_{i=1}^n \Delta li \quad (2.8)$
Diferença acumulada:	
	$Zi = \sum Ai - tg\alpha \sum \Delta li \quad (2.9)$
Onde:	
	$tg\alpha = \frac{Ac}{Lc} \quad (2.10)$

Segundo o DNIT (2003), a extensão máxima ideal para um subtrecho homogêneo é de 2.000 m e, por razões de cunho construtivo, a extensão mínima é de 300m. É utilizada para esta separação de segmento homogêneo (SH) a deflexão máxima obtida no ponto de aplicação da carga, no caso do uso do deflectômetro de impacto, que coincide com o centro da placa rígida.

2.6 Retroanálise em pavimentos asfálticos

De forma empírica, foram desenvolvidos os métodos usuais de dimensionamento de pavimentos, novos ou de reforço, apresentando uma grande desvantagem que é a limitação do seu uso, podendo ser utilizados só em casos similares ao do seu desenvolvimento. Entretanto, com o aprimoramento dos programas computacionais, o dimensionamento passou a se basear na teoria da elasticidade, em que os principais parâmetros necessários ao cálculo são o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson (MEDINA & MOTTA, 2015).

A abordagem mecânica dos problemas pertinentes ao dimensionamento de pavimentos de rodovias e aeroportos, utiliza o conhecimento da resposta da estrutura às cargas que promovem a fadiga e as deformações permanentes, assim como fatores climáticos. Para esta interpretação são necessárias as características mecânicas das diversas camadas que constituem o sistema pavimento-subleito, traduzidas pelos módulos de resiliência, coeficientes de Poisson e espessuras das camadas (FONSECA, 2002).

Uma forma de se obter os parâmetros elásticos dos materiais das camadas de um pavimento em uso é analisar a bacia de deflexão, usando procedimento conhecido como retroanálise.

MEDINA e MOTTA (2015) explicam a retroanálise da seguinte forma:

Ora, ao se fazer uma medida de deflexão num certo ponto do pavimento, sabe-se que esta deflexão resulta da contribuição de todas as camadas, e, portanto, está vinculada aos módulos de elasticidade das mesmas. Assim a retroanálise, nada mais é do que se resolver o problema inverso em relação ao dimensionamento de um pavimento novo, ou seja, têm-se as deformações resultantes de um carregamento conhecido e deseja-se conhecer os módulos que conduziram àquelas deformações elásticas.

A relação entre as tensões e as deformações nas camadas do pavimento que o módulo de resiliência representa, pode ser determinada de duas formas: em laboratório, através do ensaio triaxial dinâmico (solos) e de compressão diametral (misturas asfálticas, materiais cimentados); e analiticamente, por meio do procedimento da retroanálise, com

base nas bacias deflectométricas obtidas sobre a superfície do pavimento (NÓBREGA, 2003). Assim sendo, o procedimento de estimativa de módulo resiliente com base em avaliações não destrutivas é denominado retroanálise.

Além de exigir um investimento considerável, a aquisição das características mecânicas de pavimentos em uso, por meio de ensaios de laboratório, apresenta o inconveniente de reprodução das condições reais de campo, bem como, a necessidade de intervenção destrutiva em vias existentes e em operação, acarretando situações críticas de segurança e de interferência na capacidade operacional da via (FONSECA, 2002).

A retroanálise é uma metodologia em que são aferidos analiticamente valores de módulos de elasticidade das camadas do pavimento, e de modo igualmente analítico, as respostas das deflexões simuladas que se aproximem o máximo possível das medidas de deflexões obtidas em campo, para um carregamento conhecido (BALBO, 2007).

A relação entre as deformações específicas radiais (horizontais) e axiais (verticais) dos materiais é denominada como coeficiente de Poisson. Sua influência nos valores das tensões e deformações calculadas é de baixa magnitude, exceto no caso das deformações radiais, as quais lhe são proporcionais. Este valor é adotado para cada material, na maioria das vezes, quando se usa programas de cálculo de tensões e deformações em pavimentos. (NÓBREGA, 2003).

O método para avaliação estrutural de pavimentos rodoviários, inicialmente, era baseado unicamente na medição da deflexão máxima. Na década de 1970, o reconhecimento de que somente as deflexões máximas não eram suficientes para definir as condições estruturais dos pavimentos começou a se consolidar. Partindo dessa premissa, um novo dado foi considerado como necessário para esta caracterização: a bacia de deflexão. O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa, é um exemplo de instituição, que neste período, já desenvolvia um método de retroanálise para pavimentos rodoviários considerando a deflexão máxima e a forma da bacia, confrontando analiticamente esta linha de influência obtida no campo, com linhas teóricas tabeladas para sistemas de duas e três camadas (ALBERNAZ, 1997).

Foram realizadas pesquisas no Brasil, de 1977 a 1982, na COPPE/UFRJ em colaboração com o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR/DNER), para estabelecer uma rotina de projeto mecanístico-empírico de reforço de pavimento, objetivando a previsão do levantamento das medidas de deflexões no pavimento, de deflexão máxima e bacia deflectométrica. Complementando esse procedimento, foram realizadas sondagens nas camadas do pavimento, determinando *in situ* a umidade e densidade, e a coleta de material para realização de ensaios laboratoriais de módulo de resiliência, tanto quanto possível, nas condições de campo. Esses módulos foram inseridos no programa FEPAVE, que verificava as estruturas de pavimento solicitadas pelo carregamento padrão em função de tensões e deformações nas camadas. As bacias teóricas eram comparadas com as de campo. Assim, se calculava a camada de reforço de forma iterativa, aceitando determinadas características, como espessuras e parâmetros estruturais representadas por um determinado valor de módulo de resiliência do material novo do revestimento a ser colocado. Por fim, a conclusão dessa rotina, era calcular os novos estados de tensões e deformações para as estruturas projetadas, comparando-as com os valores admissíveis para as condições de projeto (FONSECA, 2013). Este desenvolvimento resultou no PRO 269/94 de projeto de reforço. Parte desta rotina é assumida atualmente nos programas de retroanálise. Os métodos de retroanálise são classificados normalmente em iterativos e simplificados.

A retroanálise é um procedimento de avaliação mecanística, baseada em análises lineares elásticas de deflexões na superfície do pavimento, de modo geral. Deflexões que são obtidas em campo são comparadas às deflexões calculadas, adotando-se como admissível um determinado erro. Os módulos necessários para esta aproximação são determinados, caracterizando o processo de retroanálise. As bacias de campo geralmente são medidas com equipamentos tipo VB, automatizada preferencialmente, ou FWD.

Resumidamente, a retroanálise em pavimentos é baseada nos conceitos gerais da Teoria da Elasticidade aplicada aos sistemas em camadas, cujo pilar está baseado na teoria original de Boussinesq, Barber, Burmister, Odemark e outros pesquisadores. A resposta dos módulos de elasticidade por retroanálise, baseia-se na interpretação do deslocamento da superfície do pavimento quando submetida a um carregamento (bacia de deformação) (PEREIRA, 2007).

Cada seção de pavimento levantada, possui suas próprias características, de módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e espessuras distintas e desconhecidas. Objetivando contornar este problema, geralmente são adotados valores de espessuras h das camadas, estimados os valores de densidade γ e coeficiente de Poisson μ , sendo calculado apenas o módulo de resiliência. Entretanto, ainda que se adote variadas simplificações, o problema não garante uma solução fechada, ou seja, várias configurações estruturais podem resultar numa mesma bacia deflectométrica (MEDINA *et al.*, 1994).

Segundo NÓBREGA (2003), os valores adotados para as espessuras das camadas e para módulo inicial ou semente, interferem diretamente neste tipo de cálculo. O critério de convergência usado também pode ser incluído nesse cômputo, bem como a umidade, temperatura e elasticidade não-linear das camadas granulares e forma de aplicação da carga.

A retroanálise apresenta, de maneira geral, benefícios consideráveis, dos quais se pode citar (ALBERNAZ, 1997):

- Possibilita uma comparação analítica do comportamento estrutural de segmentos de uma mesma ou de diferentes rodovias;
- Possibilita a concepção de projetos fundamentados de maneira mais confiável, o que evita restaurações prematuras e de altos custos de manutenção e ou restauração;
- Indica a presença de possíveis camadas rígidas no subleito, subsidiando dados para projetos de drenagem;
- Viabiliza a elaboração de projetos com melhor relação custo-benefício e pavimentos mais duráveis.

Ao longo dos anos, pesquisadores e profissionais desenvolveram abordagens para retrocalcular módulos das camadas de pavimento e de subleito, bem como programas para executar estes cálculos. Segundo a *Federal Highway Administration* (FHWA, 2017), a Tabela 2.4 resume alguns dos programas utilizados ao redor do mundo bem como suas rotinas de análises de tensão e deformação, método de retroanálise, número de camadas calculadas e dados de entrada para o cálculo.

Tabela 2.4 - Programas de retroanálise utilizados ao redor do mundo (FHWA, 2017).

Program Name	Latest Version	Developer	Public Domain	Pavement Type	Forward Calculation Method	Forward Calculation Subroutine	Backcalculation Method	Nonlinear Analysis	Layer Interface Analysis	Maximum Number of Layers	Seed Moduli	Range of Acceptable Modulus	Ability to Fix Modulus	Convergence Scheme	Error Weighting Function
BAKFAA	N/A	Federal Aviation Administration (FAA)	Yes	Rigid/Flexible	Multilayer Elastic Theory	LEAF	Iterative	No	Variable	5	Required	Required	Yes	Sum of squares of absolute error	Yes
BISDEF©	N/A	USACE-WES	No	Flexible	Multilayer Elastic Theory	BISAR	Iterative	No	Variable	Number of deflections; best for 3 unknowns	Required	Required	Yes	Sum of squares of absolute error	Yes
BOUSDEF	2.0	Zhou et al. (Oregon State)	No	Flexible	Equivalent Thickness	MET	Iterative	Yes	Fixed (rough)	At least 4	Required	Required	NA	Sum of percent errors	N/A
CHEVDEF	N/A	USACE-WES	Yes	Flexible	Multilayer Elastic Theory	CHEVRON	Iterative	No	Fixed (rough)	Number of deflections; best for 3 unknowns	Required	Required	Yes	Sum of squares of absolute error	Yes
COMDEF	N/A	USACE-WES	No	Composite	Multilayer Elastic Theory	BISAR	Database	No	Fixed (rough)	3	No	No	N/A	Various	No
DBCONPAS	N/A	Tia et al. (University of Florida)	No	Rigid	Finite Element	FEACONS III	Database	Yes	N/A	2	No	No	N/A	N/A	N/A
DIPLOBACK	N/A	Khazanovich and Roesler	No	Composite	Multilayer Elastic +Westergaard	Neural Networks	Closed Form Solution	No	N/A	3	No	No	No	Closed form solution	N/A
ELMOD®/ELCON	5	Ullidtz (Dynatest®)	No	Flexible/Rigid	Equivalent Thickness/Finite Element	MET	Iterative	Yes (subgrade only)	Fixed (rough)	4 (exclusive of rigid layer)	No	No	Yes	Relative error of 5 sensors	No
ELSDEF	N/A	Texas A&M, USACE-WES	No	N/A	Multilayer Elastic Theory	ELSYM5	Iterative	No	Fixed (rough)	Number of deflections; best for 3 unknowns	Required	Required	Yes	Sum of squares of absolute error	Yes
EMOD	N/A	PCS/Law	No	N/A	Multilayer Elastic Theory	CHEVRON	Iterative	Yes (subgrade only)	Fixed (rough)	3	Required	Required	Yes	Sum of relative squared error	No
EVERCALC©	5.0	Mahoney et al.	Yes	Flexible	Multilayer Elastic Theory	WESLEA	Optimization	Yes	Fixed (rough)	4 (exclusive of rigid layer)	Required if more than 3 layers	Required	Yes	Sum of absolute error	Yes
FPEDD1	NA	Uddin	No	NA	Multilayer Elastic Theory	BASINF	Iterative	Yes	Fixed (rough)	NA	Program Generated	NA	NA	NA	No
ILLI-BACK	NA	Ioannides	No	Rigid and	Closed Form	Closed Form	Closed Form	No	No	2	No	No	No	Closed	NA

Tabela 2.4 – Continuação.

Program Name	Latest Version	Developer	Public Domain	Pavement Type	Forward Calculation Method	Forward Calculation Subroutine	Backcalculation Method	Nonlinear Analysis	Layer Interface Analysis	Maximum Number of Layers	Seed Moduli	Range of Acceptable Modulus	Ability to Fix Modulus	Convergence Scheme	Error Weighting Function
				Composite	Solution	Solution	Solution							form solution	
ISSEM4	NA	Ullidtz, Stubstad	No	NA	Multilayer Elastic Theory	ELSYM5	Iterative	Yes (finite cylinder concept)	Fixed (rough)	4	Required	Required	Yes	Relative deflection error	No
MICHBACK©	NA	Harichandran/ Michigan State	Yes	Flexible/ Composite	Multilayer Elastic Theory	CHEVRONX	Raphson-Newton Method	No	NA	3 + rigid layer	Required	Required	Yes	Least squares	Yes
MODCOMP©	6	Irwin, Szebenyi	Yes	Flexible	Multilayer Elastic Theory	CHEVRON	Iterative	Yes	Fixed (rough)	2 to 15 layers; maximum of 5 unknown layers	Required	Required	Yes	Relative deflection error at sensors	No
MODULUS	6.0	Texas Transportation Institute	Yes	Flexible	Multilayer Elastic Theory	WESLEA	Database (Optimization)	No	Fixed	4 plus rigid layer	Required	Required	Yes	Sum of relative squared error	Yes
PADAL	2	Brown et al.	No	NA	Multilayer Elastic Theory	NA	Iterative	Yes (subgrade only)	Fixed	NA	Required	NA	NA	Sum of relative squared error	NA
PCASE	2.08	USACE	Yes	Rigid/ Flexible/ Composite	Multilayer Elastic Theory	LEEP/ WESLEA	Iterative	No	Variable	5	Required	Required	Yes	Sum of squares of absolute error	Yes
RPEDD1	NA	Uddin	No	Rigid	Multilayer Elastic Theory	BASINR	Iterative	Yes	Fixed?	NA	Program Generated	NA	NA	NA	No
WESDEF	NA	USACE-WES	Yes	Flexible	Multilayer Elastic Theory	WESLEA	Iterative	No	Variable	4 + rigid layer	Required	Required	Yes	Sum of squares of absolute error	Yes

2.6.1 *Estimativa dos módulos semente e da espessura da Camada*

A deflexão medida de um pavimento pode convergir para um ou mais valores de módulos de elasticidade, mostrando que não existe uma solução única para o ajuste das bacias de deflexão, usando processos iterativos e programas computacionais. Entretanto, se os materiais que constituem as várias camadas do pavimento forem conhecidos, é possível introduzir valores “semente” que permitem otimizar os resultados. Em alguns programas que possuem esta opção, pode-se estabelecer limites inferiores e superiores para os módulos calculados ao longo das várias iterações realizadas pelos programas de retroanálise. Assim, o usuário deverá avaliar o resultado da análise, impedindo que a solução final obtida seja fisicamente inadequada face aos materiais existentes no pavimento, mesmo que o ajuste esteja matematicamente correto e com percentagens de erro reduzidas. A introdução de valores “semente” mais coerentes com o conhecimento dos materiais também facilita o processo de convergência para a solução final, reduzindo as iterações necessárias para obter os resultados calculados pelos programas, agilizando o tempo de processamento (CORREIA, 2014).

As espessuras das várias camadas do pavimento são consideradas constantes nos programas de retroanálise e o grau de rigor do seu conhecimento é essencial para se obter estimativas corretas dos módulos de deformabilidade. Todavia, assumir constante a espessura na maioria das retroanálises, é resultado de limitação de software ou tempo restrito para execução do trabalho. Camadas de superfície com espessura inferior a 5 cm podem ter pouca precisão quando caracterizadas com os dados de deflexões obtidos com o FWD, devido à geometria do carregamento e o sistema de medida (ULLIDTZ & COETZEE, 1995).

Na prática, espessuras constantes de camadas em pavimentos em grandes extensões podem não ocorrer devido às variações que resultam de vários detalhes de construção e manutenção, mesmo sob condições de controle especiais. Em alguns casos, a variação dos módulos retroanalizados sofre pequena influência das espessuras das camadas, mas sempre que possível deve-se tentar obtê-las. Por cautela, com dados históricos ou não, deve-se obter a espessura das camadas também por sondagens, com o

objetivo de medir as espessuras das diferentes camadas asfálticas, camadas granulares e solo de fundação ou usando radar de prospecção (GPR - *Ground Penetrating Radar*).

A rigidez da camada de um pavimento é representada por meio da retroanálise, de acordo com seu grau de influência nas deflexões. Camadas com espessura delgada (fina) contribuem apenas com uma reduzida parcela das deflexões totais, o que pode resultar em baixa precisão nos valores retroanalizados obtidos (PEREIRA, 2007).

Essa dificuldade nos processos de retroanálise, advém da impossibilidade dos programas estimarem módulos de deformabilidade adequados para as camadas superficiais com menos de 5 centímetros de maneira geral. Se existem à superfície do pavimento camadas muito delgadas, é recomendado juntar todas as camadas numa única camada para efeito de dados de entrada nos softwares de retroanálise. Esta alternativa se baseia no fato de que para se efetuar com sucesso a retroanálise, é essencial que a deflexão superficial seja sensível ao módulo de cada camada, ou seja, que a deflexão calculada decresça significativamente quando o módulo de deformabilidade aumenta durante o processo iterativo do ajuste das bacias de deflexão. Caso a deflexão não tenha sensibilidade à variação do valor do módulo, o seu valor permanecerá igual, independentemente do valor do módulo da camada, impossibilitando o programa de convergir para uma solução realista (CORREIA, 2014).

Conclui-se que a rigidez de uma camada, ou seja, a combinação de sua espessura e módulo, necessariamente obedeça a uma magnitude significativa (comparada com outros componentes do pavimento) para influenciar nas deflexões da superfície. Caso não se analise esta questão, as aproximações de retroanálise não obterão êxito nas identificações das contribuições das camadas (PEREIRA, 2007).

Um outro ponto de cuidado é a detecção de presença de uma camada rígida no subleito. A camada rígida é conhecida convencionalmente como aquela em que abaixo da mesma há pouca ou nenhuma contribuição visível para as deflexões de superfície medidas. Possivelmente, constituem-se no problema mais comum encontrado na estimativa das bacias de deflexões. Concretamente, pode ser constituída por rocha ou outro material rígido, sendo observados o mesmo efeito em solos saturados ou em locais onde o lençol freático encontra-se próximo à superfície (PEREIRA, 2007).

Frequentemente, o solo de fundação é adotado como camada infinita deformável no modelo do pavimento. Ao se modificar esta hipótese, admitindo a presença de camada rígida, modifica-se os deflectogramas calculados pelos programas de retroanálise.

Introduzir uma camada rígida no modelo é o mesmo que presumir que abaixo da desta é inexistente ou mínima a deflexão, a tal ponto que não deva ser considerada qualquer contribuição para as deflexões medidas à superfície do pavimento.

As deflexões calculadas à superfície são a resposta das deformações dos distintos materiais na zona de tensões, induzida pela carga aplicada à superfície do pavimento. Assim sendo, as deflexões superficiais medidas a uma distância pré-estabelecida da aplicação da carga são a aproximação do resultado direto das deformações dos vários materiais dentro da zona de tensões correspondentes, tal como apresentado na Figura 2.25 para um ensaio com o FWD (ROHDE E SCULLION, 1990).

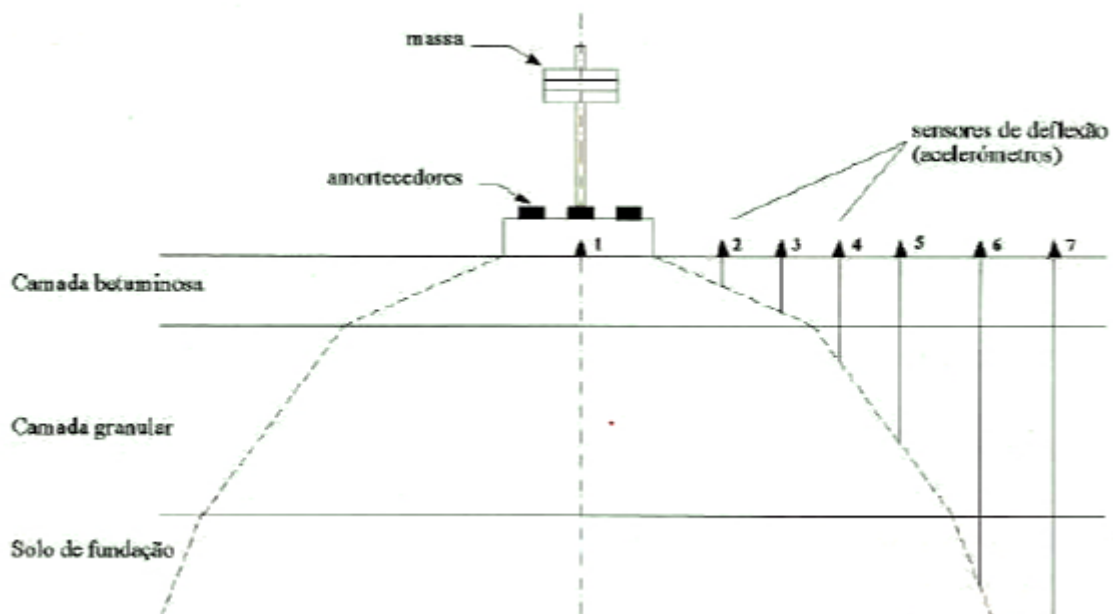


Figura 2.25 - Deflectômetro de impacto (FWD) e zonas de tensão (CORREIA, 2014).

Por meio de tensões induzidas geradas pela queda do peso do FWD, pode-se verificar a resposta de todo pavimento, que reage de diferentes formas, conforme a distribuição dos esforços em cada camada. Cada sensor, de maneira independente, mede o valor do deslocamento da superfície do pavimento nessa zona, cuja correspondência

2.6.2 Interdependência entre a camada granular e o subleito

Os programas de retroanálise têm como objetivo estimar os módulos de deformabilidade das camadas que constituem o pavimento, ajustando o deflectograma calculado para dados próximos das deflexões medidas pelo FWD. Entretanto, é importante salientar que os módulos das camadas que constituem o pavimento não são independentes uns dos outros, sendo esta relação representada por exemplo por E_2/E_3 sendo E_2 o módulo elástico da segunda camada (base), e E_3 o módulo de elasticidade da terceira camada (de subleito) (DORMON AND METCALF, 1965).

Essa relação pode ser assumida entre duas camadas não aderidas e demonstra que quanto mais rígido for o suporte de uma camada não aderida maior será o seu módulo de deformabilidade.

Segundo CORREIA (2014), K_2 pode ser representado pela seguinte equação (2.11):

$$K_2 = 0,2 \times h_g^{0,45} \quad (2.11)$$

Assim a equação final de relação entre módulos (2.12) se apresenta da seguinte forma:

$$\frac{Eg}{ES} = 0,2 \times h_g^{0,45} \quad (2.12)$$

Onde:

Eg é o módulo da camada granular com uma determinada espessura h_g (mm);

Es é módulo da camada do solo de fundação.

Alguns resultados obtidos por programas de retroanálise podem não ser soluções fisicamente coerentes, considerando que, de modo geral, tentam apenas obter ajustes entre dados calculados e medidos com o menor erro possível em termos matemáticos. Poucos

softwares desta natureza oferecem a opção de se introduzir a razão entre módulos de camadas adjacentes, possibilitando a inclusão da interdependência das camadas não aderidas. Assim sendo, os resultados obtidos pelos programas de retroanálise devem ser balizados, quando possível, também em função da interligação das camadas não aderidas e não considerando apenas a precisão do ajuste dos deflectogramas.

O problema pode ser contornado ao se impor limites para os módulos de camadas granulares em função do valor inserido pelo projetista no programa como módulo elástico provável do solo de fundação, que pode ser estimado pelo próprio programa com base na análise dos módulos semente (CORREIA, 2014).

2.6.3 *Compensação de camadas e efeitos da não linearidade*

A compensação de camadas e efeitos da não linearidade são provocados fundamentalmente por modelagem incorreta da resposta estrutural do pavimento, do processo natural iterativo de retroanálise e da geometria da bacia de deflexão em análise.

Tipicamente, como um exemplo, acontece quando o módulo elástico do subleito for significativamente maior do que o esperado para aquele tipo de material, enquanto o módulo da base apresenta-se baixo e o do revestimento extremamente elevado. Este fato tem grande probabilidade de ocorrer com maior frequência em subleitos mais sensíveis à tensão, onde o nível de tensão presente nos sensores mais externos em um FWD é muito menor do que as tensões registradas no eixo da placa de carga (PEREIRA, 2007).

O módulo aparente do subleito para os sensores mais externos pode ser maior do que o módulo aparente diretamente sobre a placa de carga. Caso o subleito seja modelado como um material elástico linear, um valor alto para o módulo elástico é a resposta aceita e assumida constante em todo o processo. O módulo do subleito, na maioria das rotinas de retroanálise, primeiramente é calculado por meio das deflexões dos sensores extremos. Na sequência iterativa, quando o módulo da base está sendo calculado, o alto valor do módulo do subleito é equilibrado por um baixo módulo para a base, de modo a ajustar as deflexões medidas nesta região da bacia de deflexão, caracterizando o efeito de compensação nos módulos das camadas (PEREIRA, 2007).

As camadas de fundação são geralmente constituídas por materiais não-lineares. Quando este comportamento não é levado em consideração durante o processo de retroanálise, os módulos resultantes dessa investigação podem apresentar um erro bastante elevado, pois aumentam com a distância à zona da aplicação da carga, quer na direção vertical, quer na horizontal. Caso, no decorrer do processo de retroanálise, for considerado um comportamento elástico-linear nessa camada, ocorre o aumento do valor do seu módulo, ao longo da distância vertical ao ponto de aplicação da carga. Assim, pode-se introduzir uma camada rígida a uma determinada profundidade ou ainda, ser admitido esse comportamento, subdividindo o solo de fundação em distintas camadas com módulos crescentes (CORREIA, 2014).

Encontrar um módulo de fundação muito diferente do módulo real da camada em estudo no desenrolar da retroanálise, pode comprometer todo o processo, obtendo-se módulos irrealistas para as outras camadas que compõem pavimento, pelo processo de compensação. Exemplificando, se o programa adotar um valor muito alto para o solo de fundação, quando o módulo da base for calculado, o mesmo terá em conta esse alto valor do solo de fundação. Consequentemente, de modo a ajustar as deflexões nessa zona da bacia de deflexões, será estabelecido um valor demasiado baixo para as camadas restantes (CORREIA, 2014).

Visando a eliminação decorrente da compensação aconselha-se uma modelagem não linear de respostas dos materiais, visto que programas como ELMOD, EVERCALC, entre outros, podem utilizar modelos não lineares para alguns materiais. Caso o subleito com comportamento elástico seja utilizado, inserir uma camada rígida pode ajudar a mitigar o problema, sendo uma razão para que alguns programas de retroanálise incluam uma camada rígida como “padrão” em alguma profundidade (geralmente 6 metros) (PEREIRA, 2007).

2.6.4 *Influência da temperatura*

Variações de temperatura que ocorrem ao longo de um mesmo dia podem apresentar reflexos nas medidas de deflexão obtidas, com significativas oscilações em termos de análise de desempenho, recomendando-se, em alguns casos, a correção para uma temperatura referência, uma vez que a rigidez do revestimento varia

significativamente em função da temperatura, de tal forma que (ROCHA FILHO e RODRIGUES, 1996):

- ✓ Quando a temperatura diminui, o ligante asfáltico torna-se mais viscoso e a mistura mais rígida, aumentando a capacidade de distribuição de tensões para as camadas inferiores e diminuindo o valor de deflexão atuante na superfície da camada;
- ✓ Quando a temperatura aumenta, o ligante asfáltico fica mais fluido e a mistura mais flexível, diminuindo a capacidade de distribuição de tensões para as camadas inferiores e aumentando o valor de deflexão atuante na superfície da camada.

Segundo a FHWA (2002), quando um material asfáltico é deformado de forma moderada, ou por um período de tempo muito breve, ele tende a retomar à sua forma original, apresentando um comportamento elástico. Caso a deformação seja excessiva ou ocorra durante um período muito longo de tempo, o material não consegue retomar a sua forma original, apresentando um comportamento viscoelástico. Além disso, a quantidade de força necessária para que o material asfáltico se deforme aumenta quando o material está frio e diminui quando o material está quente.

Segundo SHAAT *et al.* (1992), a parcela da radiação solar refletida pelo pavimento geralmente depende das características da superfície. Um revestimento asfáltico absorve cerca de 90 a 95% da radiação solar. Assim sendo, as deflexões da superfície podem variar significativamente com a temperatura.

Segundo o *Defence Estates* (2009) as variações apresentam maior relevância em pavimentos com expressivas espessuras de camadas de materiais asfálticos. Objetivando diminuir os efeitos da temperatura, é recomendável a realização das medidas de deflexão quando as diferenças de temperatura forem mínimas, como por exemplo, à noite ou em dias nublados.

A consideração do efeito da temperatura na rigidez do revestimento asfáltico, baseia-se em duas abordagens distintas: a correção das leituras de deflexões obtidas em

campo ou a correção dos valores de módulos de resiliência retroanalizados. Essa correção visa normalizar os parâmetros em torno de uma temperatura de referência.

No caso do controle deflectométrico durante a construção pavimento, a correção da deflexão medida na superfície do revestimento asfáltico é o procedimento mais sensato (VELLASCO, 2018).

Este tipo de correção de deflexão é mais dependente da tipologia da estrutura do pavimento e menos do clima, além de não ser tão significativa em climas tropicais e em estruturas esbeltas, como é o caso do Brasil (MEDINA & MOTTA, 2015).

No tocante aos módulos, a correção do módulo de elasticidade em função da temperatura, consiste na conversão do valor de módulo retroanalizado, com base na deflexão medida em campo, a uma certa temperatura, para um valor de módulo de resiliência a uma temperatura de referência. Essa transformação é feita por meio de um fator de correção (VELLASCO, 2018).

O SHRP (1993) realizou estudo sobre a questão e concluiu que as condições que mais influenciam o valor do fator de correção são a espessura da camada asfáltica e o módulo de resiliência da fundação.

Ao longo das últimas décadas, diversos autores e instituições vêm pesquisando modelos para a determinação deste tipo de fator de correlação dos módulos de deformabilidade das camadas betuminosas obtidos através de ensaios de carga, como Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (ALVES, 2007) e *Highways England* (2008). Assim, conhecendo-se a temperatura de serviço para a zona onde se localiza o pavimento, os módulos podem ser “corrigidos” para as condições de serviço.

Grande parte dos deflectômetros de impacto possuem sensores para a medição de temperaturas do ar e da superfície do pavimento, que podem ser utilizadas diretamente em programas de retroanálise para se estimar os módulos elásticos de campo já corrigidos, entretanto MORAES (2015) realizou estudo com 4 equipamentos distintos de FWD, comparando as leituras de temperatura realizadas pelos equipamentos com as registradas por termopares e concluiu que as temperaturas registradas pelo FWD não são confiáveis

para esta correção, por se situarem longe da superfície do pavimento e não considerarem o gradiente térmico variável ao longo da espessura da camada asfáltica e da hora do dia.

2.6.5 Aderência entre as camadas de pavimentos asfálticos

A ligação entre as camadas que constituem o sistema estrutural da pista afeta o desempenho de uma rodovia. A avaliação das condições de interface entre revestimentos asfálticos e bases granulares, ou entre os próprios materiais granulares de bases e sub-bases, ainda não é prática usual no meio técnico. Os estudos relacionados a questão se dedicam principalmente à aderência entre misturas asfálticas e concreto de cimento Portland ou entre materiais estabilizados com cimento Portland, como os de FORTES (1999) e PEREIRA (2003), bem como entre diferentes camadas de misturas asfálticas, como nos estudos de GUIMARÃES (2013) e SILVA *et al* (2015).

Segundo BUENO (2016), para as interfaces entre bases granulares e concretos asfálticos, é possível se aplicar uma analogia com a interação entre a argamassa de assentamento, ou de revestimento, e a base sobre a qual esta será assente. A interação se deve à ancoragem da pasta aglomerante nos poros do substrato e a ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências do mesmo, sendo muito influente nesse processo a rugosidade e a porosidade do material de base. No pavimento asfáltico, situação similar ocorre na interface entre a última camada granular e a primeira camada asfáltica, onde a imprimação de asfalto diluído entra nas reentrâncias da camada granular, como a pasta da argamassa. Eventualmente, pode haver uma camada de emulsão asfáltica (pintura de ligação) para propiciar uma aderência por adesão da imprimação com o revestimento asfáltico, como uma cola que resista aos esforços de cisalhamento.

É relevante o estudo efetivo sobre a aderência plena entre as camadas do pavimento asfáltico. Caso ela não ocorra, os materiais irão trabalhar de maneira independente.

A aderência entre as camadas pode ser classificada em três tipos. O primeiro seria a perda da aderência por cisalhamento na interface, o segundo por tração na interface e o terceiro pela ação concomitante do primeiro e segundo, conforme a Figura 2.27. No pavimento, o primeiro caso decorre tipicamente devido ao tráfego, originado pela

aceleração, desaceleração, paradas e conversões realizadas pelos veículos, e/ou variação da temperatura, entretanto, não são conhecidos situações reais do segundo e terceiro casos (SUTANO, 2009).



Figura 2.27- Tipos de aderência entre as camadas asfálticas (adaptado de SUTANO, 2009).

Em linhas gerais, a aderência entre o revestimento e a base ocorre principalmente por adesão, devido à imprimação e à pintura de ligação, e alguma parcela de aderência por atrito e aderência mecânica, considerando que a superfície da base possui irregularidades. Entre a base granular e a sub-base, a aderência se dá por meio do atrito e da aderência mecânica entre os materiais granulares, conforme explicado no item 2.6.2 e entre a sub-base e o subleito, atribui-se à aderência mecânica e atrito, quando se utiliza uma camada de bloqueio (regularização com agregados graúdos), empregado antes da execução da sub-base, quando se utiliza rachão ou outro elemento deste tipo no subleito (BUENO, 2016).

ROMANOSCHI & METCALF (2003) e CANESTRARI *et al* (2013) concluíram que erros nos valores de módulo de resiliência obtidos por meio de retroanálise podem ser originados de uma modelagem imprópria das condições de aderência entre as camadas.

2.6.6 Métodos iterativos

Alguns métodos de retroanálise utilizam conceitos de matemática complexa e processos de convergência para o processamento com programas computacionais e resolução satisfatória das iterações, obtendo os módulos elásticos de todas as camadas do pavimento real. São utilizadas como algoritmo nos métodos iterativos a Teoria das Multicamadas Elásticas e o Método dos Elementos Finitos.

Comumente, solicitam os seguintes dados de entrada (PEREIRA, 2007): coordenadas dos pontos da bacia de deflexão medidas em campo; quantidade e as espessuras das camadas; intervalo estimado da variação dos módulos das camadas do pavimento e subleito; módulo de uma camada rígida no subleito e sua profundidade; estimativa dos módulos iniciais de cálculo (*seed moduli* ou módulos semente) e coeficiente de Poisson.

Os métodos iterativos são aqueles em que, por meio da comparação entre a bacia deflectométrica encontrada em campo e a calculada de uma série de estruturas, convergem até que as deflexões de campo sejam iguais às obtidas para a bacia “teórica”, ou apresente um resíduo admissível, que é definido no início do processo, possibilitando delimitar as características elásticas e geométricas das camadas do pavimento. (ALBERNAZ et. al., 1995).

Os métodos iterativos se baseiam na comparação entre a bacia de deflexão teórica com a obtida em campo que é realizada por meio de tentativas, até atingir um critério de convergência determinado, que objetiva a minimização das diferenças (PREUSSLER et. al., 2000).

Os métodos iterativos podem ser processados por maneiras distintas, sendo as mais conhecidas: cálculos durante o processo; utilização de banco de dados e regressão estatística.

a) Métodos que calculam os parâmetros elásticos durante o processamento

Bacias geradas iterativamente por programas de análise mecânica são comparadas, no decorrer da rotina de execução de um algoritmo computacional, com a bacia de deslocamento medida em campo. Quando a semelhança entre as duas bacias estiver dentro de um critério de aceitação pré-estabelecido encerra-se o processamento. O critério de aceitação, ou seja, a discrepância entre os valores medidos em campo pelos equipamentos e os valores obtidos por programas, é formado por uma função critério (PEREIRA, 2007).

O processo deve ser aperfeiçoado, conforme se minimiza o valor da função critério. A precisão e a eficiência de otimização da função critério são influenciadas, significativamente pelo processo de ajuste selecionado. Formas variadas de se estabelecer este ajuste por meio das equações 2.13 a 2.16 são apresentadas na Tabela 2.5 (SIVANESWARAN, KRAMER E MAHONEY, 1991).

Tabela 2.5 - Funções critério para retroanálise em pavimentos com M camadas e n medidas de deflexão (SIVANESWARAN, KRAMER E MAHONEY, 1991).

<p>Somatório das diferenças absolutas:</p> $f(E, h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^c(E, h) - d_i^m $	(2.13)
<p>Somatório das diferenças relativas absolutas:</p> $f(E, h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ d_i^c(E, h) - d_i^m }{d_i^m}$	(2.14)
<p>Somatório das diferenças quadradas:</p> $f(E, h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [d_i^c(E, h) - d_i^m]^2$	(2.15)
<p>Somatório das diferenças relativas quadradas:</p> $f(E, h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{d_i^c(E, h) - d_i^m}{d_i^m} \right]^2$	(2.16)

As equações (2.13) e (2.14) não possuem inclinação contínua e consequentemente, as técnicas de otimização que utilizam informação da derivada primeira (tanto analítica ou numérica) não podem ser usadas para estimação. É uma desvantagem preponderante, pois os métodos de otimização que utilizam informação da derivada primeira obtêm melhor desempenho do que os métodos que utilizam somente valores de funções (PEREIRA, 2007).

Os parâmetros da estrutura teórica são calculados por programas de análise de tensões e deformações como FEPAVE2, ELSYM5, JULEA, BISAR, KENLAYER, etc.

b) Utilização de banco de dados

A utilização de um banco de dados para comparar no processo de retroanálise segue de forma geral o princípio do método anterior. O que difere é que as bacias medidas em campo são comparadas com as bacias teóricas de estruturas previamente calculadas e armazenadas em um banco de dados, o que permite celeridade neste processamento, em relação ao anterior, mas pode perder em acurácia, se o banco de dados não for significativamente extenso, que contemple grande número de estruturas adequadas (NÓBREGA, 2003).

c) Regressão estatística

Fórmulas obtidas por regressão estatística são empregadas visando o cálculo das deflexões teóricas em pontos escolhidos da bacia de deformação. Quando a diferença entre as bacias teórica e medida atinge um erro pré-estabelecido, a resposta é alcançada (PEREIRA, 2007).

2.6.7 Métodos simplificados

Os métodos simplificados são aqueles que inferem os módulos com a aplicação de equações, tabelas, ábacos e gráficos, por meio da transformação da estrutura real multicamadas em estruturas equivalentes mais simples, normalmente de duas ou três camadas, incluindo o subleito, sendo alicerçado na Teoria da Elasticidade (ALBERNAZ, 1997). Eram úteis em análises preliminares e anteprojetos, devido à sua relativa simplificação, embora perdem precisão, eram métodos de processamento mais rápidos do que os existentes, à época da referência citada.

Os procedimentos de retroanálise simplificados foram usados durante as décadas passadas. Um exemplo é o método da AASHTO (1993), em que se estima o módulo resiliente do subleito (MR) e um módulo equivalente (E_p) para as outras camadas componentes do sistema (revestimento + base + sub-base) e que é parte integrante do guia de projetos de estruturas de pavimentos da AASHTO. Outro exemplo é o método de

NOURELDIN (1993), norteado pela análise elástica de duas camadas, aplicados em bacias de deformações obtidas pelo equipamento defletoométrico FWD, com aplicação de carga de 4.082 kg (9.000 lb) adaptado por ALBERNAZ (1997) para os resultados de um ensaio de viga Benkelman.

2.7 Número N

O número N corresponde ao número de repetições do eixo padrão de 8,2tf, que representa uma forma de considerar o mix de carga real, sendo uma composição de dados e parâmetros advindos do estudo de tráfego.

Contagens volumétricas classificatórias completas e direcionais parciais (nas interseções relevantes da rodovia), realizadas em postos de contagem, abrangendo ambos os sentidos de pista, em períodos determinados de dias e horas, a depender do tipo de projeto a ser executado, são os dados iniciais a serem considerados.

A pesquisa de campo fornece dados que permitem a determinação do volume médio diário anual (VMDA) e dos volumes médios diários direcionais nas principais interseções existentes no trecho.

Caso não haja dado proveniente de postos de pesagem no trecho em estudo, é feita a pesquisa de campo sobre ocupação de carga dos veículos comerciais, definindo percentuais de veículos vazios, carregados e parcialmente carregados por pesquisa direta com os motoristas, no mínimo.

Os volumes médios diários de veículos são caracterizados por meio dos volumes médios diários semanais calculados da média aritmética simples dos volumes de cada tipo de veículos computados diariamente, ao longo da semana da contagem volumétrica classificatória. De posse dessas informações, faz-se uma correção sazonal, modificando os valores médios semanais para volumes médios diários mensais (VMD), baseadas nas contagens volumétricas classificatórias realizadas durante sete dias. Por fim, de posse dos volumes médios diários mensais, por meio da avaliação dos seus dados históricos mensais por ano, são extrapolados os volumes médios diários anuais (VMDA).

O eixo-padrão utilizado neste cálculo é o eixo simples de roda dupla com carga de 18.000 lb. ou 82 kN (8,2 tf) e 563 kPa (80 psi) de pressão de enchimento dos pneus. No método utilizado atualmente no País foram assumidas correlações do poder destrutivo de cada tipo de eixo, ou conjunto de eixos, com o eixo-padrão. Essas correlações são chamadas de Fator de Equivalência de Carga (FC).

O FC multiplicado pelo fator de eixo (FE), que corresponde ao número médio de eixos da frota de veículos, obtido por meio de dados de postos de passagem ou de pesquisa de ocupação de carga, resulta no fator de veículo (FV).

Assim, considerando as variáveis descritas, o número N, que é expresso pelo número de repetições do eixo-padrão, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento, ao longo da sua vida útil do projeto, é encontrado por meio da expressão 2.17 a seguir:

$$N = 365 \times VMD_C \times D_i \times FV \quad (2.17)$$

Onde:

N = número de operações do eixo padrão;

VMD_C = volumes médios diários de veículos comerciais, acumulados até o ano considerado;

D_i = fator de distribuição direcional predominante;

FV = fator de veículo médio para a frota considerada.

3 ROTINAS DE CÁLCULO DE TENSÃO E DEFORMAÇÃO DOS MÉTODOS DE RETROANÁLISE DESTA PESQUISA

3.1 Análise Elástica de Múltiplas Camadas - AEMC

Um programa específico para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, com rotinas para entrada de dados e apresentação de resultados, denominado AEMC, foi elaborado durante a pesquisa de FRANCO (2007), sendo este um dos módulos que compõe o método de dimensionamento mecânico-empírico MeDiNa e de retroanálise BackMeDiNa.

O programa AEMC processa os cálculos com base no programa JULEA, alterado por FRANCO (2007), com o intuito de melhorar seu desempenho e reduzir as possibilidades de erros. O JULEA (*Jacob Uzan Layered Elastic Analysis*) é a sub-rotina desenvolvida por UZAN (1978) para o cálculo de tensões e deformações, utilizando o cálculo analítico com base na teoria de Burmister. Sua escolha para ser a ferramenta utilizada nas análises comparativas do desenvolvedor do MeDiNa deve-se, primeiramente, ao fato de ter sido empregado por FRANCO (2000) no programa PAVE e no SISPAV (FRANCO, 2007), apresentando respostas coerentes com as pesquisas em desenvolvimento e, ainda, por sua simplicidade e boa velocidade de processamento.

Para considerar o comportamento elástico não linear dos materiais, as técnicas utilizadas por RODRIGUES (1998) e HUANG (2003) foram incorporadas ao programa AEMC por FRANCO (2007).

A estrutura de cálculo geral do AEMC emprega a integração de Gauss-Laguerre nos cálculos das integrais. Os pressupostos elementares da solução computacional se norteiam na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, quais sejam:

1. Os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
2. A lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
3. As camadas não têm peso, para o cálculo do estado de tensões e deformações;

4. As camadas são ilimitadas na direção horizontal;
5. Todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
6. A superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
7. Na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
8. A carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
9. A grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
10. As condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida a não aderida.

Este método permite em seus cálculos associar carregamentos com mais de uma roda, por meio do princípio da superposição e da hipótese de elasticidade linear, sendo possível ainda alcançar, sem a necessidade de dividir o meio contínuo em Elementos Finitos, as respostas de tensão, deformação e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura.

As informações a seguir, foram retiradas da aba ajuda, opção “Conteúdo” do programa AEMC, versão 2.4 (abril/2018) disponível até o término do presente estudo.

O sistema de respostas elementares fornecidos, a partir das equações elásticas, engloba: tensões verticais; tensões radiais; tensões tangenciais; tensões de cisalhamento no plano vertical-radial; e deflexões verticais e radiais, conforme o sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no programa, que é o indicado na Figura 3.1. A convenção de sinais obedece à seguinte lógica: valores negativos para tensão e deformação, indicam que o ponto está em compressão; e valores positivos, indicam tração.

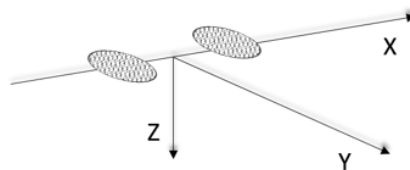


Figura 3.1 - Sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no programa AEMC (FRANCO, 2018).

As coordenadas dos pontos, em que são realizadas as análises, devem estar ajustadas para os diversos tipos de eixos, o que permite auscultar de forma racional os efeitos sobre os diversos pontos no interior da estrutura. Os sistemas de coordenadas, representados na Figura 3.2, coincidem o eixo principal do cálculo com o eixo de simetria das áreas carregadas.

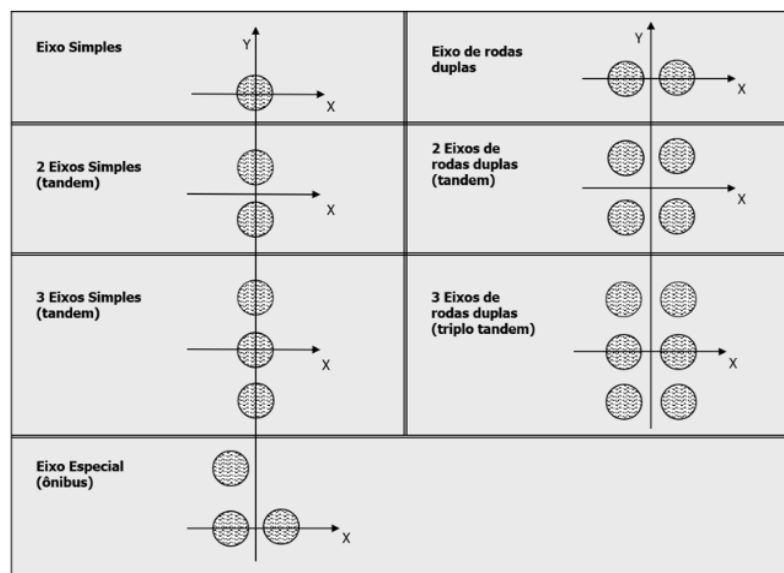


Figura 3.2 – Coordenadas de pontos segundo os tipos de eixos no programa AEMC (FRANCO, 2018).

O programa admite a carga de roda como sendo uniformemente distribuída em uma área de contato circular entre o pneu e a superfície do pavimento. A pressão de inflação dos pneus é considerada como a pressão de contato entre o pneu e o pavimento, por falta de dados mais específicos para as configurações de rodas e pneus utilizados no país. O tamanho da área de contato, portanto, depende da carga de roda e da pressão de inflação dos pneus.

Inicialmente, o programa AEMC apresenta uma estrutura de quatro camadas em sua tela, inclusive já considerando a inclusão do subleito. Esta estrutura pode ser totalmente alterada, sendo permitidos, no mínimo duas e, no máximo, oito camadas, conforme apresentado na Figura 3.3.

Os materiais das camadas podem ser considerados como elásticos lineares ou não lineares e os modelos constituintes do comportamento resiliente são representados a partir da definição das constantes do modelo geral apresentado na expressão 3.1:

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{K2} \cdot \sigma_d^{K3} \cdot \theta^{k4} \quad (3.1)$$

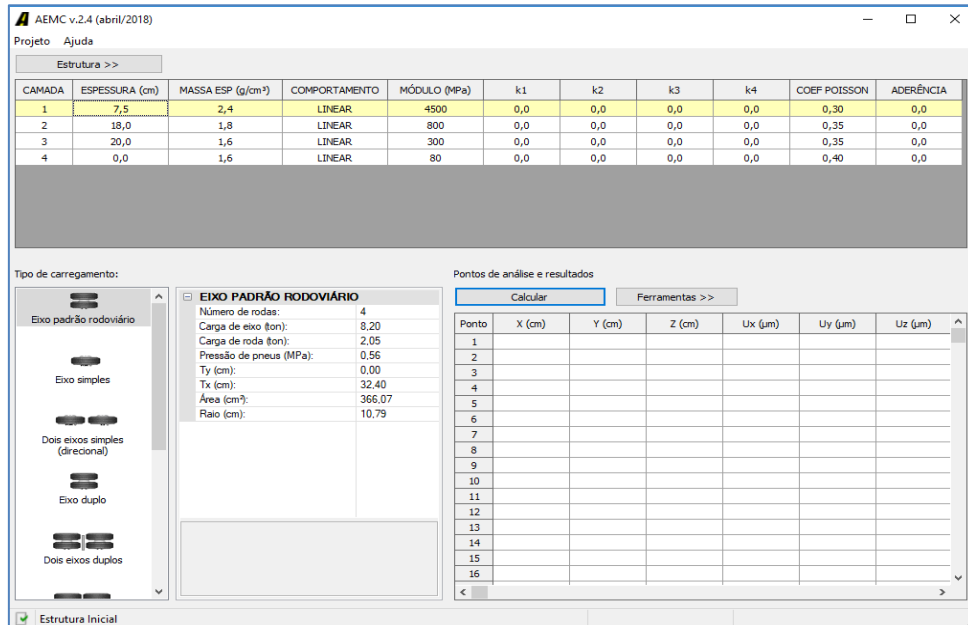


Figura 3.3 - Tela inicial do programa AEMC (FRANCO, 2018).

Salienta-se que k_1 , k_2 , k_3 e k_4 são constantes obtidas em laboratório; θ é a tensão octaédrica (igual à soma das tensões principais $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$); σ_d é a tensão desvio; σ_3 é a tensão de confinamento e MR é o módulo de resiliência em MPa.

Uma modelagem física, similar à teoria de molas, é feita no AEMC, objetivando permitir o movimento horizontal relativo na interface entre duas camadas. A mola atua na direção radial resistindo ao deslocamento relativo ao longo da interface entre duas camadas, conforme a expressão 3.2:

$$\tau_i = k_i \cdot (u_i - u_{i+1}) \quad (3.2)$$

Onde:

τ_i é a tensão de cisalhamento radial entre as camadas i e $i+1$;

$u_i - u_{i+1}$ é o deslocamento radial relativo ao longo da interface das camadas i e $i+1$;

k_i é o módulo de rigidez da "mola" que resiste ao deslocamento radial relativo ao longo da interface.

A variável k é transformada, para facilitar o cálculo numérico no AEMC, onde se utiliza um parâmetro adimensional, conforme a regra apresentada na equação 3.3:

$$k_i = \frac{l_i}{1 - l_i} \quad (3.3)$$

Quando o valor nulo para o parâmetro l_i é adotado, o valor de k_i será nulo e, $l_i = 0$, logo as camadas não estão aderidas, pois não haverá cisalhamento na interface. Entretanto, considerando $l_i = 1$, a resposta é k_i e τ_i tendendo ao infinito, permitindo o entendimento de que há aderência entre as camadas. Assim, o projetista deve entrar com um valor entre **0 (camadas não aderidas)** e **1 (camadas aderidas)**, para simular a aderência entre camadas.

3.2 PITRA-PAVE

O PITRA-PAVE é um software de múltiplas camadas elástica, para materiais com comportamento linear elástico, desenvolvido na Unidade de Materiais e Pavimentos da Universidade da Costa Rica, e faz parte de uma série de esforços do PITRA (*Programa de Ingeniería de Transportes*) do LanammeUCR (*Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales- Universidad de Costa Rica*) para o desenvolvimento do primeiro guia de projeto mecanicista-empírico da Costa Rica, objetivando melhorar as estruturas de pavimentos no país. É a rotina do modelo de multicamadas que compõe o método PITRA-BACK.

Segundo TREJOS, (2015), seus resultados foram sistematicamente comparados com outros programas de multicamadas elásticas, como Weslea e EverStress, para sistemas de até 5 camadas, bem como com o 3D-MOVE e BISAR para sistemas com até 10 camadas. Todos os casos foram resolvidos com diferenças insignificantes nos valores

das respostas. Segundo a referência citada, o PITRA-PAVE resolveu os casos de teste de forma mais veloz que outros programas, sendo possível resolver sistemas com mais camadas que os programas mencionados.

O PITRA-PAVE é uma ferramenta para a análise mecânica de pavimentos flexíveis baseada na teoria da multicamada elástica e detalhes de seu desenvolvimento estão na tese de TREJOS (2015). Permite analisar as respostas mecânicas (tensões, deformações e deflexões) para estruturas multicamadas em espaços semi-infinitos. Adota ferramentas matemáticas para considerar cargas de superfície e integrar as equações e variáveis do sistema de acordo com a teoria de Burmister.

No sistema de referência em que o programa PITRA-PAVE trabalha, os planos das camadas são definidos entre os eixos X e Y , a profundidade é referenciada ao eixo Z , que é positivo com a profundidade, conforme mostra a Figura 3.4. Cada camada tem suas propriedades de módulo, coeficiente de Poisson e espessura, definidas pelo projetista. Neste sistema, são definidas cargas com geometria circular, em $Z = 0$ para qualquer combinação X e Y . Os pontos de análise são definidos pelo projetista em X , Y e Z , para $Z \geq 0$.

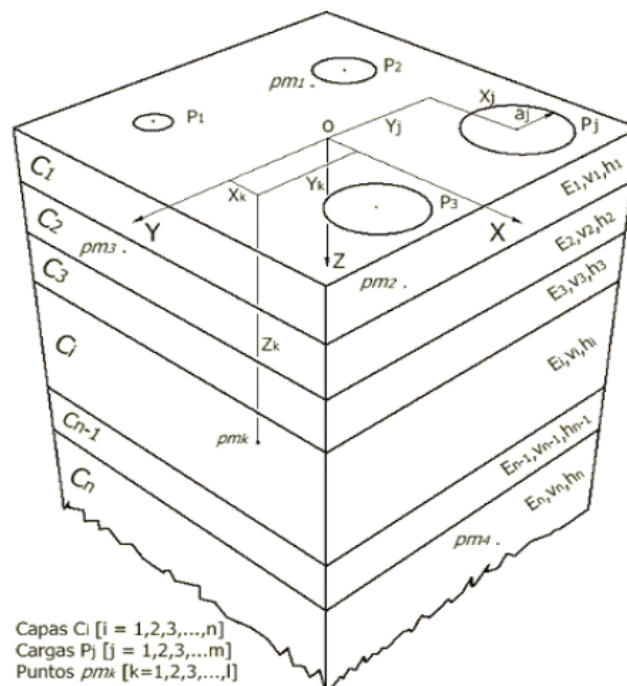


Figura 3.4 - Sistemas de coordenadas do PITRA-PAVE (Lanamme, UCR, 2015).

De acordo com a ajuda do software PITRA-PAVE, o cálculo das respostas baseado na Teoria de Burmister (1943) adota as seguintes hipóteses:

- O sistema consiste em camadas horizontais de espessura uniforme; o da última camada é infinito;
- Todas as camadas se estendem infinitamente em direções horizontais;
- O material de cada camada é homogêneo e isotrópico;
- Os materiais são lineares elásticos, com uma relação linear entre tensão e deformação;
- São aplicadas cargas na superfície livre com geometria circular e pressão uniforme;
- As condições de continuidade são satisfeitas nas interfaces entre as camadas (camadas completamente aderidas ou vinculadas).

Ao se adotar essas hipóteses, as equações de forças de equilíbrio diferencial são simplificadas empregando-se a função de Ary, para cada carga circular imposta, e a Transformada da Henkel, que modifica as soluções para um sistema cartesiano. Por fim é aplicado o princípio da superposição para considerar todas as soluções (Lanamme, UCR, 2015).

O PITRA PAVE requer os seguintes dados para realizar os cálculos:

- Número de camadas;
- Módulo de elasticidade de cada camada;
- Coeficiente de Poisson de cada camada;
- Espessura de cada camada;
- Número de cargas;
- Posição de cada carga aplicada;
- Carga (força) e a pressão de cada carga aplicada;
- Número de pontos de medição;
- A posição de cada um dos pontos de medição;
- Pontos de medição: onde se deseja obter os valores de tensões, deformações e deflexões.

Para melhor visualização, o manual do programa (TREJOS, 2015) exemplifica uma estrutura, na qual se deseja incluir as cargas associadas a um único eixo simples, com separação entre pneus de 0,4 m, pressão de enchimento de 760000 Pa e carga de 80000 N (20000 N em cada pneu). Apenas 2 dos 4 pneus serão analisados por simetria do problema, conforme mostra a Figura 3.5.

Especificamente, é desejável conhecer as respostas mecânicas em 6 pontos abaixo do ponto de aplicação da carga, conforme indicado na Figura 3.6.

- 1° Na superfície;
- 2° Na metade da primeira camada;
- 3° No final da primeira camada;
- 4° Na metade da segunda camada;
- 5° Na metade da terceira camada;
- 6° Na parte superior da última camada.

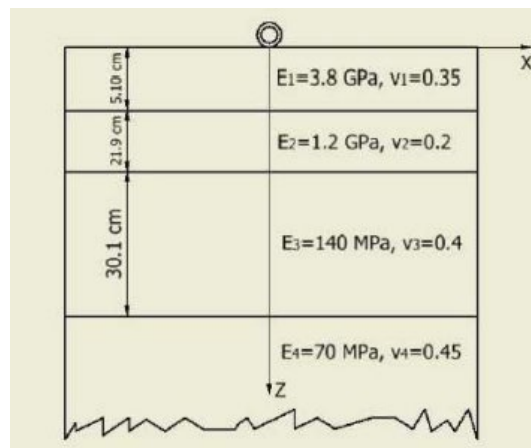


Figura 3.5 - Propriedades da estrutura de um pavimento típico (Lanamme, UCR, 2015).

Este software fornece os seguintes resultados (em coordenadas cartesianas) para o sistema de multicamadas, incluindo as ações de todas as cargas aplicadas:

- 6 componentes do tensor de tensões;
- 6 componentes do tensor de deformações;
- 3 componentes do vetor deflexão.

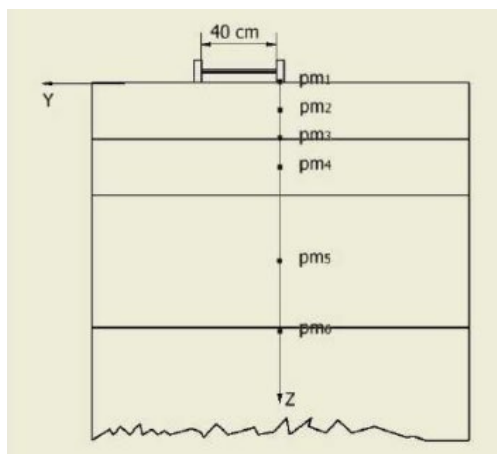


Figura 3.6 – Pontos de medição no PITRA-PAVE (Lanamme, UCR, 2015).

O programa PITRA-PAVE apresenta um pavimento com 2 camadas em sua tela inicial. Esta estrutura pode ser totalmente alterada, conforme apresentado na Figura 3.7.

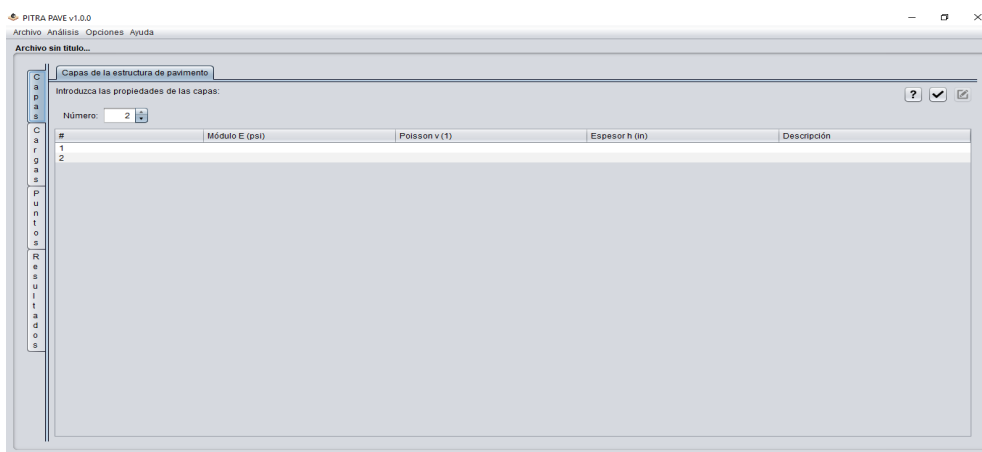


Figura 3.7 - Tela inicial PITRA-PAVE (PITRA-PAVE, 2018).

As características gerais do PITRAPAVE (Versão 1.00) são

- ✓ Análise estática;
- ✓ Materiais do modelo linear elástico;
- ✓ Número ilimitado de cargas, de geometria circular apenas;
- ✓ Pressão uniforme sob as cargas;
- ✓ Inclui o módulo cálculo de carga que converte entre carga, pressão e raio (Figura 3.8) na aba de análises;
- ✓ Unidades do sistema internacional (SI) ou unidades inglesas (EUA) (Figura 3.9);
- ✓ Arquivo de saída em formato csv, compatível com Excel, e outros;

- ✓ Ajuda com exemplos;
- ✓ Compatível com Windows, Mac OS e Linux.

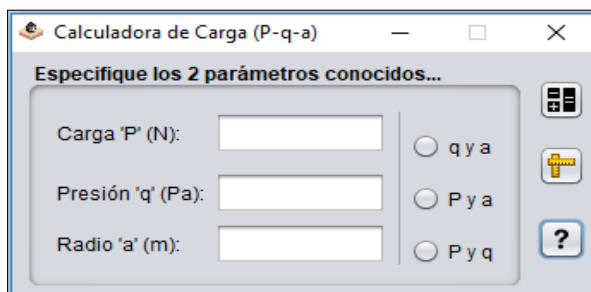


Figura 3.8 - Calculadora de carga (PITRA-PAVE, 2018).

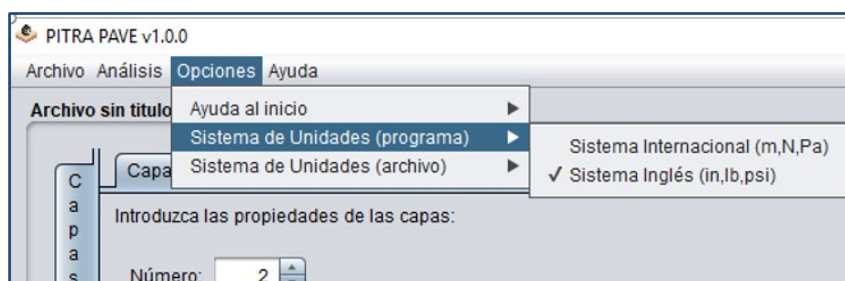


Figura 3.9 - Unidades do sistema internacional (SI) ou unidades inglesas (EUA) (PITRA-PAVE, 2018).

3.3 MET

O MET (*Method of Equivalent Thickness* ou Método da Espessura Equivalente) analisa a estrutura de um pavimento com várias camadas de módulos conhecidos, podendo transformá-las em um sistema equivalente, com um módulo homogêneo para todas as camadas, incluindo a camada semi-infinita do solo de fundação aplicando o método modificado de Burmister e de Odemark, conforme visto no item 2.2 desta dissertação.

O MET é a rotina do modelo de análise de Espessura Equivalente que compõe o método PITRA-BACK e do modelo “*Deflection Basin Fit*” (ajuste das bacias de deflexão) presente no ELMOD.

4 MÉTODOS DE RETROANÁLISE E PLANEJAMENTO DA PESQUISA

4.1 Introdução

Dois programas de retroanálises, PITRA-BACK e ELMOD usados nesta pesquisa, foram escolhidos para uma análise paramétrica junto com o BackMeDiNa, um dos módulos presentes no novo método de dimensionamento mecanístico-empírico MeDiNa, que é o resultado de mais de 20 anos de pesquisas acadêmicas da COPPE e de outras instituições de ensino e órgãos brasileiros, atualmente, em fase de teste público, para se tornar o novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos do Brasil.

Na Costa Rica, as políticas dos anos 1990 reduziram o investimento nas estradas e em pesquisas direcionadas às mesmas, assim como ocorreu no Brasil. Nos últimos anos porém, o governo costarriquense tem feito grandes esforços, investindo em tecnologias de aperfeiçoamento de metodologias de dimensionamento, de pavimentos novos e reabilitação dos existentes, baseadas em modelos mecanístico-empíricos, que não existiam no País. O PITRA-BACK é um dos resultados dessa campanha. Em desenvolvimento desde 2017, é disponibilizado pela Universidade da Costa Rica (UCR). Assim, esta foi uma escolha por condições históricas, bem como climáticas considerando as similaridades entre Brasil e Costa Rica nesse quesito. A temperatura é uma das condições de contorno que pode influenciar as propriedades dos materiais, conforme verificado na revisão bibliográfica do presente estudo.

O ELMOD é um programa da empresa Dynatest, cujo desenvolvimento se iniciou há cerca de 40 anos. A versão utilizada para este estudo é a sexta e última disponibilizada até a entrega desta dissertação. Assim sendo, sua escolha se justifica com base na aceitação satisfatória do programa no meio rodoviário nacional e internacional.

De posse dos três métodos, e a partir de bancos de dados de bacias deflectométricas medidas com deflectômetro de impacto do tipo FWD, se objetiva identificar o quanto o dimensionamento de reforço das estruturas desta pesquisa pode ser afetado pelos resultados obtidos em cada método, bem como, a partir dos módulos obtidos pela retroanálise, verificar se as espessuras de reforço indicadas pelos procedimentos PRO 11/79 e PRO 269/94, do DNIT, fornecem o tempo de vida útil de 10 anos.

4.2 BackMeDiNa

Segundo o Manual da versão 1.1.0 (abril/2018) disponível até o término da presente dissertação, o BackMeDiNa é um programa que efetua a retroanálise dos módulos de elasticidade das camadas de um pavimento por meio de dados das bacias deflectométricas, levantadas em campo com equipamentos do tipo FWD, desenvolvido para uso como um componente do programa MeDiNa (FRANCO, 2018). É a evolução do programa “Retroanálise”, que é um dos módulos do programa SisPav desenvolvido por FRANCO (2007).

O manual de utilização é disponibilizado na aba ajuda, opção “Conteúdo” do BackMeDiNa e apresenta a fundamentação e a descrição do programa apresentados neste item.

Os Módulos de elasticidade são encontrados por meio de cálculo efetuado de forma iterativa. Baseando-se na variação dos valores dos módulos em torno de um valor central, obtém-se uma bacia teórica aproximada da bacia de deflexões de campo medida pelo FWD, sendo esse cálculo efetuado pelo módulo de análise elástica linear, AEMC. Com as bacias calculadas, a raiz do valor quadrático médio das diferenças entre as medidas de deflexões de campo é comparada, pelo programa, a valores admissíveis.

Os fundamentos teóricos da solução computacional baseiam-se nos mesmos itens considerados pelo AEMC na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas multicamadas e contínuos.

Ao utilizar esta solução tem-se a vantagem de combinar carregamentos com mais de uma roda, por meio do princípio da superposição e da hipótese de elasticidade linear, sendo ainda possível adquirir respostas de tensão, deformação e deslocamentos em um ponto qualquer da estrutura, não sendo exigido dividir o meio em Elementos Finitos.

A partir das equações elásticas são encontradas as seguintes respostas estruturais:

- Tensões verticais, radiais, tangenciais e de cisalhamento no plano vertical-radial;
- Deflexões verticais e radiais.

A utilização do programa é muito simples, conforme as instruções descritas no presente item, que foram retiradas da aba “ajuda”.

Na aba projeto, opção “Modelo de arquivo de bacias” se encontra uma planilha Excel, com extensão .csv, editável pelo projetista, que deve preencher as colunas sem deixar espaços, conforme mostra a Figura 4.1 e o roteiro da Tabela 4.1. Após o término do preenchimento, deve-se salvar a planilha Excel com um nome escolhido, mas no formato .csv (separado por vírgulas).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	BACKMEDINA																	
2	SEÇÃO:	Modelo																
3	RAIO (cm):	15																
4	Data de Execução	Temp. Do	Temp.	Carga	Estaca - N	Estaca - D	Estaca - F;	Estaca - T	d0	d20	d30	d45	d60	d90	d120	d150	d180	
5	04/04/2018	28	55	4000	1	0	0	0	0	706	563	467	351	266	164	115	89	74
6	04/04/2018	28	55	8000	2	0	0	0	0	1412	1126	935	703	532	328	230	179	148

Figura 4.1 - Planilha Modelo de arquivo de bacias, a ser usado no BackMedina (FRANCO, 2018).

Tabela 4.1- Roteiro para preenchimento da Planilha Modelo de arquivo de bacias (FRANCO, 2018).

Linha 1 - Sinaliza ao programa que o arquivo é do BackMeDiNa - módulo retroanálise. Não altere
Linha 2 - Informação: Insira o nome da Seção Homogênea para identificar os dados dos ensaios à seção.
Linha 3 - Dado de entrada: Raio do carregamento aplicado pelo equipamento no pavimento.
Linha 4 em diante - Após a linha de título, insira até 100 bacias de ensaios do FWD. O ideal é que as bacias sejam relativas a uma mesma seção homogênea do pavimento.
Coluna A - Informação: Data do ensaio.
Coluna B - Informação: Temperatura do ar no instante do ensaio.
Coluna C - Informação: Temperatura do pavimento no instante do ensaio.
Coluna D - Dado de entrada: Carga aplicada no pavimento pelo golpe do FWD no ensaio.
Coluna E - Informação: Estaca localizando o ponto do ensaio.
Coluna F - Informação: Complemento da estaca em metros.
Coluna G - Informação: Faixa do pavimento.
Coluna H - Informação: Trilha externa ou interna.
Coluna I em diante - Dados de entrada dos sensores

O número padrão de sensores é nove, sendo a localização de cada um, a princípio, a seguinte: 0, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, representados por dX, onde X é a distância do sensor em relação ao ponto de aplicação da carga, que o programa lê e identifica. Assim, d0 é o sensor localizado no ponto de aplicação da carga, d20 a 20cm, de forma igual até o d180. Pode-se alterar a quantidade de sensores, caso algum não seja utilizado, basta apenas apagar sua coluna correspondente. A distância da localização também poderá ser modificada simplesmente alterando o valor após a letra d, por exemplo, se o sensor não estiver a 45cm, mas a 55cm, altere o valor de d45 na linha de título para d55.

É necessário a importação de um arquivo de bacias (.csv) ou de um arquivo (.bac) para modificação da estrutura. O programa abrirá sua interface pronta para as intervenções do projetista, conforme mostra a Figura 4.2.

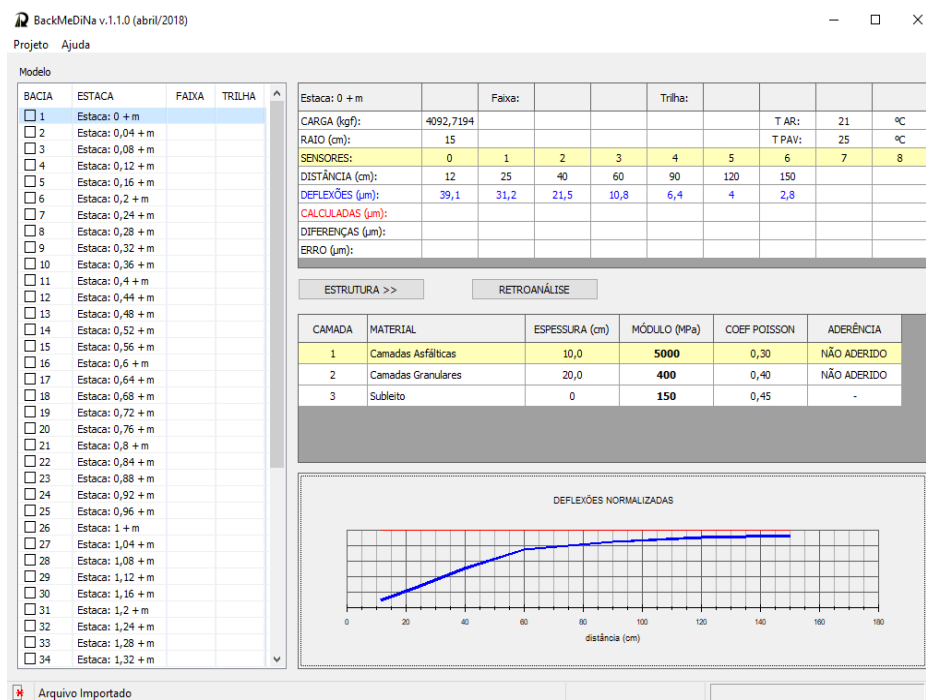


Figura 4.2 - Tela inicial do BackMeDiNa, após carregamento dos arquivos csv ou bac. (FRANCO, 2018).

Para adicionar ou retirar camadas no perfil do pavimento, conforme a necessidade do projetista, utiliza-se o botão de comando ESTRUTURA (Figura 4.3). São permitidas até seis camadas, sendo o mínimo de uma, considerando ainda que o subleito não pode ser excluído.

ESTRUTURA >>		RETROANÁLISE			
Inserir uma camada abaixo		ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
Excluir a camada selecionada		7,5	4495	0,30	NÃO ADERIDO
Aplicar nas demais bacias		18	799	0,35	NÃO ADERIDO
3	Subleito	0	80	0,40	-

Figura 4.3 - Comando ESTRUTURA no programa BackMeDiNa (FRANCO, 2018).

Os materiais foram divididos em grupos conforme descritos a seguir:

- Camadas Asfálticas
- Tratamento Superficial
- Camadas Estabilizadas
- Camadas Granulares
- Camadas em Solos Naturais

O projetista deve entrar com NÃO ADERIDO (que corresponde a $Li=0$) ou ADERIDO (que corresponde a $Li=1$) para admitir o tipo de interface entre camadas.

Segundo FRANCO (2018):

O programa inicia o cálculo sempre com os módulos indicados na estrutura do pavimento. O programa varia este módulo por uma faixa que depende do erro da retroanálise. Para erros elevados, a faixa de cada módulo é de 80% do valor indicado (para maior e menor) na estrutura, a fim de abranger um maior nível de soluções. Para erros menores, a faixa de valores de Módulo diminui para 25%. O número de intervalos de cada faixa também varia com erro. Para erros elevados, são apenas 9 intervalos. Para erros menores, são 15 intervalos, que objetiva melhorar a precisão da retroanálise.

Ao se acionar o botão RETROANÁLISE, são conferidos todos os intervalos possíveis de módulos de todas as camadas e, ao final, é fornecida a bacia calculada mais semelhante à bacia medida, ou seja, a que apresentar o menor erro (RMS). Para uma retroanálise satisfatória, o projetista deve clicar no botão retroanálise até que o erro (RMS) não varie mais, e se ainda a retroanálise não apresentar resultados plausíveis, o

projetista pode inserir um valor diferente de módulo em qualquer camada, e recomeçar o processo.

A opção "aplicar nas demais camadas", poder ser utilizada, se as bacias foram obtidas a partir de um segmento homogêneo, no caso de o projetista julgar que a resposta da primeira bacia foi adequada, aplicando os dados da primeira retroanálise em todas as demais bacias, pelo menos para uma primeira análise.

Objetivando agilizar o processo de retroanálise, o projetista pode sinalizar para o programa BackMeDiNa para qual camada ele deseja congelar o módulo. A coluna nomeada CAMADA apresenta a numeração da mesma, bastando o projetista clicar duas vezes sobre o número da camada para ter seu módulo com valor fixo durante o processo retroanálise.

O método da raiz do valor quadrático médio ou RMS (*root mean square*) calcula o erro da retroanálise, sendo equacionado a partir das diferenças encontradas entre as deflexões calculadas e as deflexões medidas, conforme indica a expressão 4.1.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (d_{calculada} - d_{medida})^2} \quad (4.1)$$

No quadro de listagem das seções o programa marca a seção com a cor verde, se encontrado um erro inferior a 5µm, indicando que a retroanálise conseguiu um bom ajuste; marca a seção com a cor amarela, se encontrado um erro inferior a 10µm, mas superior a 5µm, ou seja, entre estes limites, indicando que a retroanálise conseguiu um ajuste razoável.; marca a seção com a cor vermelha, se encontrado um erro superior a 10µm, indicando que a retroanálise não conseguiu um ajuste satisfatório.

4.3 PITRA-BACK

O PITRA-BACK é uma ferramenta de retroanálise para módulos de pavimentos flexíveis da Universidade da Costa Rica, que está em desenvolvimento pelo pesquisador Matamoros desde 2017 e continua até a apresentação desta dissertação. Baseia-se na teoria das multicamadas elásticas e na Teoria da Espessura Equivalente (MET).

A otimização do RMS, entre as deflexões medidas e calculadas, é feita pelo algoritmo de otimização de função de Powell chamado BOBYQA, que permite resolver a iteração dos módulos necessários para o retrocálculo. O método é usado para otimizar funções "caixa preta", que são funções onde não se conhece a derivada, seja porque as equações internas da função são desconhecidas, ou porque as derivadas das funções são de uma complexidade muito alta (MATAMOROS, 2017). Tal algoritmo foi proposto pelo desenvolvedor devido à complexidade das equações, especialmente no método de multicamadas elástica, cuja biblioteca é fechada e possui funções muito complexas no programa de análise de tensões PITRA-PAVE.

Somado a isso, segundo o desenvolvedor do programa, o uso desse método facilita a programação de múltiplos métodos para o retrocálculo de módulos, uma vez que não importa qual método é usado para calcular as respostas do pavimento, o algoritmo pode otimizar a função. As variáveis de entrada são os módulos e a função a ser minimizada é o RMS, que é uma função das deflexões calculadas.

Salienta-se que este algoritmo é útil, no entanto, pode apresentar resultados com intervalos muito variáveis. Além disso, o valor ideal pode não ser encontrado devido à faixa de confiança do método, pois os erros de arredondamento do computador podem influenciar a abertura da faixa para funções sem condições de fronteira bem definida. Também é importante considerar que, eventualmente, a combinação de condições de fronteira, o número de pontos de interpolação quadrática e o número de iterações, pode não produzir uma solução satisfatória, e quando isso ocorre recomenda-se aumentar os pontos de iteração ou o intervalo de pesquisa. Além disso, caso o ponto aceitável esteja fora da faixa de restrições das variáveis, é possível que o método não consiga convergir; mas de qualquer maneira, encontrará o valor mínimo obtido de todas as iterações realizadas (MATAMOROS, 2017).

Além do BOBYQA, existe o algoritmo NEWUOA para funções de otimização que utiliza modelos quadráticos. Mais detalhes sobre ambos podem ser encontrados em MATAMOROS (2017).

A ferramenta PITRA-BACK tem capacidade de realizar o retrocálculo de módulos para uma estrutura de pavimento flexível de até 5 camadas, devido a limitações da

metodologia de espessura equivalente MET. Para a metodologia de espessura equivalente, foi incorporado um método para considerar a não linearidade do subleito.

O programa calcula a correção e a previsão da temperatura do pavimento, se selecionada essa opção, bem como é capaz de verificar o desempenho do revestimento, devido à fadiga e à deformação permanente, com base nas equações do MEPDG americano (EUA), ainda sem modelos calibrados para a Costa Rica.

Para iniciar um novo projeto, segundo o manual, se começa o procedimento de retroanálise por meio do botão "Nuevo" na página inicial, no menu "Archivo", ou pressionando a combinação de teclas "Ctrl + Shift + N" e preenchendo todos os dados iniciais solicitados, conforme indica a Figura 4.4.

The screenshot displays the initial interface of the PITRA-BACK software. At the top, there are logos for 'UNIVERSIDAD DE COSTA RICA' and 'LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES PARA LA INGENIERIA CIVIL'. Below the logos, a navigation bar includes 'Archivo' and 'Ayuda'. The main content area is titled 'Información de Proyecto' and contains two columns of input fields. The left column, 'Información General', includes fields for 'Nombre del Proyecto', 'Ubicación del Proyecto', 'Provincia', 'Cantón', 'Distrito', 'Código de Proyecto', and 'Código de Sección'. The right column, 'Información Adicional', includes fields for 'Vida de Diseño (años)', 'Mes Construcción Base/Subbase', 'Mes Construcción Pavimento', 'Mes Apertura al tránsito', 'Fecha de Análisis', and 'Analista'. Below these fields are three buttons: 'Nuevo', 'Editar', and 'Guardar'. At the bottom right, there is a logo for 'PITRA'.

Figura 4.4 – Interface inicial do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

O programa cria uma pasta com o nome do projeto inserido, e dentro, um arquivo será gerado com o nome do projeto. Além disso, uma pasta chamada "D_B" é criada, possibilitando o destravamento da próxima aba “Banco de Dados” (Figura 4.5).

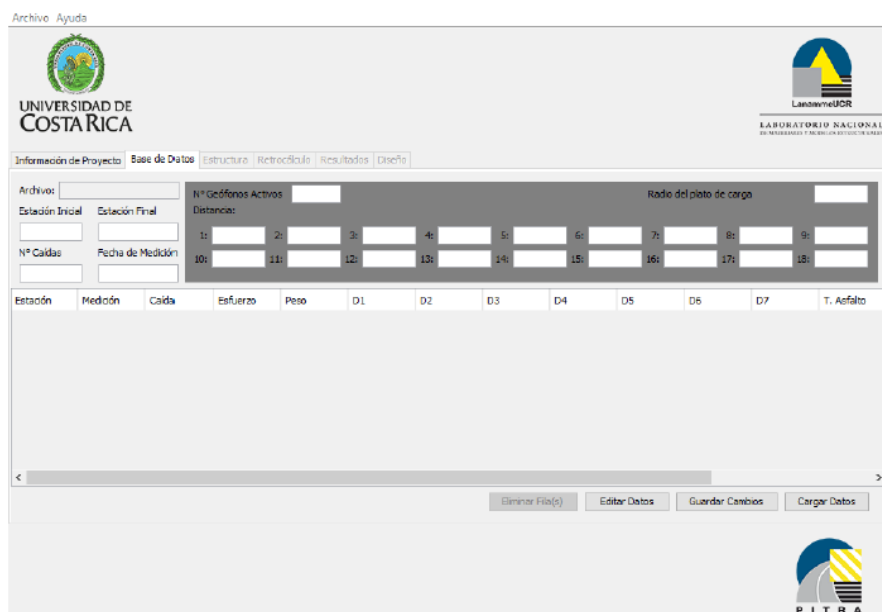


Figura 4.5 – Aba “Banco de Datos” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

Para carregar o banco de dados pressionar o botão " *Cargar Datos*", que seleciona arquivos ".FWD", ".fwd", ".F25" e ".f25" (Figura 4.6), segundo o manual, mas na prática só foi possível carregar as extensões .f25 e .F25. Após o carregamento, se necessário, é possível modificar alguns dados com o botão de edição.

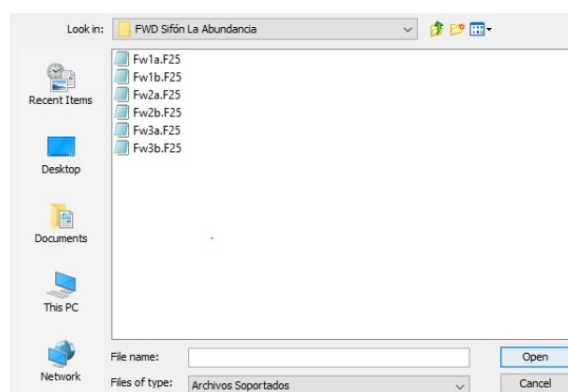


Figura 4.6 – Arquivos de entrada do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

Para definir a estrutura do pavimento, deve-se primeiro definir a quantidade de camadas" no menu “*Capas*” (Figura 4.7) ativando os campos para edição e digitação das espessuras, o módulo inicial (semente), o coeficiente de Poisson, o tipo de camada, e a descrição do subleito (opcional).

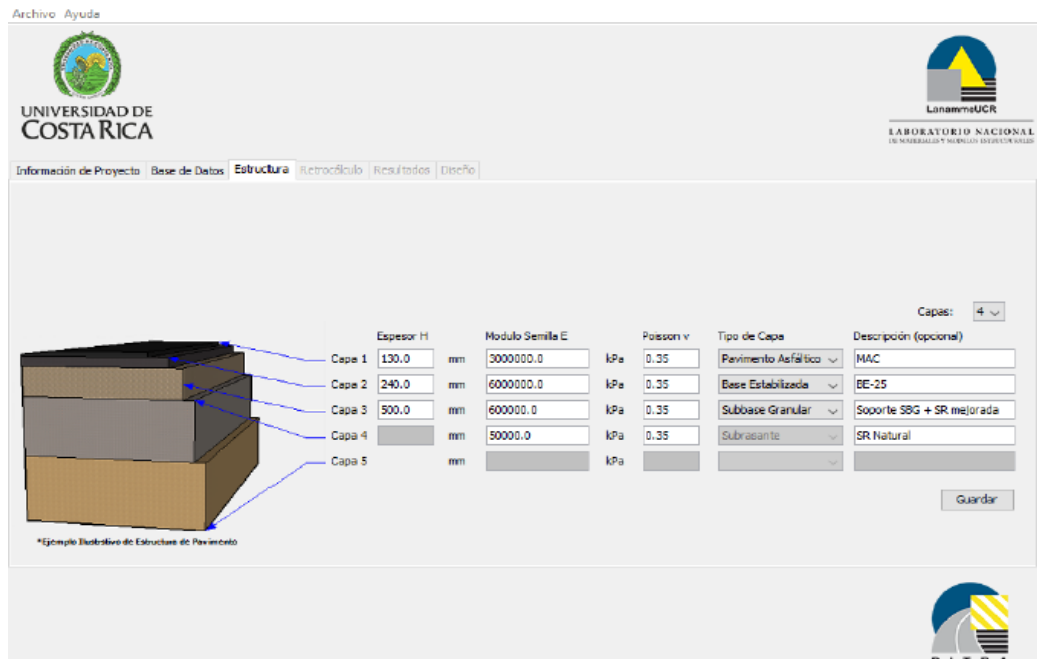


Figura 4.7 - Aba “Estructura” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

Uma vez que todos os dados foram inseridos, na aba "Estructura", e salvos corretamente, a guia “Retrocálculo” será ativada. Nesta aba, com o botão “Configuración” determina-se a quantidade de interações, faixa de variação dos módulos e pontos de interpolação a serem usados (Figura 4.8), devendo-se selecionar a seção, e as estações desejadas para análise. A critério do projetista, pode-se efetuar ou desabilitar a correção por temperatura, usar a temperatura medida, usar a temperatura superficial ou realizar a correção usando fórmulas específicas. Por fim, com seleciona-se o método para o retrocálculo, conforme a Figura 4.9.

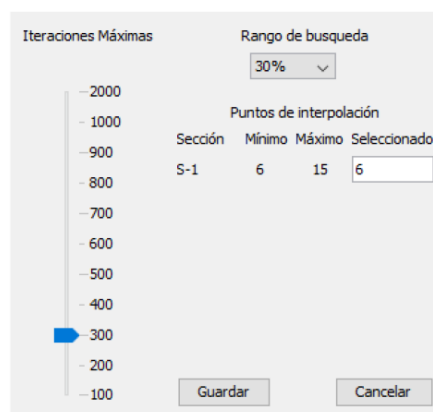


Figura 4.8 – Tela de configuração das quantidade de interações, faixa de variação dos módulos e pontos de interpolação utilizados no retrocálculo (MATAMOROS, 2017).

Uma vez preenchidas todas as informações de cálculo, o botão "*Guardar*" deve ser pressionado para ativar o botão "*Executar*", e assim o programa armazena os dados obtidos. Após a execução, esses botões serão bloqueados. Para executar novamente o recálculo pressione primeiro o botão "*Editar Selección para el Cálculo*", que aparece no final da tela.

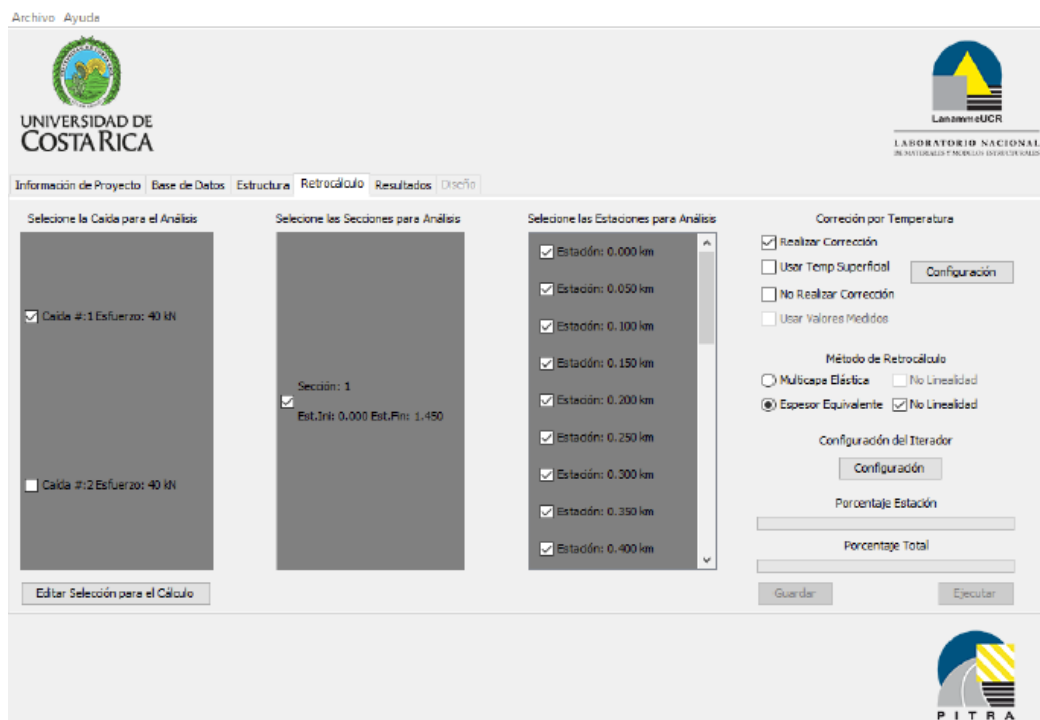


Figura 4.9 - Aba "Retrocálculo" do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

Efetuada o retrocálculo, a aba "*Resultados*" será ativada (Figura 4.10). Pressionando o botão "*Módulos*", aparecerão as tabelas dos módulos por estação, a tabela de resumo dos módulos médios com seus desvios padrão e ao lado das tabelas o gráfico de Módulo Elástico. Pressionando o botão "*Deflexiones*" a tela se modifica para este parâmetro e são fornecidas as informações sobre as diferenças percentuais entre as deflexões medidas e calculadas, e o RMS (Figura 4.11). Ao pressionar o botão "*Criar Reporte*", um relatório com as informações de entrada e saída da retroanálise no formato ".txt" é gerado.

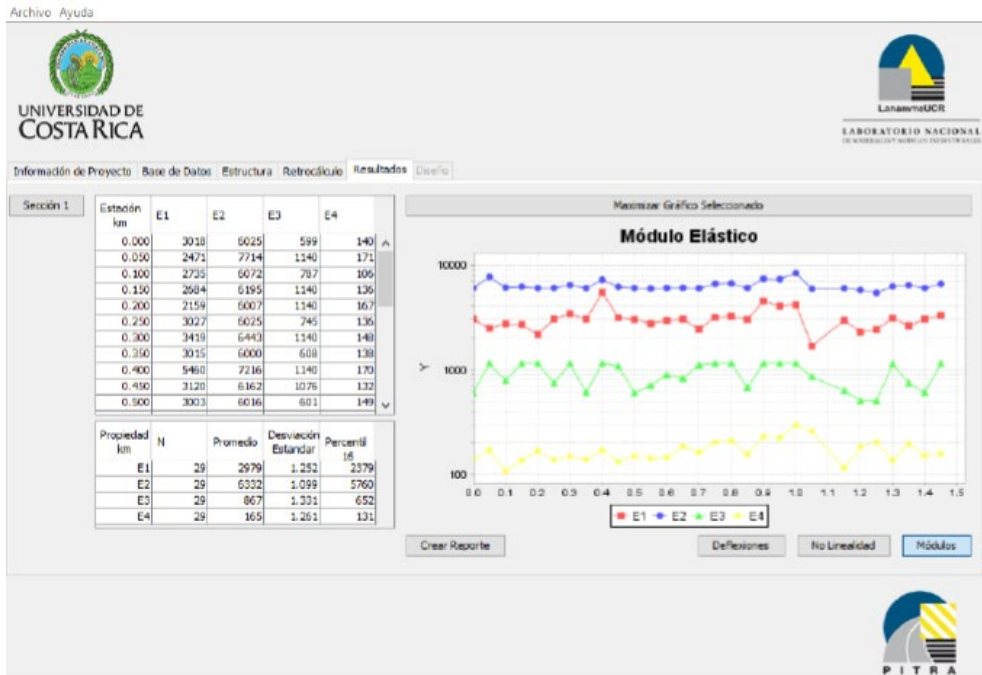


Figura 4.10 - Aba “Resultados” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

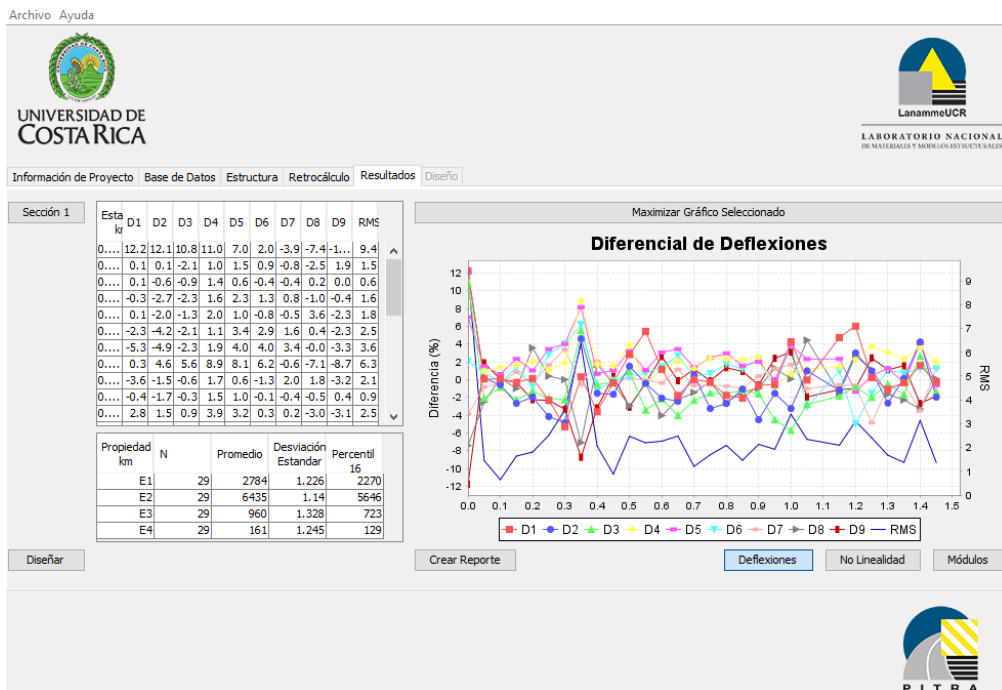


Figura 4.11 – Interface do botão “Deflexiones” do PITRA-BACK (MATAMOROS, 2017).

O programa foi concebido em Java e pode apresentar erros, pois está em fase de desenvolvimento.

MATAMOROS (2017) sugere para futuras versões que haja a possibilidade da exportação de um relatório no formato Excel ou Word, seja usando uma biblioteca adicional ou formatos abertos como "csv" e "txt", bem como algum tipo de pesquisa que implemente solução usando bancos de dados de elementos finitos e a solução para bancos de dados de múltiplas camadas elásticas, a fim de reduzir os tempos computacionais.

O programa apresentou alguns inconvenientes que poderiam inviabilizar seu estudo no presente trabalho, como retroanalisar apenas dados do FWD da empresa Dynatest e somente com seu arquivo de saída (que são os que possuem as extensões .f25 e .F25). Assim, não é possível gerar um arquivo “modelo de bacias” (como no BackMeDiNa) com o relatório padrão, que é disponibilizado às empresas e afins, na maioria das vezes, em algum tipo de formato que permita sua leitura e manuseio pelo Excel. Este problema foi solucionado com um programa secundário, liberado por seu desenvolvedor apenas para a elaboração desta dissertação. Esse programa, até a apresentação do presente estudo, está com a evolução menos avançada que a do PITRA-BACK e pode apresentar instabilidades, tanto que, é sugerido que se use o arquivo original. Contribuindo para a possibilidade de erros, o usuário deve inserir as informações manualmente, sendo de sua responsabilidade verificar se os dados inseridos estão corretos e confiáveis. Concluída a inserção dos dados necessários as extensões “.F25” são geradas.

Por fim, após conversas por e-mail com o desenvolvedor do PITRA-BACK, o mesmo informou que o Lanamme tem a intenção de habilitar o programa de retroanálise para todos os formatos dos fabricantes dos FWDs mais utilizados no mercado mundial.

4.4 ELMOD

O ELMOD é a sigla de “*Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design*” (Avaliação de módulos de camadas e projeto de reforço). É um programa de retroanálise, restauração e manutenção de pavimentos, concebido pela empresa Dynatest, que objetiva auxiliar engenheiros responsáveis pelo gerenciamento de redes rodoviárias ou aeroportuárias. Este programa trabalha diretamente com os ficheiros produzidos pelo FWD da empresa supracitada, que são as extensões .F25, podendo realizar uma análise estrutural com base em parâmetros definidos pelo usuário.

A Dynatest foi fundada em 1976 por três colegas da Universidade Técnica da Dinamarca; Mark Hayven, Richard Stubstad e Anders Sorensen. A equipe desenvolveu o primeiro deflectômetro de impacto. Mark Hayven era o cérebro comercial, Richard Stubstad, o Engenheiro Civil, e Anders Sorensen, o Engenheiro Mecânico e Eletrônico (DYNATEST, 2018).

No programa ELMOD, pode-se escolher entre três procedimentos de retroanálise: o “*Radius of Curvature*” (raio de curvatura) e o “*Deflection Basin Fit*” (ajuste das bacias de deflexão), sendo os métodos de cálculo baseados na teoria de Odemark-Boussinesq, explicados no capítulo 2, utilizados em ambos. Concomitante com estes dois métodos de retroanálise, existe a terceira opção: o FEM/LET/MET cujas siglas correspondem a “*Finite Element Method*” (FEM), “*Linear Elastic Theory*” (LET) e “*Method of Equivalent Thickness*” (MET). Entretanto, esta opção apenas se encontra disponível para projetistas que tenham uma licença especial por parte da Dynatest.

As medições dos geofones mais afastados do centro da placa são utilizadas no método “*Radius of Curvature*”, determinando as características não-lineares do solo de fundação, enquanto que as leituras dos geofones mais próximos da placa são utilizados para o cálculo dos módulos das camadas mais superficiais. De acordo com a resposta geral do pavimento à força aplicada, é calculada a rigidez das restantes camadas (CORREIA, 2014). Um inconveniente dessa metodologia é que só é possível realizar a análise de um pavimento com um máximo de 3 camadas independentes, ou com 4 camadas caso seja introduzida a razão entre 2 módulos de camadas adjacentes, por exemplo entre o solo de fundação e a camada granular. Esta relação pode ser inserida de forma automática ou manual, por meio da equação 4.2

$$\frac{Eg}{ES} = 0,2 \times h_g^{0,45} \quad (4.2)$$

Onde:

Eg é o módulo da camada granular com uma determinada espessura h_g (mm);

Es é módulo da camada do solo de fundação.

O procedimento “*Deflection Basin Fit*” difere do método “*Radius of Curvature*” na contínua realização de iterações, até que as diferenças entre as deflexões calculadas e as deflexões medidas pelo FWD convirjam para uma tolerância específica para todos os geofones. Este método permite a análise de até 5 camadas (incluindo o subleito).

Para iniciar a retroanálise, segundo o manual do ELMOD 6 (DYNATEST, 2018), na tela inicial (Figura 4.12) existe um menu principal. Selecionar a aba projeto e a opção banco de dados e depois criar novo. A janela do navegador será aberta, permitindo a seleção do local onde criar seu banco de dados do projeto e nomeá-lo. A extensão do arquivo deve ser “.mde”.

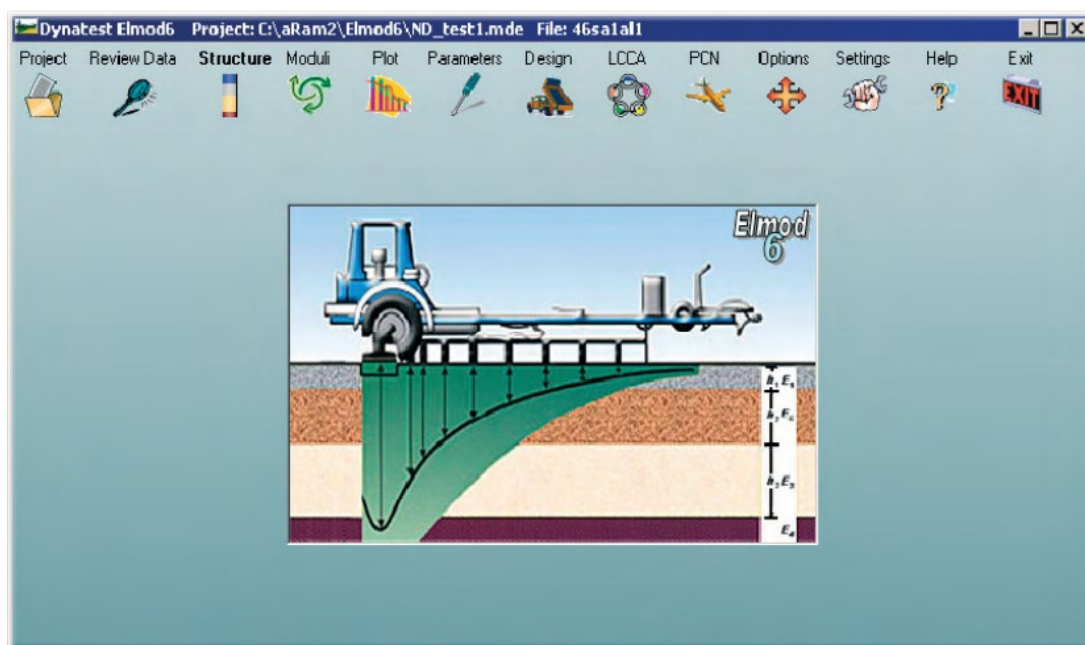


Figura 4.12 – Tela inicial do ELMOD (DYNATEST, 2018).

Deve-se clicar em Salvar, para o ELMOD gerar o banco de dados do projeto. O ELMOD pode abrir todos os arquivos FWD padrão armazenados por um equipamento da Dynatest FWD ou HWD, independentemente da versão do programa de campo ou formato de arquivo. Uma caixa de diálogo padrão ativa a escolha da localização do diretório e do subdiretório. Por padrão, todos os arquivos extensões como .FWD, F10, .F20, .F25 e .MDB são mostrados.

Após o carregamento dos dados a tela de “*Structure*” deve ser preenchida, exceto o campo que delimita o segmento escolhido no banco de dados (Figura 4.13).

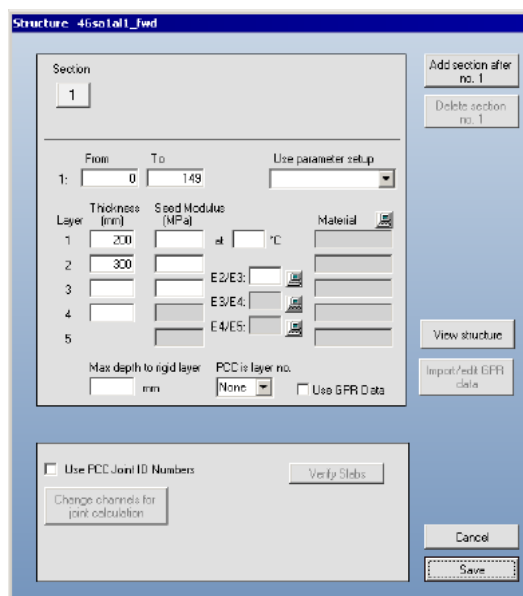


Figura 4.13 - Janela de introdução de dados da estrutura no ELMOD (DYNATEST, 2018).

O programa permite dividir os segmentos, transformando-os em seções, possibilitando que, para um mesmo levantamento, que gera um arquivo de dados único, que se dividam os trechos com características semelhantes. Para efetuar este procedimento deve-se clicar no botão “*Add section after n° 1*” presente no canto superior da janela de estruturas. Por exemplo, o segmento apresentado na Figura 4.13 vai da estaca 0 ao 149, mas esse segmento possui características distintas de espessura das camadas, então deve-se dividi-lo em seções, como demonstrado na Figura 4.14 que exemplifica a divisão em 3 trechos.

Clicando no botão “*View Structure*” um desenho esquemático da estrutura será apresentado, conforme a Figura 4.15.

Após este procedimento o botão “*Moduli*” da tela inicial é destravado, possibilitando o acesso à tela de retroanálise dos módulos elásticos (Figura 4.16).

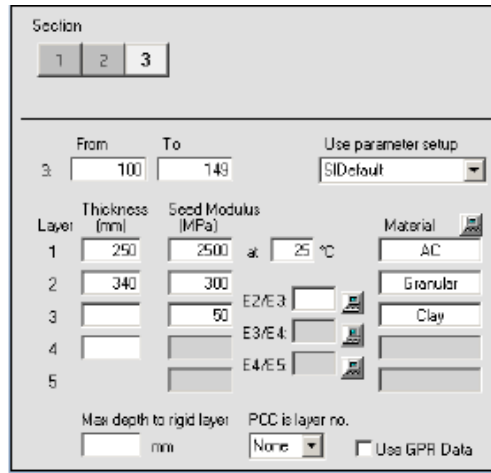


Figura 4.14 – Tela que exemplifica a divisão de segmentos, seção 3 (DYNATEST, 2018).

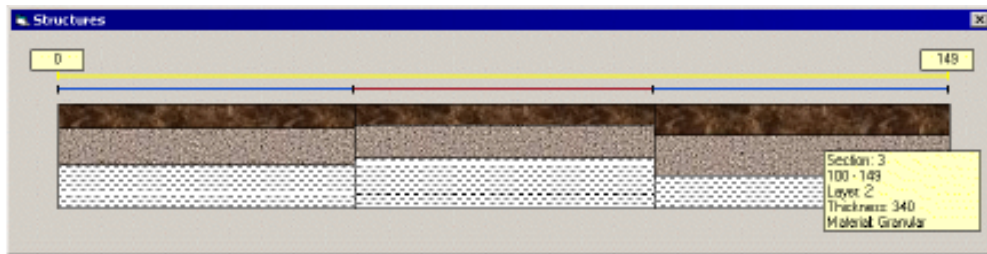


Figura 4.15 - Desenho esquemático da estrutura em seções (DYNATEST, 2018).

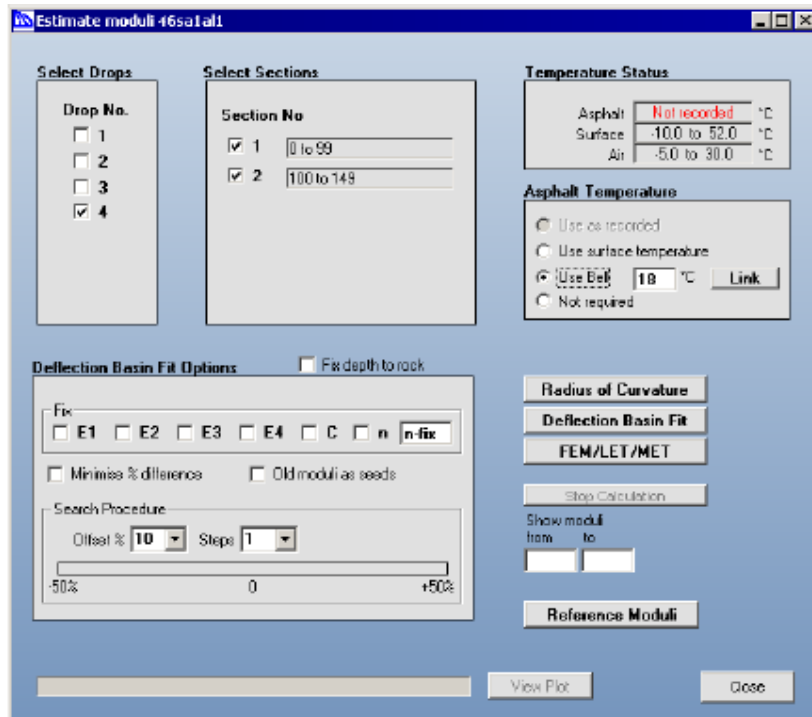


Figura 4.16 - Tela de retroanálise dos módulos elásticos do ELMOD (DYNATEST, 2018).

Para a metodologia “*Deflection Basin Fit*”, que foi efetivamente utilizada nesta dissertação, é necessário introduzir valores de módulos “semente” ou iniciais, das distintas camadas para o cálculo das bacias de deflexão.

O erro entre as deflexões calculadas e as medidas é estimado e, com base no valor do erro, os módulos são alterados de modo a minimizar o mesmo. O processo iterativo continua até a solução obtida apresentar o erro aceitável dentro na faixa especificada.

Este tipo de procedimento de retroanálise possui limitações. Combinações distintas da estrutura do pavimento podem resultar em deflectogramas semelhantes, conforme visto no capítulo 2. O projetista deve especificar no ELMOD os limites para os módulos que o programa deve respeitar durante o processo iterativo de convergência, visando minimizar tais distorções, e ainda assim, analisar se a solução proposta é coerente com os materiais existentes no campo.

Por exemplo, para um sistema composto por 2 camadas, considerando uma camada sobre o subleito, este problema não acontece. Considerando uma estrutura constituída por 3 camadas, é possível que ocorra este problema, principalmente se os módulos de duas camadas forem similares ou se o módulo da camada intermédia for próximo do valor do módulo do solo de fundação (DYNATEST, 2018). Em pavimentos de 4 ou 5 camadas, distintos conjuntos de módulos podem originar bacias de deflexões semelhantes. Nessa situação, somente os dados referentes às deflexões medidas pelo FWD não são suficientes para se estimar com segurança uma boa solução, sendo necessário limitar, como referido, os valores dos módulos e também inserir valores “semente” que sejam coerentes com as propriedades dos tipos de materiais que compõem as camadas do pavimento em análise, ou fixar valores para os módulos de uma ou mais camadas, se for necessário. Ainda como alternativa a estas recomendações, pode-se reduzir o número de camadas do pavimento, aglutinando camadas cuja composição seja semelhante (CORREIA, 2014).

O programa ELMOD possibilita a simulação do efeito de comportamento do solo de fundação não linear, caso uma camada rígida não esteja presente no modelo, e por meio das deflexões medidas, fornece os coeficientes “C” e “n” da equação 4.3

$$E_0 = C \times (\sigma_1 / \sigma)^n \quad (4.3)$$

Onde:

E_0 = “surface modulus” (MPa);

σ_1 = tensão vertical (MPa);

σ = tensão de referência, normalmente 160 MPa;

C = constante;

n = constante negativa.

A magnitude do comportamento não linear do solo é mensurada pela constante “ n ”. Sendo “ n ” igual a zero, o solo tem um comportamento elástico-linear e à medida que o valor de “ n ” diminui se torna evidente um comportamento tendendo a não linear.

4.5 Planejamento da Pesquisa

O presente estudo utilizou o banco de dados real de uma Rodovia Federal que apresenta relevância histórica e econômica para o País.

A BR-153, também conhecida pelos nomes de Rodovia Transbrasiliana e de Rodovia Belém-Brasília, é a quinta maior rodovia do Brasil, totalizando 3.585 quilômetros de extensão. Ao longo de todo o seu percurso, a BR-153 passa pelos estados do Pará, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, terminando na Fronteira Brasil–Uruguai, sendo a principal ligação do Meio-Norte do Brasil com a Região geoeconômica Centro-Sul do país. Somado a esses fatores, o grande fluxo de veículos que nela circulam, a torna atualmente uma das principais rodovias de integração nacional do Brasil.

A BR-153 foi construída quando o Tocantins necessitava de uma ligação com o restante do Brasil, e sua existência foi e continua sendo de suma importância para o seu desenvolvimento. Escolheu-se um segmento desta rodovia dentro deste estado. Mas a

intenção foi a comparação dos programas e o reflexo das retroanálises no projeto de reforço. Portanto, o banco de dados escolhido não foi atual, optando-se por arquivos de 2012, pela função didática desta dissertação (não é um projeto propriamente).

Diante do exposto, justifica-se um estudo sobre as condições dos pavimentos existentes na via, nessa região. Para tanto foram executados os seguintes passos:

- Busca de um banco de dados

Por meio de pesquisas e estudos sobre o trecho de interesse da BR 153, foi efetuada busca por materiais, acadêmicos e no meio técnico, que viabilizassem a avaliação das condições do pavimento da via, tanto por condições funcionais quanto por condições estruturais. No que tange às condições estruturais, foi selecionado o trecho que utilizou o equipamento FWD, descrito no capítulo 2, para o levantamento deflectométrico, obtendo-se assim, a medição de bacia de deflexão completa de cada segmento. De posse desses dados foi possível a utilização de programas de retroanálise de módulos elásticos, bem como a avaliação de alguns parâmetros empíricos para pavimentos flexíveis de base granular, como uma forma de se avaliar parcialmente o comportamento da bacia deflectométrica completa, funcionando como um tipo de diagnóstico da condição estrutural.

- Segmentação e a escolha do conjunto de dados

Obtido o material inicial de estudo procedeu-se à subdivisão do trecho em segmentos cujo comportamento estrutural pudesse ser considerado como homogêneo. Após a primeira divisão, foram escolhidos segmentos que apresentassem variabilidade de condições visuais, funcionais, estruturais e de materiais constituintes, de forma a ampliar a gama de análise, e que solicitassem algum tipo de reforço segundo o catálogo do Crema 2ª etapa, que regia o edital da época dos dados usados no presente estudo.

- Retroanálises

Com o banco de dados estabelecido, foram escolhidos os programas de retroanálise, BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD, conforme item 4.1, que

forneceram os módulos resilientes aplicados na verificação de vida útil de cada segmento, sendo avaliado o quanto o dimensionamento de reforço das estruturas examinadas pode ser afetado pelos resultados obtidos em cada método.

Após a escolha dos três programas se fez uma análise preliminar de sensibilidade, buscando verificação de ocorrência de grandes diferenças nos resultados. Para tanto se utilizou o programa AEMC, simulando-se uma estrutura teórica e de módulos de resiliência conhecidos para gerar uma bacia que foi usada como se fosse a de “campo”. Esta bacia teórica foi retroanalisada pelos três programas, os resultados estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Análise preliminar dos programas de retroanálise por ajuste de uma bacia gerada pelo AEMC.

Camada	Esp. (cm)	AEMC	Aderido			
		Modulo inicial (MPa)	BackMeDiNa	PITRA-BACK (MC e Esp. Eq.)	ELMOD (erro absoluto)	ELMOD (erro percentual)
Revestimento	15	5000	4864	5500	4901	3183
Base	18	450	479	495	599	646
Sub-base	20	300	277	330	399	474
Subleito	∞	100	100	110	144	208

As diferenças iniciais entre os resultados dos programas observadas na Tabela 4.2 permitem as seguintes considerações iniciais:

- a) A avaliação dos módulos obtidos deve levar em consideração as condições de contorno, como número de interações, faixa de variação do módulo inicial e tipo de erro admitido.
- b) Em relação ao erro, nas metodologias presentes no PITRA-BACK, só é possível trabalhar com erros percentuais. O ELMOD permite que se obtenha os resultados da retroanálise tanto por erros absolutos, quanto por percentuais, podendo-se visualizar significativas diferenças nos resultados, considerando as formas de aceitação do erro.
- c) As metodologias presentes no PITRA-BACK, convergiram para um mesmo resultado.

Assim sendo, validou-se a utilização dos programas escolhidos, sendo que para as retroanálises efetuadas no capítulo 5, foram considerados no ELMOD apenas erros absolutos, que apresentaram valores mais coerentes com os reais.

Considerando o estudo realizado por MORAES (2015), presente no item 2.6.4, que concluiu que as temperaturas registradas pelo FWD não são confiáveis para os cálculos da correção de temperatura na retroanálise, por se situarem longe da superfície do pavimento e não considerarem o gradiente térmico variável ao longo da espessura da camada asfáltica e da hora do dia, não foram efetuadas correções de temperatura no presente estudo.

- O Projeto de Reforço mecânico empírico e a comparação com as normas DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94

A partir do levantamento deflectométrico selecionado para este estudo foram obtidos módulos de elasticidade, pelos programas de retroanálise, e esses resultados possibilitaram a avaliação das espessuras de reforço indicadas por dois métodos atuais do DNIT, o PRO 11 e PRO 269.

Para uma melhor visualização de todo o processo descrito nesse item segue na Figura 4.17 um fluxograma do planejamento desta pesquisa.

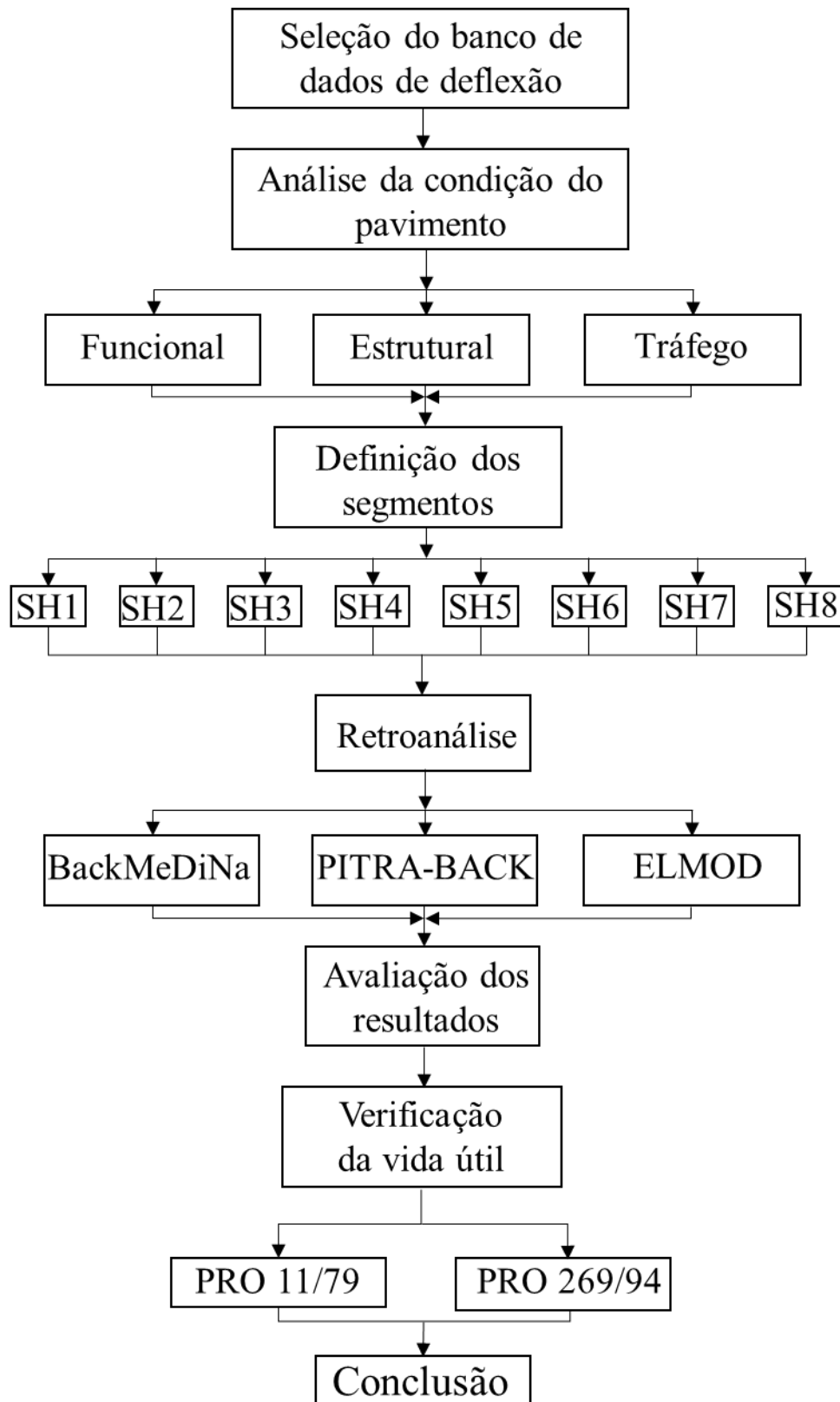


Figura 4.17- Fluxograma do planejamento desta pesquisa.

5 ANÁLISE E RESULTADOS

5.1 Introdução

Para atingir o objetivo principal desta dissertação, que é a análise de programas de retroanálise e verificação do efeito dos módulos obtidos no projeto de reforço, foi selecionado um conjunto de dados de deflexões de um trecho de uma rodovia federal, obtido em anos anteriores. Não se pretendeu confrontar as interpretações nem as soluções feitas pela empresa projetista à época. Lançou-se mão somente dos dados de bacias de deflexão, dados de levantamentos funcionais e de tráfego, para compor um roteiro de análise que representasse uma situação real.

O presente estudo baseia-se no Projeto Executivo de Engenharia para Restauração de Rodovia BR153 - CREMA 2ª Etapa 2008/2012, supervisionado pela Superintendência Regional do DNIT no Estado do Tocantins – Unidade Local de Gurupi, nas condições a seguir:

- Subtrecho: Entr. TO-255(B) (p/ Porto Nacional) – Div. TO/GO;
- Segmento: km 556,3 ao km 799,3;
- Extensão: 243,0 km.

Este projeto básico foi aprovado em 2014, mas não foi executado. Como já dito, aqui fez-se uso somente das informações e dados levantados, e resolveu-se dizer onde se situa somente porque esta informação é relevante para justificar alguns aspectos, tais como a natureza dos solos e o clima

Na década de 1950, a rodovia Belém-Brasília começou a ser construída e foi concluída em 1974, sendo parte integrante da BR-153, que começa no Pará e termina no Rio Grande do Sul. Nos cerca de 2.800 km em que a rodovia tem a designação Belém-Brasília, ela atravessa os Estados do Pará, Maranhão, Tocantins e Goiás, partindo de Belém (REVISTA OE, 2011).

Nos seus quase 50 anos de implantação, a BR-153 já foi beneficiada com intervenções de restauração diversas vezes, utilizando-se os métodos de reforço correntes do antigo DNER e do atual DNIT. Nestes métodos, somente a medida de deflexão

máxima a cada estaca, alternadas em relação ao eixo da pista, foi usada para o projeto de reforço.

Com o desenvolvimento do novo método M-E do DNIT (MeDiNa), a sistemática que deve ser empregada para o projeto de reforço é a análise das bacias de deflexão completas. Assim, buscou-se os dados de um trecho no qual o FWD foi utilizado para os levantamentos, sendo disponível as bacias completas em todas as estacas, possibilitando a utilização dos programas de retroanálise escolhidos para estimar os módulos de elasticidade das camadas nesta dissertação.

Após avaliações dos dados disponíveis, foi selecionado um subtrecho específico para, como já foi dito, compor um banco de dados completo de um trecho real sem, no entanto, ter a preocupação aqui de delimitar exatamente o local, por se tratar de dados antigos e não se ter a pretensão de comparar com o projeto propriamente.

Visando ilustrar um protocolo de análise de um projeto de restauração, serão transcritos alguns aspectos complementares aos levantamentos deflectométricos, disponíveis nos volumes do projeto do DNIT.

5.2 Levantamentos iniciais

Além dos dados de levantamentos deflectométricos disponibilizados, a autora desta pesquisa teve acesso aos seguintes relatórios relacionados ao trecho: Estudos Geotécnicos -Tomo I-Dezembro/2012 (volume 3) e Memória Justificativa - Tomo I-Maio/2014 (volume 3b).

Devido ao fato de ser um trecho muito antigo, várias intervenções já foram feitas e, nestes volumes citados, é possível ter alguma informação deste histórico, sendo compiladas estas informações no Anexo I. A maioria do trecho selecionado tem camada de base de solo melhorado com cimento ou de brita graduada simples e sub-base de solo laterítico local. Em geral, o subleito apresenta valores elevados de CBR (parâmetro usado na época), entre 10% e 18%, laterítico também, e está em conformidade com o mapa pedológico do estado, que será apresentado item 5.3 (Figura 5.4), que indica presença de latossolos na região.

Dando um salto nas informações, em 2016, o consórcio de empresas Ethos/Hwn/Consol venceu a licitação do km 556 ao km 620,4, com o RDC integrado (Regime De Contratação Diferenciada, incluindo a elaboração de novo projeto básico).

Em outubro de 2018, foi licitado o trecho do km 622 ao 701 para a empresa Eletro Hidro LTDA, em RDC não integrado (sem projeto básico, somente execução).

Portanto, os dados do projeto antigo que serviram de base para esta dissertação, que são de anos atrás, não têm relação com a condição atual da estrada. Todos os dados utilizados se referem a uma época passada e são utilizados somente para fins acadêmicos.

5.3 Drenagem e Clima

Por meio de vistorias realizadas pela projetista em 2012, no segmento em estudo, foi verificado que os dispositivos de drenagem superficiais existentes (sarjetas de corte e de aterro, valetas para proteção de corte e aterro, meios-fios, saídas e descidas d'água, caixas coletoras e bueiros de greide), em sua grande maioria, apresentavam boas condições do ponto de vista estrutural e hidráulico, demandando, em poucos trechos, reparos ou reconstrução e limpeza nas sarjetas (Figura 5.1), valetas, meios-fios e descidas d'água.



Figura 5.1 – Exemplos de sarjetas que deverão ser limpas ou receber algum reparo no BR 153 (DNIT, 2012)

Observa-se ainda, pouca ocorrência de dispositivos como valetas de proteção no projeto, bem como de bueiros, predominando bueiros de greide que transpõem pequenos córregos locais e pouquíssimos bueiros de corte (considerando-se a extensão de todo o segmento).

Esse comportamento se deve ao trecho em estudo pertencer a uma região de relevo caracterizado por superfícies aplainadas extensas, rochas cristalinas e sedimentares com altitudes máximas de 500 m na maior parte predominantes em todo o território, formado por quatro unidades geomorfológicas, sendo que o Planalto cristalino Araguaia-Tocantins ocupa a porção sul do estado com altitudes entre 300 e 600m, constituindo-se na região mais elevada e a Planície aluvial do médio Araguaia, planície de inundação que recebe deposições aluvionares.

A região é formada majoritariamente por superfícies de pediplanos, as quais são constituídas a partir de processos predominantemente erosivos, onde houve um rebaixamento das saliências, tendendo ao nivelamento do relevo (Figura 5.2) (DNIT, 2012).

Há certa homogeneidade climática no Tocantins. Porém, na região situada ao sul onde os segmentos estão localizados, o clima predominante é o subúmido ou seco, os meses chuvosos e os secos se equilibram e as temperaturas médias anuais diminuem lentamente, à medida que se eleva a altitude. As máximas coincidem com o rigor das secas em setembro/outubro com ar seco e enfumaçado das queimadas de pastos e cerrados, apresentando temperatura média de 28°C, conforme a Figura 5.3 (DNIT, 2012).

A vegetação é o espelho do clima. As árvores do cerrado estão adaptadas à escassez de água durante uma estação do ano. Caracterizam-se por uma vegetação campestre, com árvores e arbustos esparsos, útil à criação extensiva do gado, por ser uma vegetação de campos naturais, com espécies vegetais dos diferentes tipos de cerrado. As árvores do cerrado são de pequeno porte, poucas folhagens, raízes longas adequadas à procura de água no subsolo, folhas pequenas duras e grossas (DNIT, 2012).

O solo predominante na região em estudo é o latossolo vermelho-amarelo, e em minoria o latossolo vermelho-escuro, conforme pode ser observado na Figura 5.4.

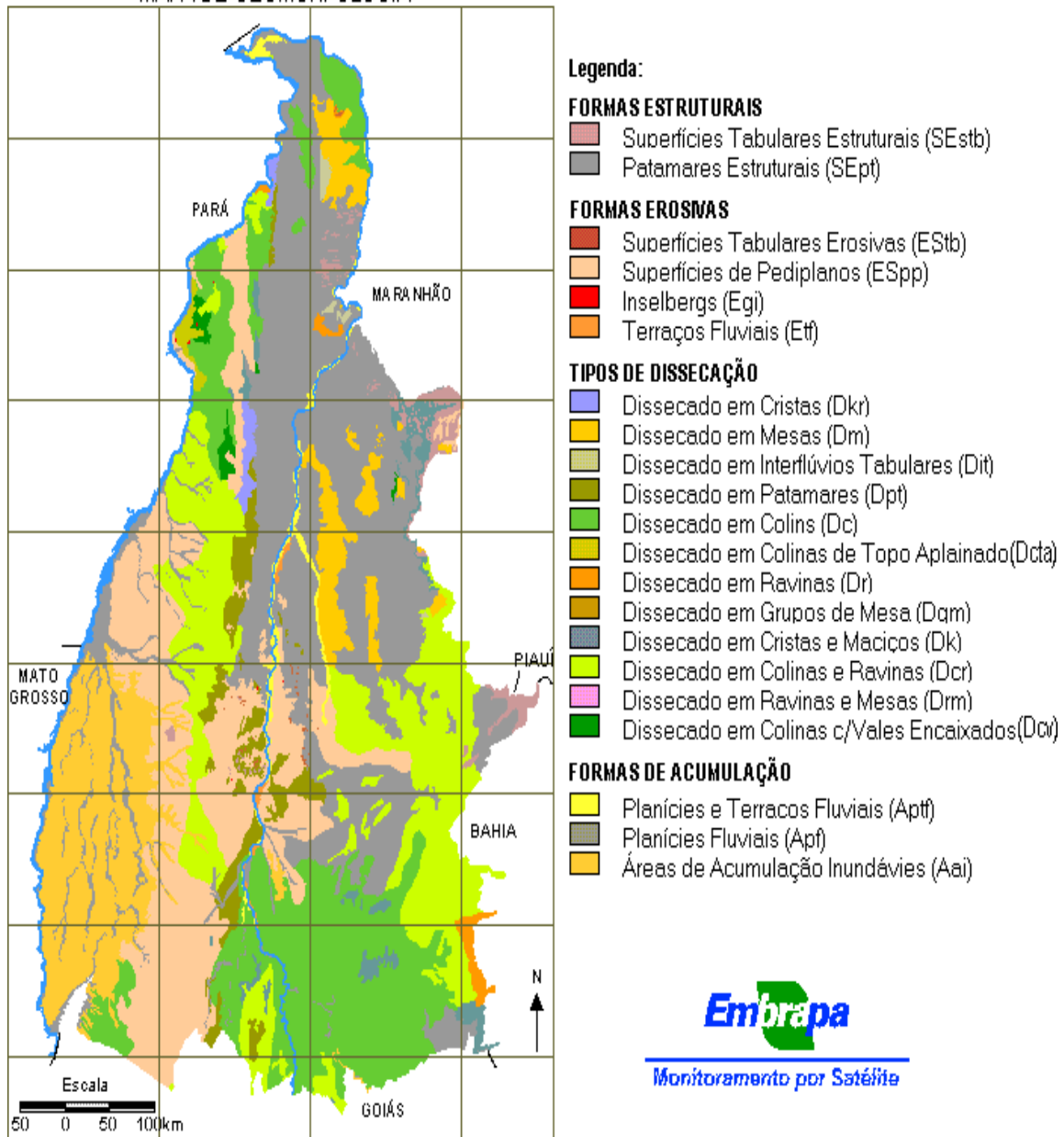


Figura 5.2 - Mapa da geomorfologia local do segmento em estudo (DNIT, 2012).

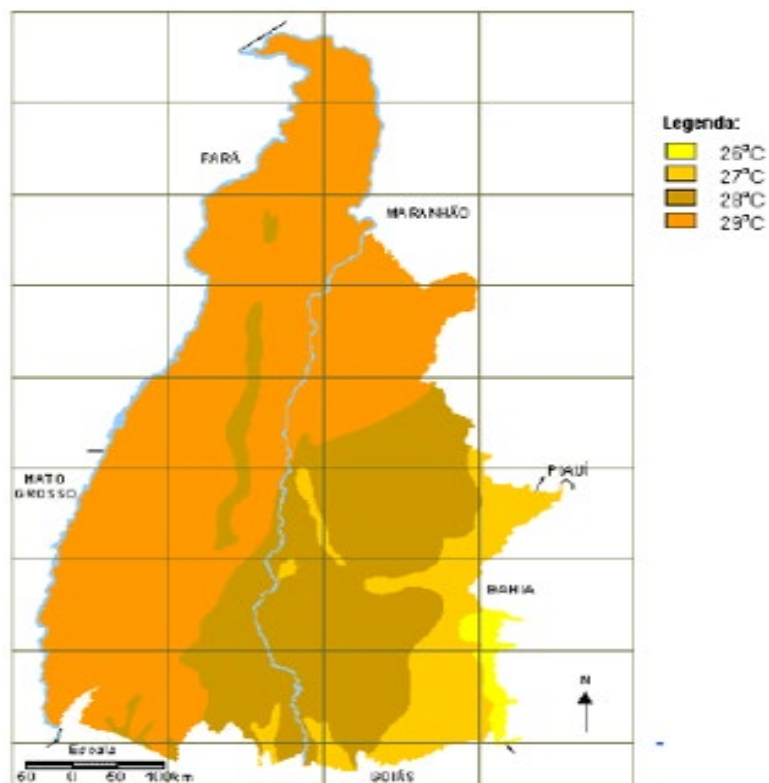


Figura 5.3 - Mapa da temperatura média anual do ar onde se localiza o segmento em estudo (DNIT, 2012).

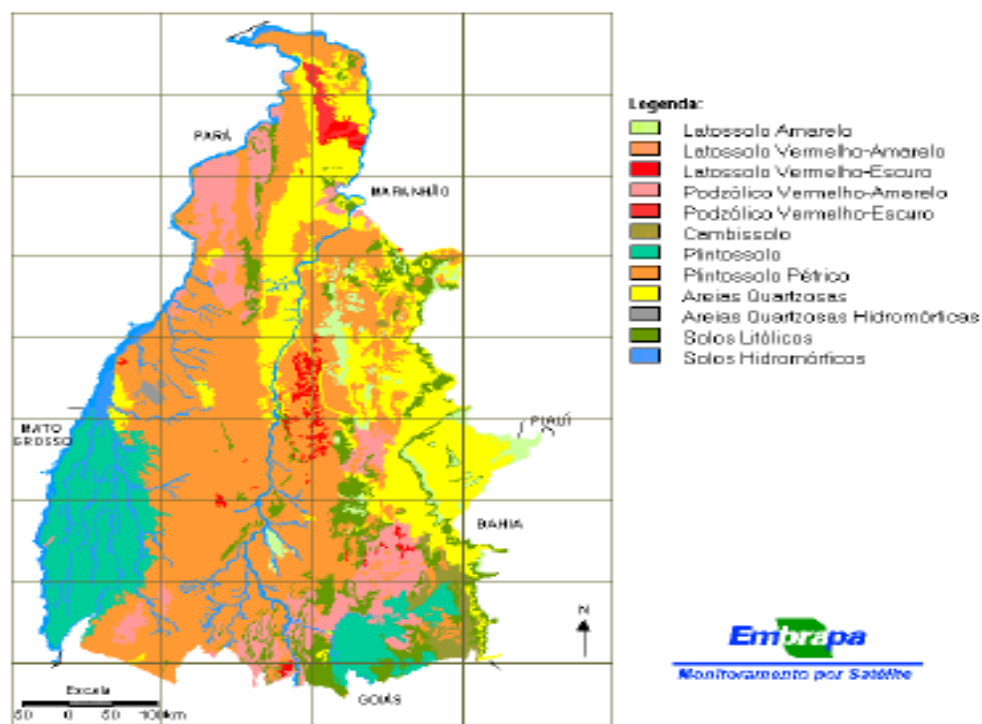


Figura 5.4- Mapa da pedologia local do segmento em estudo (DNIT, 2012).

5.4 Estudo de tráfego

Objetivando a determinação dos Volumes Médios Diários do tráfego e fluxos atuais, suas composições por tipo de veículo, as projeções para o período de vida útil do projeto e os parâmetros necessários ao dimensionamento do pavimento, a empresa projetista efetuou os seguintes procedimentos: contagem volumétrica e classificatória de veículos; coleta dos dados históricos dos levantamentos de tráfego; consideração da sazonalidade; determinação do volume médio diário de tráfego; projeção do tráfego e cálculo do Número “N”.

Objetivando caracterizar completamente o tráfego, foram realizadas, em junho de 2008, contagens volumétricas e classificatórias de veículos nos dois sentidos de tráfego, em períodos de sete dias, com duração de 24 horas por dia, no Posto 1 no km 561,00 – Sentido Sul e Sentido Norte e no Posto 2 no km 723,40 – Sentido Sul e Sentido Norte. Adicionalmente, foram realizadas contagens de um dia, com duração de 12 horas, nos dois sentidos de tráfego, no Posto 3 no km 692,20 – Sentido Sul e Sentido Norte e no Posto 4 no km 785,70 – Sentido Sul e Sentido Norte.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, forneceu dados históricos do posto de contagem 8, localizado no município de Gurupi, no km 681,1 da BR 153, sendo avaliada a série histórica do ano de 2001, considerando, à época do levantamento, ser o ano mais próximo da elaboração do projeto.

As informações foram extrapoladas de forma a expandir os dados coletados no mês de junho, para os demais meses do ano. Na Figura 5.3 estão os dados históricos de contagem de tráfego disponíveis no site do DNIT, à época, considerados no ajuste sazonal.

O fator de sazonalidade mensal calculado para o mês de junho, conforme observado na Figura 5.5. é de 1,021, sendo aplicado para os Postos 1, 2, 3 e 4. Também foi feita a expansão dos dados de contagem dos postos de 12 horas para um dia inteiro, baseada nos resultados do Posto 2 de contagem deste estudo, resultando nos fatores de sazonalidade adotados no projeto, indicados na Tabela 5.1.

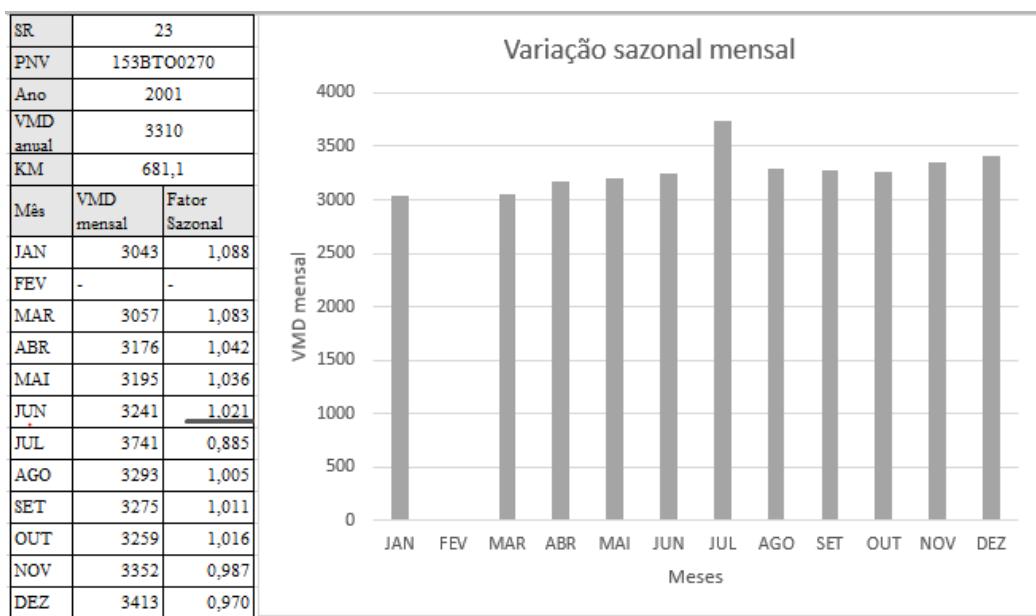


Figura 5.5- Variação Sazonal Mensal do Tráfego (DNIT, 2012).

Tabela 5.1 - Fatores de sazonalidade adotados nesta análise (DNIT, 2012).

Posto	Pista	Fator sazonal		
		Mensal	Semanal	Total
1	Sul/Norte	1,021	-	1,021
2	Sul/Norte	1,021	-	1,021
3	Sul	1,021	1,183	1,208
	Norte	1,021	1,072	1,095
4	Sul	1,021	1,183	1,208
	Norte	1,021	1,072	1,095

A determinação do volume médio diário (VMD) foi realizada por meio do cômputo dos dados obtidos na contagem de tráfego e aplicação dos fatores de ajuste sazonal, que foram utilizados multiplicando os dados coletados em campo a fim de se ter um número da representatividade anual do tráfego que operava naquele trecho da rodovia.

Assim, categorias utilizadas nas contagens volumétricas classificadas realizadas na rodovia de estudo, pela projetista à época, bem como os resultados do Volume Médio Diário (VMD) dessas contagens em cada posto, estão presentes na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Volume Médio Diário (VMD) em cada posto de contagem (adaptado de DNIT, 2012).

Tipo de Veículo	Posto 1		Posto 2		Posto 2		Posto 3		Posto 3		Posto 4		Posto 4			
	Sentido Sul		Sentido Norte		Sentido Sul		Sentido Norte		Sentido Sul		Sentido Norte		Sentido Sul			
	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade	VMD contagem sazonalidade	VMD com sazonalidade		
Carros Útilit.	618	631	644	658	512	523	569	581	740	894	952	1042	385	465	438	480
Ônibus	82	84	86	88	86	88	105	107	127	153	155	170	70	85	70	77
2C	81	83	72	74	83	85	81	83	112	135	73	80	96	116	67	73
3C	322	329	347	354	349	356	383	391	354	428	399	437	329	397	308	337
4C	1	1	1	1	2	2	7	7	0	0	2	2	1	1	1	1
281	5	5	5	5	13	13	12	12	0	0	23	25	2	2	1	1
282	56	57	66	67	77	79	77	79	74	89	55	60	69	83	59	65
283	344	351	363	371	380	388	377	385	316	382	259	284	351	424	315	345
382	10	10	8	8	22	22	15	15	18	22	43	47	2	2	0	0
383	141	144	144	147	155	158	183	187	156	188	157	172	146	176	125	137
2C2	9	9	3	3	3	3	5	5	1	1	0	0	0	0	2	2
2C3	4	4	2	2	9	9	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3C2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
3C3	3	3	0	0	5	5	1	1	0	0	2	2	2	2	2	2
3C4	0	0	0	0	6	6	5	5	0	0	0	0	3	4	4	4
382C4	10	10	7	7	18	18	11	11	6	7	17	19	12	14	1	1
38282	132	135	153	156	135	138	155	158	82	99	137	150	76	92	138	151
Comercial	1202	1227	1258	1284	1344	1371	1421	1450	1246	1505	1323	1449	1159	1400	1094	1198
Total	1820	1858	1902	1942	1856	1894	1990	2031	1986	2399	2275	2491	1544	1865	1532	1678

Após alguns estudos estatísticos, à época, optou-se por utilizar uma taxa de crescimento de 3%, para efetuar a previsão do final do período de projeto de 10 anos.

O carregamento da frota circulante na rodovia foi obtido, pela projetista, por meio de dados de pesagens de veículos realizadas no trecho da BR-153/TO no ano de 2005, que apresentavam os pesos brutos totais (PBT) de diversos veículos comerciais. O carregamento máximo por tipo de eixo permitido pela Lei da Balança, conforme o Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.053 de 23.09.1997 – resolução no 12 de 06/02/1998) correspondia a 6,0 tf no eixo simples dianteiro, e 10,0 tf, 17,0 tf e 25,5 tf para os eixos simples, tandem duplo e tandem triplo traseiros, respectivamente.

A análise destas informações por faixas de valores de PBT em relação aos valores máximos admissíveis para cada categoria de veículo permitiu determinar a frequência de carregamento baseada nas seguintes informações de carga dos veículos: limitada em 60% do PBT foram considerados “vazios”; entre 60% e 107,5% (resolução 104/99-CONTRAN permitia um percentual de tolerância de 7,5% no peso por eixo) do PBT foram considerados “carregados”; e acima de 107,5% do PBT foram considerados com excesso de carga. O resultado desta análise nos dados das pesagens de 2005 é sintetizado no gráfico da Figura 5.6.

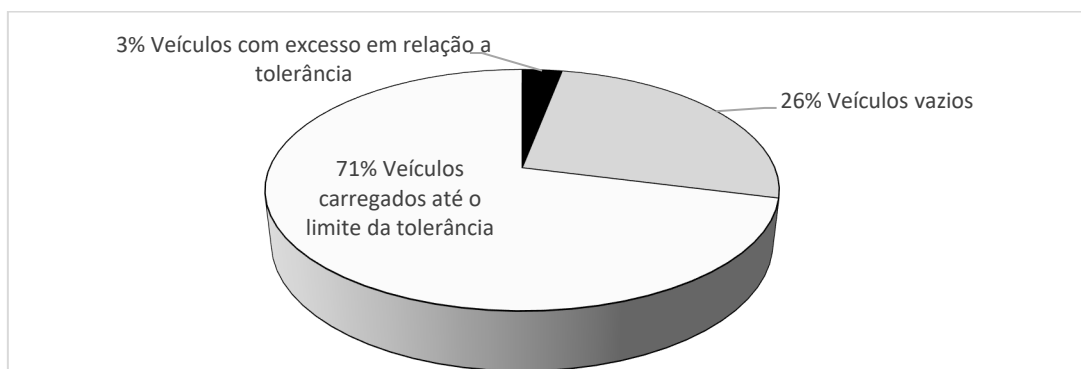


Figura 5.6- Dados das Pesagens de Tráfego de 2005 (DNIT, 2012).

Assim sendo, considerou-se que 25% dos veículos trafegavam vazios, 70% dos veículos com a carga máxima legal e 5% com excesso em relação ao Peso Bruto Total (PBT), adotando-se o fator climático regional Fr igual a 1,0, o fator direcional e o

percentual de veículos comerciais na faixa solicitada iguais a 100 % no cálculo do número N resumidamente apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Tabela Resumo do Número “N” (DNIT, 2012).

Posto	Sentido	Número “N”	
		AASHTO	USACE
1	Sul	$1,45 \times 10^7$	$5,28 \times 10^7$
	Norte	$1,51 \times 10^7$	$5,54 \times 10^7$
2	Sul	$1,64 \times 10^7$	$5,96 \times 10^7$
	Norte	$1,69 \times 10^7$	$6,23 \times 10^7$
3	Sul	$1,67 \times 10^7$	$5,84 \times 10^7$
	Norte	$1,63 \times 10^7$	$5,99 \times 10^7$
4	Sul	$1,6 \times 10^7$	$5,69 \times 10^7$
	Norte	$1,4 \times 10^7$	$5,15 \times 10^7$

5.5 Avaliação funcional e estrutural do pavimento

Os pavimentos existentes foram avaliados em conformidade com a Norma DNIT 006/2003 - PRO que possibilitou a determinação do índice indicativo do grau de severidade ou de deterioração das estruturas de pavimento denominado Índice de Gravidade Global (IGG).

Por meio da medição da irregularidade associada à via, as condições de conforto foram avaliadas. Os levantamentos de campo foram realizados com o perfilômetro laser DYNATEST 5051 Mk-III RSP. O equipamento é composto por três sensores lasers para medição de profundidade da trilha de roda, dois acelerômetros para compensação de esforços inerciais e um sensor óptico de partida assentados em uma barra transdutora.

A avaliação estrutural da condição do pavimento para o projeto da época foi efetuada com o levantamento do histórico do pavimento, e por abertura de poços para obter o perfil do pavimento, que se encontra resumido no Anexo I, classificação expedita dos materiais que o compõem, caracterização geométrica, coleta de amostras para caracterização por ensaios in situ e em laboratório e medidas de deflexões recuperáveis.

Como consequência da estrutura antiga de pavimento flexível, com camadas de solo laterítico na infraestrutura e sobre um subleito local de elevada qualidade, cujos pontos críticos de comportamento estrutural foram recuperados no início da década de 2000, o comportamento resiliente das camadas de fundação e de infraestrutura do pavimento se mostra predominantemente adequado (DNIT, 2012).

A caracterização do comportamento estrutural dos pavimentos foi obtida do levantamento deflectométrico utilizando-se o equipamento FWD Dynatest 8000, com carga equivalente ao eixo padrão rodoviário de 8,2 tf. Os deslocamentos recuperáveis (deflexões) foram medidos por geofones instalados ao longo de uma barra metálica, posicionados a 0, 20, 30,45, 65, 90 e 120 cm do ponto de aplicação da carga na superfície do pavimento.

O primeiro geofone mede a deflexão sob a carga (Df_0), o segundo geofone mede a deformação do pavimento à distância de 20 cm do ponto de aplicação da carga (Df_1), e assim por diante. Os valores de deflexão máxima (Df_0) representam a condição estrutural do pavimento como um todo. A Figura 5.7 apresenta o resumo estatístico das leituras de deflexões máximas realizadas com FWD à época do projeto.

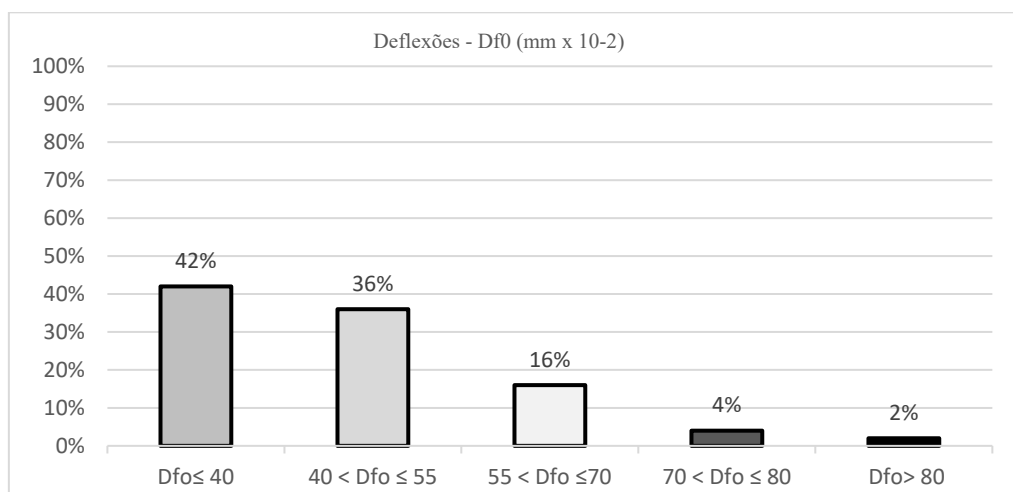


Figura 5.7- Deflexões máximas nas bacias realizadas com FWD (DNIT, 2012).

A avaliação estrutural da condição do pavimento para um projeto do tipo CREMA 2ª Etapa previa medidas de deflexões recuperáveis com Viga Benkelman de acordo com a norma DNER-ME 024/94, ou através de deflectômetro de impacto FWD de acordo com a norma DNER-PRO 273/96.

As medições resultantes, levantadas de 20 em 20 m, alternadamente, foram compatibilizadas com as medidas obtidas pela viga Benkelman, pela empresa projetista, de acordo com as expressões 5.1 e 5.2 propostas à pág. 65 do Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos (1998), do extinto DNER:

$$\text{Para deflexões } D_{FWD} < 85 \times 10^{-2} \text{ mm: } D_B = 20,645 (D_{FWD} - 19)^{0,351} \quad (5.1)$$

$$\text{Para deflexões } D_{FWD} > 85 \times 10^{-2} \text{ mm: } D_B = 8,964 (D_{FWD} - 60)^{0,715} \quad (5.2)$$

Onde:

D_{FWD} = deflexão obtida com o FWD

D_B = deflexão obtida com a viga Benkelman.

Assim, o resultado estatístico, com a conversão dos valores para leituras de viga Benkelman, passa a ser representado pelo gráfico da Figura 5.8.

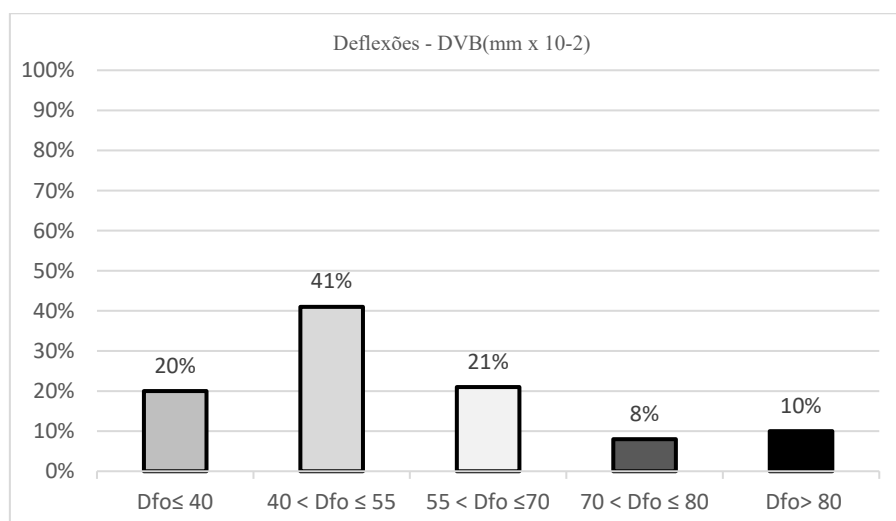


Figura 5.8 - Conversão das medições do FWD para leituras de viga Benkelman (DNIT, 2012).

Usar expressões que correlacionam valores entre estas medidas é admitir uma generalização não de todo aceitável, pois o carregamento aplicado nos dois equipamentos é muito distinto. Este é mais um problema dos métodos de reforço tradicionais utilizados pelo DNIT ainda, que foram estabelecidos para deflexões medidas com a Viga Benkelman.

Outra forma de se avaliar as características elásticas dos componentes da porção superior da estrutura, ou seja, do próprio revestimento e da base, é através do raio de curvatura da bacia de deflexão medida. No caso de se considerar o raio de curvatura a 25 cm, como proposto na norma DNER-PRO 11/79, a expressão para sua determinação é a equação 5.3:

$$Raio = \frac{3125}{D_0 - D_{25}} \quad (5.3)$$

Quando o valor do raio de curvatura é baixo, indica um arqueamento da deformada, denotando uma condição estrutural crítica. A análise que associa os parâmetros da deflexão máxima e do raio de curvatura, possibilita uma análise um pouco melhor do que só a deflexão máxima. A seguir, a Figura 5.9 ilustra os resultados de raio de curvatura obtidos à época no segmento selecionado para esta pesquisa.

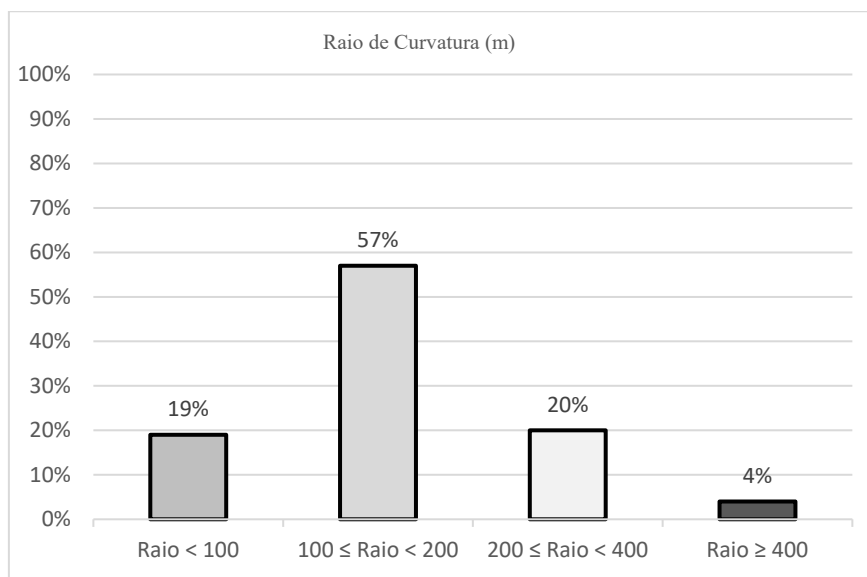


Figura 5.9 - Raio de curvatura obtidos no segmento (DNIT, 2014).

Informações acerca das condições de deformabilidade das camadas finais de terraplenagem ou subleito podem ser obtidas por meio dos valores Df_6 . O trecho da rodovia em estudo apresenta predominância de valores superiores 4×10^{-2} e inferiores a 8×10^{-2} mm, conforme o resumo estatístico presente na Figura 5.10. Estes resultados

indicam módulos de resiliência do subleito superiores a 150 MPa em grande parte do trecho, por experiências citadas na literatura.

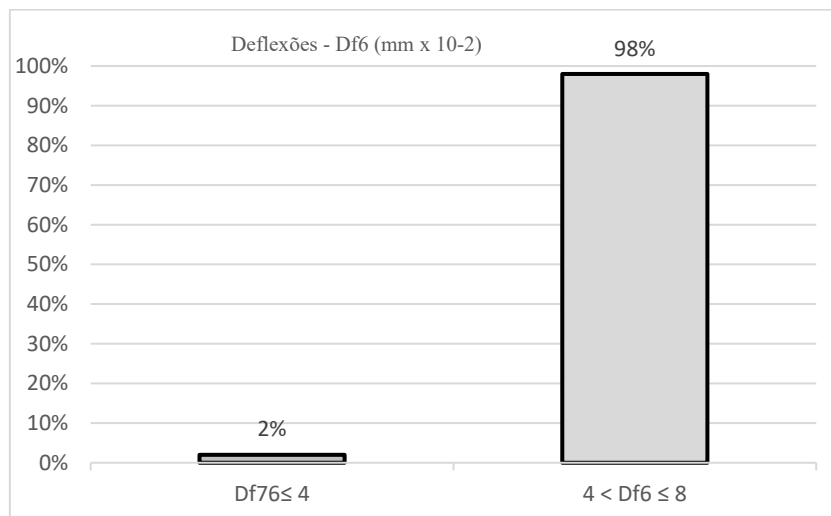


Figura 5.10 - Valores Df_6 do trecho selecionado para esta pesquisa (DNIT, 2014).

A análise dos dados de raio de curvatura, de acordo com os critérios da norma DNER-PRO 11/79 (raio inferior a 100 m), indica a ocorrência de 19% de pontos ensaiados com o FWD com inadequada capacidade de distribuição de cargas pela camada de base.

Em termos de deflexão, com valores medidos com FWD e convertidos para valores de deflexões de viga Benkelman, a maior parte dos valores encontra-se entre 40×10^{-2} mm e 80×10^{-2} mm, podendo indicar a necessidade de recapeamento para adequação da estrutura ao tráfego previsto (Tabela 5.3) para o horizonte de projeto de 10 anos, que gira em torno de $N = 6 \times 10^7$ repetições do eixo padrão.

5.6 Segmentos homogêneos

De posse de todos os elementos da avaliação do pavimento, procedeu-se à subdivisão do trecho em segmentos cujo comportamento estrutural pudesse ser considerado como homogêneo. A segmentação homogênea foi realizada pela projetista à época, inicialmente considerando como parâmetro de referência da condição estrutural do pavimento como um todo, representado pela deflexão máxima. Nessa etapa, foi utilizado

o método das diferenças acumuladas da AASHTO para a divisão de um trecho da rodovia em segmentos homogêneos.

A seguir os segmentos homogêneos obtidos pela deflexão máxima, foram reavaliados e reajustados, pela projetista, em função dos aspectos superficiais e funcionais observados nos demais levantamentos realizados, bem como dos limites estabelecidos pelos parâmetros de construção e de tráfego.

Seguiu-se então a determinação, para cada um dos novos segmentos homogêneos obtidos, os parâmetros deflectométricos médios e característicos para efeito de dimensionamento da restauração, bem como os dados de avaliação funcional.

Segundo a projetista, o que tange à condição funcional observou-se que, em termos gerais, o início do trecho em questão encontrava-se em condições adequadas de conforto ao rolamento com poucas ocorrências de defeitos na superfície que, em sua maioria, não interferiam na qualidade de rolamento. Havia pequenos trechos em condições piores espaçados ao longo do trecho, com início de afundamento de trilhas de roda (ATR), especialmente em rampas, e no trecho final observou-se a maior incidência de defeitos em função da instabilidade da mistura asfáltica existente no local.

A seguir são descritas de forma sucinta as características dos segmentos que visualmente se distinguiam ao longo do trecho, à época referida dos levantamentos:

- Estaca 0 à estaca 1.968: apresentava condições médias, com pontos localizados com presença de fissuras, trincas, afundamento plástico e ATR.
- Estaca 1.968 à estaca 2.317: apresentava alto grau de trincamento, desgaste e remendos antigos e novos.
- Estaca 2.317 à estaca 3.546: segmento apresentava condições satisfatórias, com desgaste, trincas e pontos localizados com afundamento plástico.
- Estaca 3.546 à estaca 3.600: apresentava ondulações, trilha de rodas, remendos, alto grau de trincamento e desgaste.
- Estaca 3.600 à estaca 4.945: apresentava boas condições, porém com a presença de trincas, remendos e ATR em pontos localizados.

- Estaca 4.945 à estaca 5.585: segmento em péssimas condições, com elevada frequência de trincamento, ondulações, afundamento plástico e remendos.
- Estaca 5.585 à estaca 5.760 (Pista Dupla): segmento em condições satisfatórias, apresentando trincas em pontos localizados além de remendos e afundamento plástico.
- Estaca 5.760 à estaca 7.180: segmento em boa condição, apresentando apenas trincas e remendos em pontos localizados.
- Estaca 7.180 à estaca 10.061: apresentava condições ruins, com elevada frequência de trincas, desgaste e outros defeitos, tais como remendos, afundamento plástico e ATR.
- Estaca 10.061 à estaca 12.138 + 12,00: segmento crítico, apresentando elevadas ondulações, ATR, escorregamento da mistura asfáltica e trincamento, implicando em perda de qualidade de rolamento para os usuários.

Por fim, diante do exposto, após considerações dos aspectos estruturais e funcionais do trecho analisado, foram encontrados 192 segmentos homogêneos pela empresa projetista da época, segundo as metodologias descritas. Destes, selecionaram-se outros trechos menores para uso nesta dissertação.

5.7 Segmentos selecionados para as retroanálises do presente estudo

Segundo a norma DNER-PRO 011/79, para o cálculo de reforço, os procedimentos devem ser baseados no critério de deformabilidade, que são expressos pela medida de deflexões recuperáveis, admitindo que existe uma correlação entre a magnitude das deflexões (e do raio de curvatura correspondente) e o aparecimento de falhas nos pavimentos flexíveis.

O modo como as solicitações das cargas de roda atuam em um pavimento flexível já foi explicado, entretanto, para melhor elucidar a definição dos segmentos escolhidos para o presente estudo, apresenta-se na Figura 5.11 o esquema de um pavimento flexível, composto de revestimento betuminoso, base e sub-base granulares, e que foi sobreposto a um hipotético subleito homogêneo. A ação de uma carga de roda, P , aplicada sobre a

superfície da estrutura, provoca na face inferior do revestimento o desenvolvimento de tensão e de deformação de tração, e, na superfície do subleito, uma pressão vertical, P.

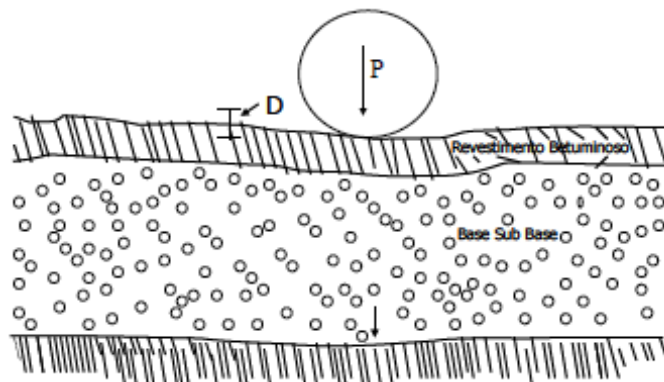


Figura 5.11 - Efeito da Carga Sobre um Pavimento Flexível (DNER, 1979).

Objetivando retardar o surgimento de trincas no revestimento, é necessário que a deflexão, D, seja inferior ao valor máximo, D_{adm} (Deflexão admissível), e que, ainda, o raio de curvatura, R, do pavimento esteja acima de um valor limite. Tais avaliações pressupõem que quando a tensão ou a deformação de tração, na face inferior do revestimento, não fica acima um determinado valor, o dano de fadiga é controlado.

A norma DNER-PRO 011/79 estabelece que o raio de curvatura (RC), para pavimentos flexíveis, com valores menores que 100 metros indicam pavimentos com baixa capacidade estrutural.

A rodovia é dividida em segmentos homogêneos, e a deflexão característica do trecho D_c é calculada pela equação 5.4, onde D representa a média aritmética e σ o desvio-padrão dos valores de deflexão sob a carga do segmento analisado. No caso do projeto em estudo, regido, pelo CREMA, a D_c é a da VB, por isso a projetista fez as correlações entre as deflexões medidas pelo FWD e pela VB.

$$D_c = D + \sigma \quad (5.4)$$

A deflexão admissível é dependente do número N de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t e dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento. No caso dos pavimentos constituídos de revestimento de concreto asfáltico sobre base granular, o valor da deflexão admissível (D_{adm}) em 0,01 mm é dado

pela expressão 5.5, correspondente a deflexões medidas com a carga padrão de 8,2 t em eixo simples de roda dupla (Viga Benkelman):

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (5.5)$$

Para este estudo foram selecionados trechos menores de alguns dos segmentos homogêneos mostrados anteriormente, no sentido crescente da pista da direita, com estruturas distintas, em que as medidas de deflexão apresentaram valores de deflexões de características (D_c), superior à deflexão admissível (D_{adm}), entretanto inferiores a três vezes o valor da deflexão admissível, e com o raio de curvatura superior a 100m. Assim, os segmentos escolhidos enquadraram-se apenas nos casos de “Reforço”, segundo a Tabela 5.4 da norma DNER-PRO 011/79.

Tabela 5.4 -Critérios para Avaliação Estrutural (DNER PRO 11/79)

Hipótese	Dados Deflectométricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO		Apenas correções de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	REGULAR PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	-	MÁ O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas (IGG>180).	SIM	Resistência	Reconstrução

Também foi critério de escolha a avaliação funcional, com valores de trincamentos variados. Foram escolhidos segmentos que apresentassem variabilidade de condições visuais (Tabela 5.5), funcionais (Tabela 5.6), estruturais (Tabela 5.7) e de materiais constituintes de forma a ampliar a gama de análise, e que solicitassem algum tipo de reforço segundo o catálogo do Crema 2ª etapa, que regia o edital da época dos dados usados no presente estudo. As bacias deflectométricas completas dos segmentos escolhidos nesta dissertação, se encontram presentes no Anexo II.

Tabela 5.5 - Análise visual preliminar dos segmentos.

Segmento	Estaca Inicial	Estaca Final	Análise visual preliminar
1	1540	1590	Boas condições, porém, verifica-se em pontos localizados a presença de fissuras e trincas.
2	2220	2270	Condições satisfatórias, apresentando desgaste, trincas e pontos localizados com afundamento plástico.
3	2480	2530	Condições medianas, verifica-se em pontos localizados a presença de fissuras, trincas e remendos.
4	3376	3432	Condições satisfatórias, apresentando desgaste, trincas e pontos localizados com afundamento plástico.
5	3650	3700	Condições medianas com a presença de trincas, remendos e trilha de roda em pontos localizados.
6	5334	5384	Condições ruins, com elevada frequência de trincamento, ondulações, afundamento plástico e remendos.
7	6758	6810	Boa condição, apresentando apenas trincas e remendos em pontos localizados.
8	10004	10054	Condições ruins, com frequência de trincas, desgaste e outros defeitos, tais como remendos, afundamento plástico e trilhas de roda.

É importante ressaltar que, apesar do considerável grau de trincamento de alguns segmentos, praticamente não existe afundamento de trilha de roda, reforçando as características pedológicas e de CBR que indicam solos laterítico resistentes.

Tabela 5.6 - Parâmetros funcionais dos segmentos homogêneos escolhidos para esta pesquisa.

Parâmetros Funcionais dos Segmentos Homogêneos												
Estaca Inicial	Estaca Final	(km)	%FC-2	% FC-3	%FC-2 + %FC-3	% AP	% O	%P	%R	%Ex	Degrau (cm)	IRI (m/km)
1.540	1.590	1	13%	10%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	6	2,4
2.220	2.270	1	10%	1%	11%	4%	0%	0%	3%	0%	7	2,4
2.480	2.530	1	19%	11%	30%	0%	0%	0%	2%	0%	6	2,4
3.376	3.432	1,12	5%	0%	5%	1%	0%	0%	0%	0%	5	2,4
3.650	3.700	1	13%	6%	19%	0%	0%	0%	2%	0%	5	2,4
5.334	5.384	1	22%	32%	54%	3%	1%	0%	4%	0%	2	2,5
6.758	6.810	1,04	8%	0%	8%	0%	0%	0%	1%	0%	8	2,8
10.004	10.054	1	17%	4%	21%	1%	0%	0%	2%	0%	3	2,6

Onde: % FC-2 – Percentual de trincas classe 2; % FC-3 – Percentual de trincas classe 3; % FC-2 + % FC-3 – Soma dos percentuais de trincas classes 2 e 3; % AP – Percentual de afundamento plástico; % O – Percentual de Ondulação; % P– Percentual de Painelas; % R – Percentual de Remendos; % Ex – Percentual de Exsudação; Degrau – degrau entre a pista de rolamento e acostamento e IRI – Irregularidade Longitudinal (m/km).

Tabela 5.7 – Parâmetros estruturais médios dos segmentos em estudo nesta pesquisa.

Segmento Homogêneo			Bacia de Deformação média (x10 ⁻² mm)										Raio (m)
Estaca Inicial	Estaca Final	Extensão (Km)	Afast. 0 Df0	Afast. 20 Df1	Afast. 3 Df2	Afast. 4 Df3	Afast. 6 Df4	Afast. 65 Df5	Afast. 9 Df	Afast. 120 Dvb	σ	Dc	
1.540	1.590	1	35,3	24,0	20,3	14,3	10,8	5,6	2,6	53,6	9,5	63,1	237
2.220	2.270	1	27,7	16,4	11,9	8,0	5,4	2,1	0,7	41,4	11,9	53,3	231
2.480	2.530	1	47,7	26,0	17,7	10,1	6,8	3,1	1,5	66,6	5,9	72,5	121
3.376	3.432	1,12	34,0	22,3	16,5	11,4	8,4	4,2	1,7	51,6	10,7	62,3	213
3.650	3.700	1	43,9	27,6	17,6	10,1	6,5	2,7	0,7	63,3	6,0	69,3	147
5.334	5.384	1	48,7	34,2	24,8	15,8	10,1	3,1	0,9	67,2	7,2	74,4	163
6.758	6.810	1,04	27,0	18,6	14,2	10,6	7,5	2,7	0,8	40,4	11,7	52,2	294
10.004	10.054	1	37,4	18,7	11,2	6,1	4,6	2,5	1,4	56,3	7,9	64,2	139

Maiores discussões sobre os critérios do CREMA podem ser obtidas em várias referências, uma delas pode ser FONSECA (2013), também da época deste relatório que foi usado nesta dissertação.

Assim sendo, os segmentos homogêneos (SH) que foram efetivamente analisados nesta pesquisa, estão listados na Tabela 5.8 e que, por simplificação, são chamados apenas de segmentos, e tem extensão mínima de 1 (um) quilômetro. Note-se que são no geral uma parte dos SH do projeto feito pela projetista à época, mostrado anteriormente.

Tabela 5.8 – Estrutura dos pavimentos analisados nesta pesquisa.

Segmento	Estaca Inicial	Estaca Final	Estrutura					
			revestimento		base		sub-base	
			material	esp (cm)	material	esp (cm)	material	esp (cm)
1	1540	1590	CA	8,5	MC	24	SL	24
2	2220	2270	CA	8	BG	16	SL	24
3	2480	2530	CA	8	BG	16	SL	24
4	3376	3432	CA	12	SL	23	SL	20
5	3650	3700	CA	12	SL	23	SL	19
6	5334	5384	CA	14	SL	21	SL	20
7	6758	6810	CA	18	SL	19	SL	21
8	10004	10054	CA	8	SL	20	SL	20

As composições dos materiais e espessuras do pavimento dos trechos selecionados foram obtidas por sondagem e perfil, presentes no estudo da projetista e seguem de forma resumida na Tabela 5.8. Nesta tabela as siglas correspondem a: BG - Brita Graduada; CA - Concreto Asfáltico; MC- Solo melhorado com cimento e SL - Solo Laterítico.

5.8 Retroanálises – Metodologia, resultados e comparações

Para avaliar os programas de retroanálise presentes nesta pesquisa, procurou-se estabelecer critérios de cálculo iniciais comum a todos, incluindo os intervalos de valores dos coeficientes de Poisson e dos módulos iniciais que foram inseridos nos programas. Os valores adotados foram os recomendados na instrução de projeto de pavimentação do DER-SP, conforme Tabelas 5.9 e 5.10.

Tabela 5.9 - Valores usuais de Coeficiente de Poisson para materiais de pavimentação (DER-SP, 2006).

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento portland	0,10 - 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 - 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 - 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 - 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 - 0,50	0,40

Tabela 5.10 - Valores usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade de materiais de pavimentação (DER-SP, 2006).

Material	Intervalo de Valores do Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos asfálticos:	
Revestimento (CAP 50-70)	2000-5000
Revestimento (CAP 30-45)	2500-4500
Binder (CAP 50-70)	2000-3000
Binder (CAP 30-45)	2500-4000
Materiais granulares:	
Brita graduada	150-300
Macadame Hidráulico	250-450
Materiais estabilizados quimicamente:	
Solo cimento	5000-10000
Brita graduada tratada com cimento	7000-18000
Cimento compactado com rolo	7000-22000
Concreto de cimento Portland	30000-35000
Solos finos em base e sub-base	150-300
Solos finos em subleito e reforço de subleito:	
Solos de comportamento laterítico LA, LA' e LG	100-200
Solos de comportamento não laterítico	25-75
Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200-400
Concreto de cimento Portland	28000-45000

De posse dos levantamentos deflectométricos que compõem a base de dados do presente estudo, foi realizada a retroanálise dos módulos de elasticidade de todas as bacias

de cada SH, usando os três programas selecionados para esta pesquisa e descritos no Capítulo 4: BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD.

O estudo realizado utilizou a retroanálise pontual, ou seja, em cada segmento foram retroanalizadas todas as bacias levantadas em campo. Em seguida, foi efetuado tratamento estatístico dos resultados, obtendo-se a média das deflexões das bacias retroanalizadas, bem como a média aritmética dos módulos.

As retroanálises efetuadas por meio do BackMeDiNa adotaram o seguinte critério para o encerramento do cálculo e aceitação do valor obtido: quando possível, os valores foram refinados até uma faixa máxima de RMS aceitável, inferior a 10 μ m, indicando que a retroanálise conseguiu um ajuste razoável. Não foi possível atingir tal grau de refinamento em todas as bacias, visto que, em alguns casos, mesmo aumentando a quantidade de interações por meio do botão “RETROANÁLISE” o valor do RMS não se modificava. Além disso, em alguns segmentos, as soluções se mostravam matematicamente corretas, mas incoerentes com a estrutura existente, mesmo quando o erro era muito baixo. Segue na Figura 5.12 um exemplo de retroanálise pelo BackMeDiNa obtida neste estudo.

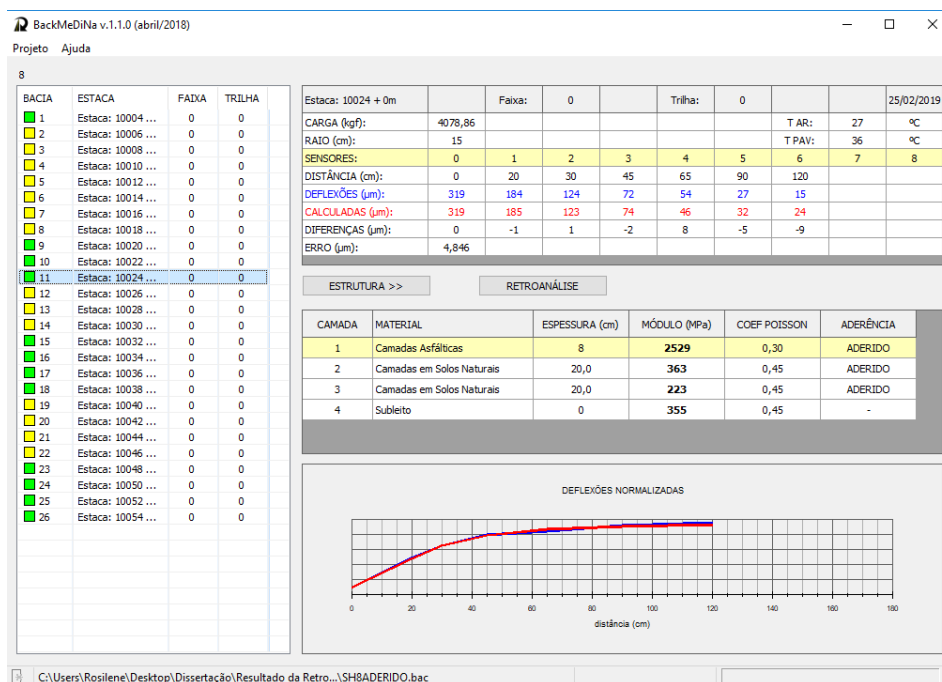


Figura 5.12 - Exemplo de retroanálise do trecho 8, do presente estudo, pelo BackMeDiNa.

O comportamento dos materiais não asfálticos é considerado geralmente “não aderido”, conforme visto no item 2.6.5. Entretanto, para a realização de uma análise paramétrica coerente, quando se comparam dois ou mais programas, se possível, deve-se adotar concepções e teorias próximas. Assim, as camadas foram adotadas como totalmente aderidas no BackMeDiNa em função do ELMOD e do PITRABACK, que para as condições deste estudo, só permitem considerar esta condição.

As telas de estrutura, de retroanálises e de resultados ficam em abas diferentes no programa PITRA-BACK. Após o carregamento dos arquivos do FWD, que devem ter apenas tipo .f25, a aba estrutura se abre e após seu preenchimento e o salvamento das suas informações, a aba de retroanálise é liberada, conforme mostram as Figuras 5.13 e 5.14, respectivamente. Por fim, após concluída a retroanálise se acessam os valores de módulos e de diferenças entre deflexões de campo e retrocalculadas, conforme a figura 5.15.



Figura 5.13 - Exemplo do preenchimento da aba estrutura do trecho 2 no PITRA-BACK, presente neste estudo.



Figura 5.14 - Exemplo do preenchimento da aba retroanálise do trecho 8 no PITRA-BACK, presente neste estudo.

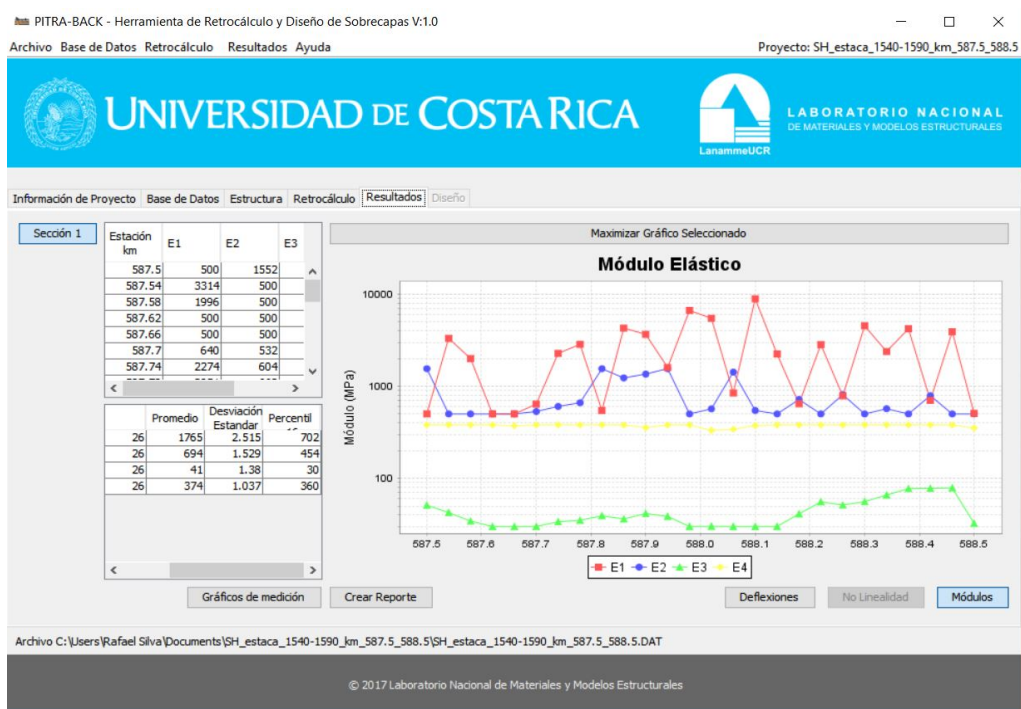


Figura 5.15 - Exemplo da aba resultados do trecho 8 no PITRA-BACK, presente neste estudo.

As retroanálises efetuadas pelo PITRA-BACK, foram obtidas pelo modelo de análise elástica de múltiplas camadas, bem como pelo método da espessura equivalente descrito no item 2.2.2. Com intuito de se enriquecer esta pesquisa foram efetuados os cálculos pelas duas metodologias citadas, agregadas à hipótese de linearidade.

O número de interações e de intervalos de valores da pesquisa foram maximizados, conforme recomenda o desenvolvedor do programa PITRA-BACK. No entanto, não foi possível melhorar o erro obtido em cada ajuste entre as bacias de campo e as teóricas, como no BackMeDiNa.

O autor do programa PITRA aconselha a usar como resposta um modelo probabilístico diferente do citado anteriormente, porém a autora desta pesquisa, preferiu manter o mesmo tratamento estatístico para todos os programas, objetivando uma análise mais assertiva, baseada nas mesmas premissas. Assim sendo, os resultados encontrados no PITRA-BACK tanto pelo modelo de análise elástica de múltiplas camadas quanto pelo método da espessura equivalente, foram obtidos pela análise de cada bacia, obtendo-se assim um módulo médio, conforme efetuado para o BackMeDiNa e o ELMOD,

A retroanálise pelo ELMOD foi efetuada por meio da opção “Deflection Basin Fit” (ajuste das bacias de deflexão), sendo a que melhor se ajusta para modelos de estruturas de 4 a 5 camadas. A configuração estrutural para que o programa pudesse realizar a retroanálise é apresentada na Figura 5.16.

Antes de se iniciar a retroanálise, é possível inserir condições de contorno no processo iterativo através da seleção do “Offset” e do parâmetro “Steps”, conforme demonstra a Figura 5.17. O “Offset” define o alcance para o qual o módulo de deformabilidade pode variar de uma iteração para a seguinte, enquanto “Steps” define o número de passos dentro de cada iteração. Quanto maiores esses valores, mais elevado é o tempo de processamento dos dados e a solução nem sempre é a mais ajustada, devendo ser avaliada pelo analista, de acordo com o projeto (CORREIA, 2014). O projetista também tem a opção de selecionar “minimize % difference”, que faz com que a rotina interna do processo de cálculo se foque em minimizar as percentagens e não os valores absolutos para as deflexões e por isso não foi utilizada no presente estudo.

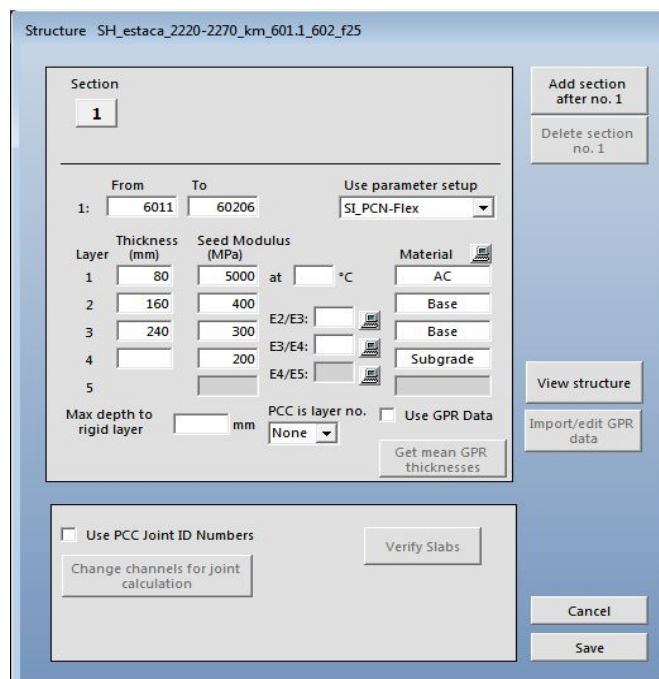


Figura 5.16 – Exemplo de modelo e de valores utilizados no processo de retroanálise do segmento 2 no ELMOD.

Estabelecidas as condições de análise se aciona o botão “*Deflection Basin Fit*” (Figura 5.17) e o programa fornece os valores dos módulos e das diferenças entre as bacias de campo e as bacias calculadas (Figura 5.18).

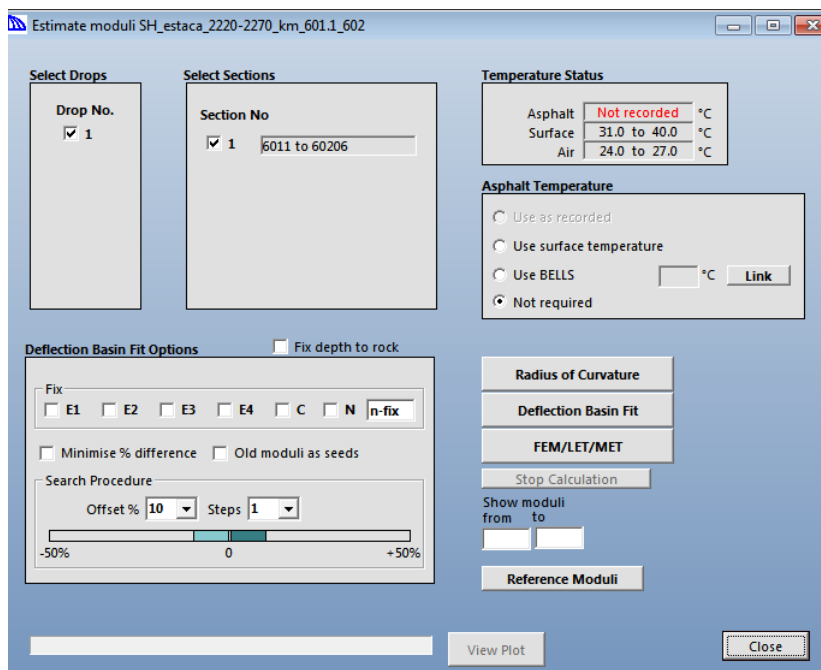


Figura 5.17 - Exemplo do trecho 2 de ajustes para se efetuar a retroanálise no ELMOD.

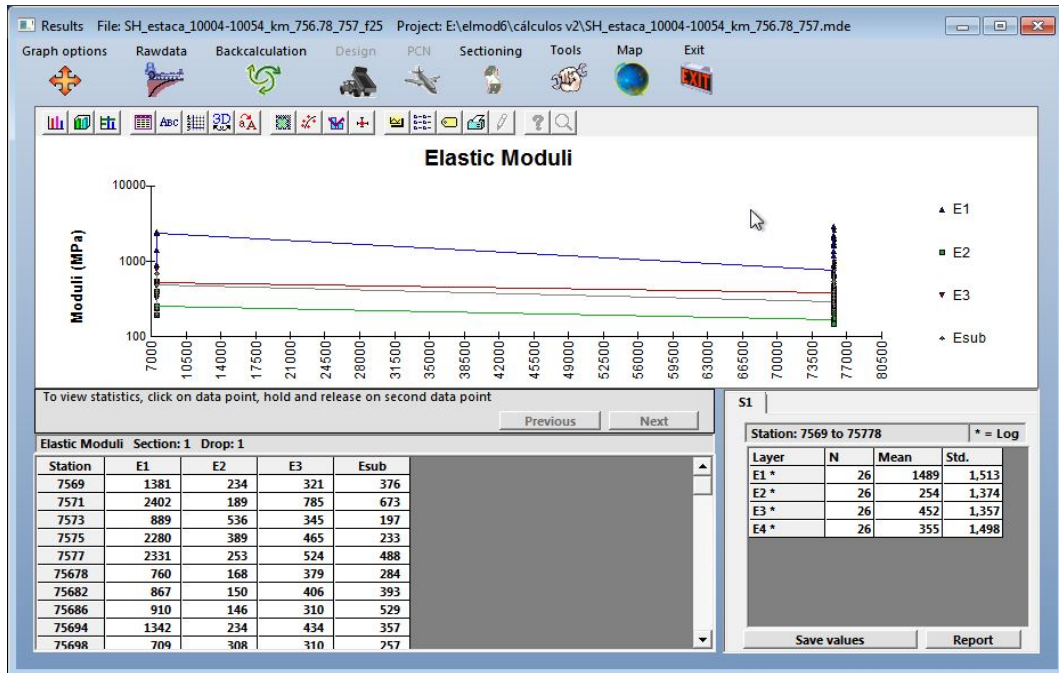


Figura 5.18– Exemplo de Resultado da retroanálise do segmento 8 do presente estudo no ELMOD.

Na opção “Deflection Basin Fit”, não é necessário inserir as relações E2/E3, E3/E4, pois ela é calculada automaticamente.

Não foram realizadas correções de temperatura nem durante as análises, em nenhum dos 3 programas, em função do exposto no item 4.5.

Para verificar os resultados obtidos pelos programas de retroanálise, em cada SH, obteve-se a média das bacias calculadas e a média das bacias medidas, as quais foram modeladas no AEMC, conforme Figura 5.19, e representadas graficamente, com o objetivo de verificar se os módulos obtidos a partir da retroanálise correspondem ao comportamento real em cada estrutura analisada. Neste estudo todas as camadas foram classificadas como aderidas, devido às condições de comparação já expostas.

À esquerda da tela está o tipo de carregamento utilizado para simular o mesmo aplicado pelo FWD, que foi o eixo simples de 8,2t, sendo a carga da roda de 4,1t com uma pressão do pneu de 0,56 MPa e com o raio de 15,27 cm, que simula o raio da placa do FWD. À direita da tela, no quadro “pontos de análise e resultados”, o eixo Y (sentido

do rolamento) foi preenchido com os mesmos pontos do levantamento do FWD (0, 20, 30, 45, 65, 90, 120 cm).

The screenshot shows the AEMC v.2.4 software interface. At the top, there is a menu bar with 'Projeto' and 'Ajuda'. Below it is a 'Estrutura >>' button. The main area contains a table with the following data:

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	8,5	2,4	LINEAR	970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	1
2	24	1,8	LINEAR	1130	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1
3	24	1,6	LINEAR	45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	1
4	0,0	1,6	LINEAR	320	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	1

Below the table, there are two main sections: 'Tipo de carregamento:' and 'Pontos de análise e resultados'. The 'Tipo de carregamento:' section shows 'Eixo simples' selected. The 'Pontos de análise e resultados' section has a 'Calcular' button and a 'Ferramentas >>' button. Below these is a table with the following data:

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1	0	0	0	0,00000	0,00000	326,25357
2	0	20	0	0,00000	-35,98991	223,17145
3	0	30	0	0,00000	-35,48606	184,42657
4	0	45	0	0,00000	-33,70339	141,07620
5	0	65	0	0,00000	-27,23435	96,89626
6	0	90	0	0,00000	-18,05600	59,97588
7	0	120	0	0,00000	-9,82056	35,30741
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

The status bar at the bottom shows the file path: 'C:\Users\Rosilene\Desktop\Dissertação\AEMC...\SG1BMcorreção_de_carga2.pAE' and the processing time: 'Processamento: 0,012 s'.

Figura 5.19 - Exemplo do trecho 1 do presente estudo, com módulos retroanalizados usados na modelagem no AEMC.

No presente estudo, observou-se uma variação espacial das deflexões obtidas nos oito segmentos. Algumas hipóteses para esse comportamento podem ser:

- A precisão e acurácia dos levantamentos que dependem de calibração, que nem sempre é feita de forma correta;
- O próprio levantamento não ter seguido os procedimentos padrão;
- Possibilidade da variação de espessuras das camadas durante o processo construtivo da via e as várias etapas de reforço;
- A própria heterogeneidade dos materiais que constituem as camadas do pavimento.

Considerando a variabilidade espacial das deflexões, a autora entendeu ser necessário realizar uma análise estatística nos levantamentos deflectométricos nos

segmentos. Assim, calculou-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação (CV), que são apresentados no estudo de cada trecho, cujo objetivo é demonstrar que os segmentos apresentados nos levantamentos deflectométricos, mesmo sendo utilizadas as premissas da AASHTO, adaptadas às características funcionais e estruturais, não são totalmente homogêneos e considerá-los com tal, influenciam nos resultados das análises realizadas no pavimento e as considerações a respeito destes resultados.

O coeficiente de variação (CV) é interpretado como a variabilidade dos dados (desvio padrão) em relação à média. O CV é comumente utilizado em campos como engenharia e física, quando se fazem estudos de garantia de qualidade e avaliações de repetitividade e reprodutibilidade. A avaliação do coeficiente de variação (alto ou baixo), depende do conhecimento sobre o que há na literatura, sobre os valores mais frequentes de CV para a variável resposta que está sendo estudada.

Quanto menor o CV mais homogêneo se considera o conjunto de dados. Para deflexões em rodovias, diversos autores como COSTA *et al.* (2017) e DOMENICO *et al.* (2018), consideram que os resultados em que verificam-se valores de CV abaixo de 15% apresentam baixa dispersão e são considerados homogêneos, entre 15 a 30% apresentam média dispersão, e CV acima de 30% apresentam alta dispersão e dados heterogêneos. Para aeroportos VELLASCO (2018) considera um CV de até 30% aceitável.

Segundo PINTO E PREUSSLER (2002) e LOPES (2012), a deflexão máxima recuperável é um parâmetro importante para a compreensão do comportamento da estrutura, e quanto maior o seu valor, mais elástica ou resiliente é a estrutura e maior é o seu comprometimento estrutural. Mas ponderam que a análise isolada de seu valor pode não esclarecer completamente a questão, já que estruturas de pavimentos distintas podem apresentar a mesma deflexão máxima, porém com arqueamentos diferenciados na deformada, corroborando com estudos encontrados na literatura, como SOUZA (1995), NAGAO (2001), ANDRADE (2017) e outros.

Para se obter uma análise prévia das condições do pavimento, em uma época em que a retroanálise não era utilizada, foram desenvolvidos parâmetros empíricos para pavimentos flexíveis de base granular, segundo um modelo elástico de múltiplas

camadas, como uma forma de se avaliar parcialmente o comportamento da bacia deflectométrica completa, funcionando como um tipo de diagnóstico da condição estrutural.

Diversos estudos apontam que o aproveitamento das informações da bacia deflectométrica por meio de PBDs (Parâmetros da Bacia Deflectométrica) podem auxiliar na escolha da solução de restauração do pavimento, evitando defeitos precoces por falhas no diagnóstico (LOPES, 2012).

Segundo COSTA *et. al.* (2017), um valor típico de deflexão para um pavimento com revestimento de concreto asfáltico em boa condição estrutural, deve apresentar deflexões D_0 entre 30 e 50×10^{-2} mm para “N” de 10^8 e 5×10^7 , respectivamente, mesmo valor indicado na expressão de deflexão admissível da norma PRO 011/79 para levantamentos com a VB.

Segundo o relatório do anteprojeto do DNIT, (Superintendência Regional de São Paulo) para as rodovias BR-459/SP e BR-488/SP, Edital de Junho de 2015, que empregou o mesmo equipamento para levantamento deflectométrico do presente estudo, para avaliação empírica das vias pela deflexão, foram utilizados os parâmetros de bacia e critérios de análise descritos a seguir:

- a) Deflexão sob a ação da carga (D_0), em 0,01 mm:
 - $D_0 < 50$: pavimento estruturalmente “SATISFATÓRIO”;
 - $50 < D_0 < 80$: pavimento estruturalmente “REGULAR”;
 - $D_0 > 80$: pavimento estruturalmente “RUIM”.
- b) Diferença entre as deflexões medidas sob a carga e a 45 cm do centro da placa ($D_0 - D_3$), em 0,01 mm
 - $D_0 - D_3 < 35$: base e/ou sub-base apresenta “SATISFATÓRIO” comportamento estrutural;
 - $35 < D_0 - D_3 < 50$: base e/ou sub-base com comportamento estrutural “REGULAR”;
 - $D_0 - D_3 > 50$: base e/ou sub-base com comportamento estrutural definido como “RUIM”.

- c) Deflexão medida a 120 cm do ponto de aplicação de carga (D_6), em 0,01 mm:
- $D_6 < 6$: subleito com “SATISFATÓRIO” comportamento estrutural;
 - $6 < D_6 < 8$: subleito com comportamento estrutural “REGULAR”;
 - $D_6 > 8$: subleito com comportamento estrutural definido como “RUIM”.
- d) Raio de curvatura RC (Raio), definido em conformidade com a norma rodoviária DNER PRO 11, em metros:
- Raio > 200 : base e/ou sub-base com “SATISFATÓRIO” comportamento estrutural;
 - $100 < \text{Raio} < 200$: base e/ou sub-base com comportamento estrutural “REGULAR”;
 - Raio < 100 : base e/ou sub-base com comportamento estrutural “RUIM”.

Objetivando avaliar a coerência dos PBDs e os critérios apresentados no projeto do DNIT da Superintendência Regional de SP, foram inseridos esses parâmetros nas avaliações de cada segmento desta pesquisa, possibilitando a verificação desta metodologia simplificada como critério preliminar.

A seguir são apresentadas as deflexões médias de cada segmento, seu estudo estatístico e a sua avaliação estrutural por meio de D_0 , das diferenças de D_0 - D_3 , D_6 , e do RC. O valor do D_{25} foi obtido por interpolação linear entre os valores de D_{20} e D_{30} , considerando que, seja válida neste caso a interpolação linear por estarem muito próximos os pontos interpolados. Também segue em cada trecho, um resumo dos módulos de elasticidade retroanalizados obtidos nos 3 programas, as verificações dos módulos pelo AEMC e as bacias de campo. Está presente no Anexo III as planilhas com os resultados, bacia a bacia, de cada trecho.

Serão apresentadas ainda, os gráficos dos módulos calculados bacia a bacia, para as camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em todos os programas e segmentos do presente estudo.

Para efeito de análise, cada Modelo do PITRA-BACK será comparado aos outros programas como independentes, ou seja, o modelo de multicamada será tratado como um programa e o de espessura equivalente como outro.

5.8.1 Segmento 1- estaca 1540-1590

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 23 % e IRI de 2,4; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 8,5 cm de concreto asfáltico (CA), 24 cm de base de solo melhorado com cimento e 24 cm de sub-base de solo laterítico (SL). A bacia de deflexão média medida em campo, está indicada na Tabela 5.9. Observa-se que o coeficiente de variação (CV), neste trecho analisado, variou de 11,73 % a 27,77% sendo verificados os maiores valores nos dois primeiros geofones e no último geofone.

Tabela 5.9 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 1.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	35,32	23,97	20,32	14,34	10,77	5,58	2,56
Desvio padrão	7,69	5,40	3,72	2,04	1,26	0,67	0,70
cv (%)	21,77	22,51	18,30	14,25	11,73	11,99	27,18

Estatisticamente os resultados apresentam média dispersão para os geofones 0, 20, 30 e 120 e baixa dispersão nos geofones 45, 65 e 90.

A média da deflexão D_0 apresenta valor de $35,32 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% das deflexões D_0 , medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 50×10^{-2} mm e destes, 23,08% dos valores menores que 30×10^{-2} mm, conforme a Figura 5.20. Observa-se também a variação de D_0 , apresentando valores de $23,5 \times 10^{-2}$ mm a $49,8 \times 10^{-2}$ mm.

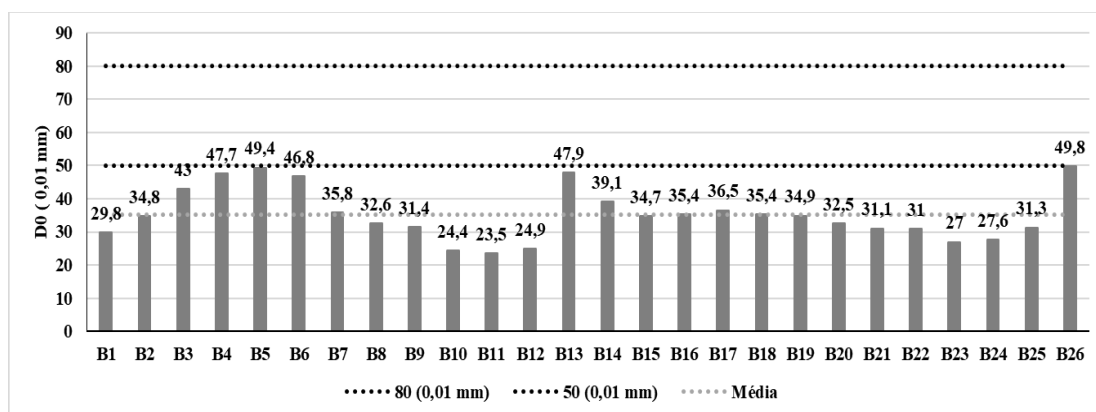


Figura 5.20 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 1 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $20,98 \times 10^{-2}$. Por meio do gráfico da Figura 5.21 pode-se observar que 100 % dos valores de D0-D3 estão abaixo de 35×10^{-2} . Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 1, com valores de D0-D3 que vão de $11,9 \times 10^{-2}$ mm a $32,7 \times 10^{-2}$ mm.

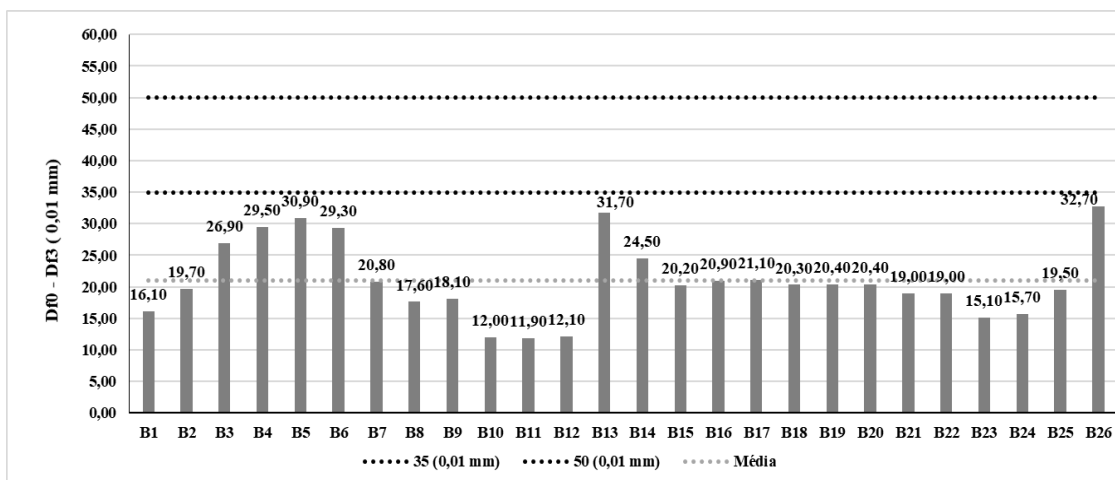


Figura 5.21 – Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 1 desta pesquisa.

A média da deflexão no geofone 120 apresenta valor de $2,56 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.22. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 1, com D6 apresentando valores de $1,5 \times 10^{-2}$ mm a $3,8 \times 10^{-2}$ mm.

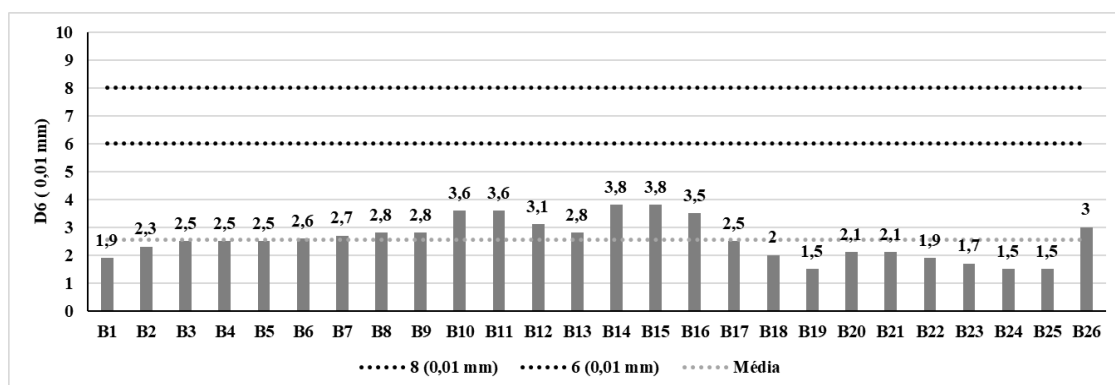


Figura 5.22 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 1 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 237 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.23 pode-se observar que 100 % dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e desses 76,92% estão acima de 200m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 1 com RCs que variam de 150 m a 443 m.

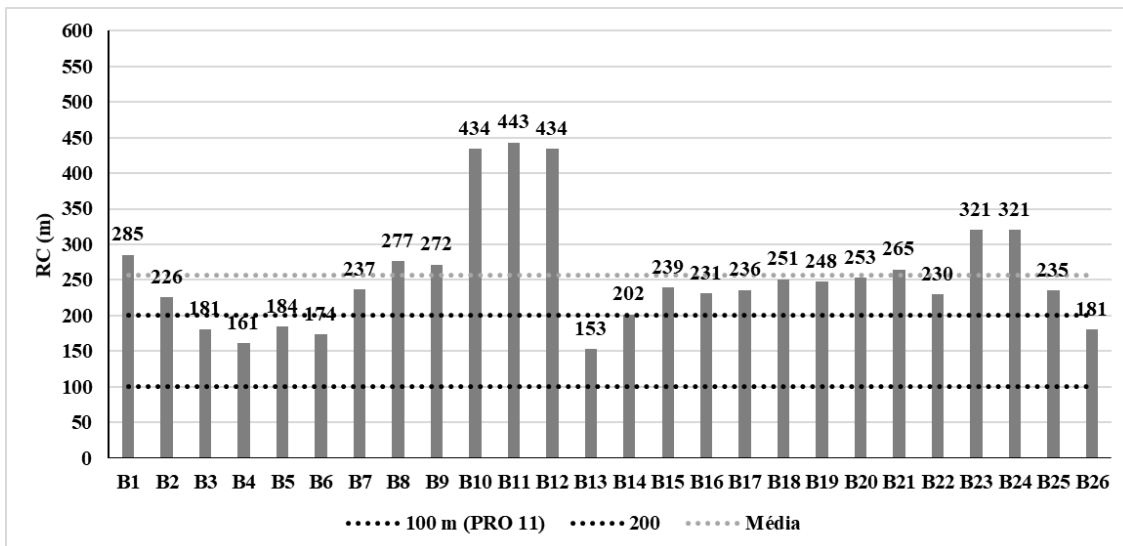


Figura 5.23 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 1 desta pesquisa.

Os módulos elásticos, do segmento 1, nos programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.10, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.10 – Resultados médios das retroanálises no segmento 1 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	MÉDIA	971	1132	43	328
	DESVIO PAD.	315	410	13	36
	C.V	32%	36%	31%	11%
PITRA BACK múltiplas camadas	MÉDIA	2586	768	43	374
	DESVIO PAD.	2172	392	16	13
	C.V	84%	51%	37%	4%
PITRA BACK esp. Equivalente	MÉDIA	1359	1422	44	374
	DESVIO PAD.	777	942	18	15
	C.V	57%	66%	41%	4%
ELMOD	MÉDIA	1580	951	79	360
	DESVIO PAD.	912	664	60	225
	C.V	58%	70%	76%	62%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados distintos nos 4 programas sendo: 971 MPa, com CV de 32% no programa BM, 2586 MPa, com CV de 84% no programa PBMC, 1359 MPa, com CV de 57% no programa PBE e 1580 MPa, com CV de 58% no programa ELMOD.

Os módulos da camada de base também foram distintos: 1132 MPa, com CV de 36% no programa BM, 768 MPa, com CV de 51% no programa PBMC, 1422 MPa, com CV de 66% no programa PBE e 951 MPa, com CV de 70% no programa ELMOD.

Os módulos da camada de sub-base apresentaram valores iguais ou muito próximos nos 4 programas, sendo: 43 MPa, com CV de 31% no programa BM, 43 MPa, com CV de 37% no programa PBMC, 44 MPa, com CV de 41% no programa PBE e 79 MPa, com CV de 76 % no programa ELMOD.

Os módulos da camada de subleito apresentaram valores iguais ou muito próximos nos 4 programas, sendo: 328 MPa, com CV de 11 % no programa BM, 374 MPa, com CV de 4% no programa PBMC, 374 MPa, com CV de 4% no programa PBE e 360 MPa, com CV de 62 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos das camadas de revestimento, base e sub-base apresentaram alta dispersão em todos os programas, enquanto que, na camada de subleito, foi baixa dispersão para os programas BM, PBMC e PBE.

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.24 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5. 24 (b)), PBE (Figura 5. 24 (c)) e ELMOD (Figura 5. 24 (d)).

A Figura 5.25 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 1, nos 4 programas e demonstra que todos os programas concordaram que a camada de sub-base é a mais crítica nesse segmento.

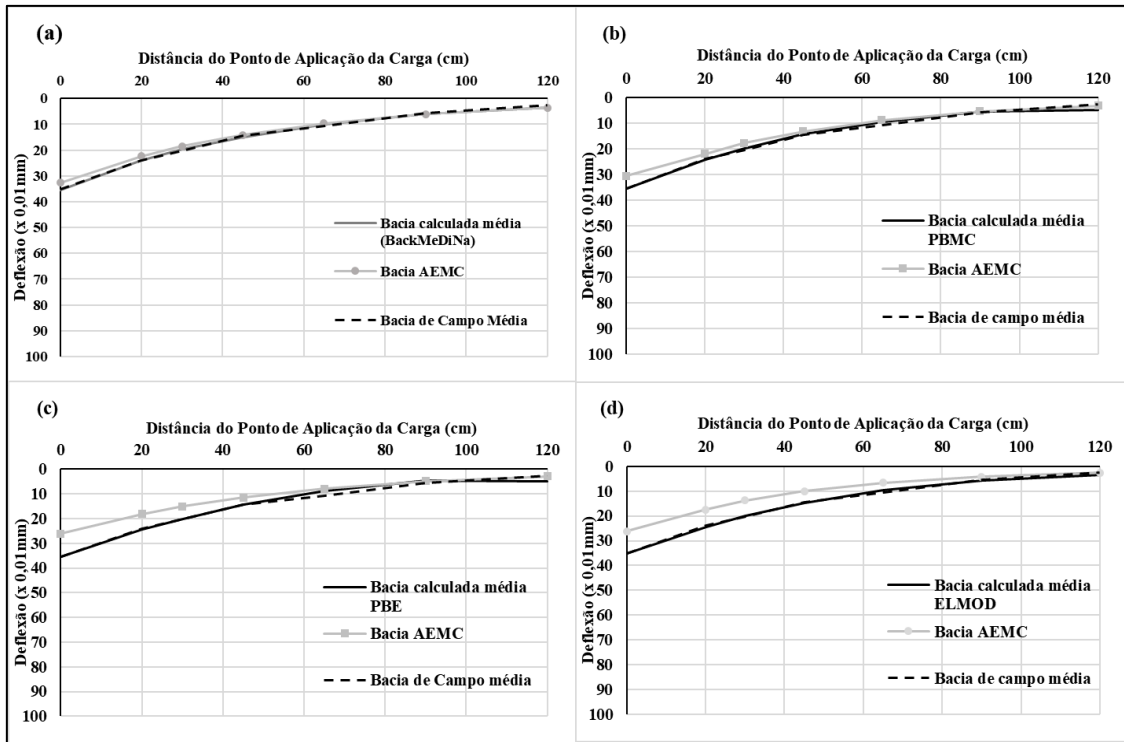


Figura 5.24 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 1 deste estudo.

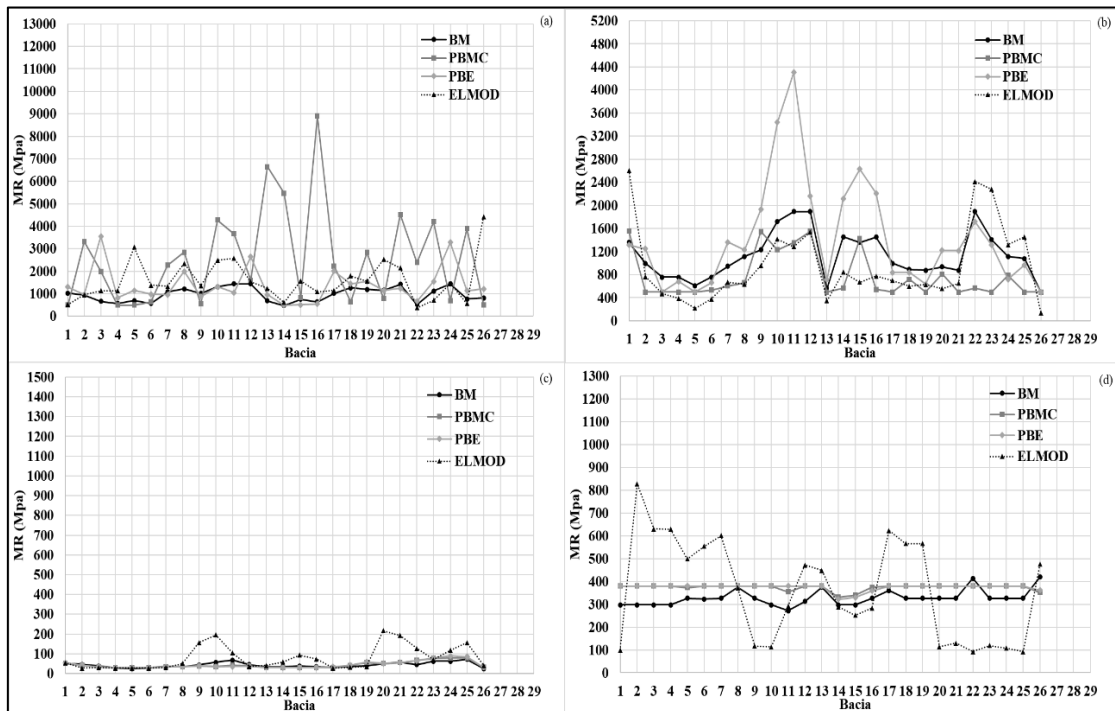


Figura 5.25 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d), referentes ao trecho 1 deste estudo.

5.8.2 Segmento 2- estaca 2220-2270

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 11% e IRI de 2,4; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 8 cm de CA, 16 cm de base de brita graduada (BG) e 24 cm de sub-base de SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 2, está indicada na Tabela 5.11. Pode-se observar que o CV, no trecho analisado, variou de 13,88 % a 59,05% sendo verificado maior valor no último geofone.

Tabela 5.11 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 2.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	27,70	16,44	11,95	8,03	5,39	2,08	0,69
Desvio padrão	6,79	3,24	2,24	1,11	1,11	0,53	0,41
cv (%)	24,51	19,71	18,73	13,88	20,68	25,61	59,05

Estatisticamente os resultados apresentam alta dispersão para o geofone 120, média dispersão para os geofones 0, 20, 30 e 65 e 90 e baixa dispersão no geofone 45.

A média da deflexão no geofone 0 apresenta valor de $27,70 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D_0 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 50×10^{-2} mm e destes, 61,53% dos valores menores que 30×10^{-2} mm, conforme demonstra a Figura 5.26. Observa-se também a variabilidade desse parâmetro no segmento 2, com D_0 apresentando valores de $18,4 \times 10^{-2}$ mm a $48,1 \times 10^{-2}$ mm.

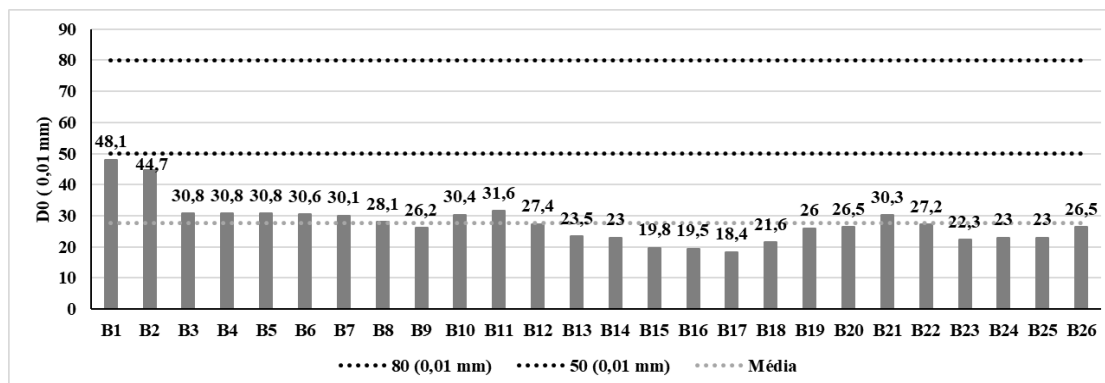


Figura 5.26 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 2 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $27,7 \times 10^{-2}$. Por meio do gráfico da Figura 5.27 pode-se observar que 92,3 % dos valores de D0-D3 abaixo de 35×10^{-2} e 7,7% estão entre 35×10^{-2} e 50×10^{-2} . Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 2, com D0-D3 que vão de $11,9 \times 10^{-2}$ mm a $32,7 \times 10^{-2}$ mm.

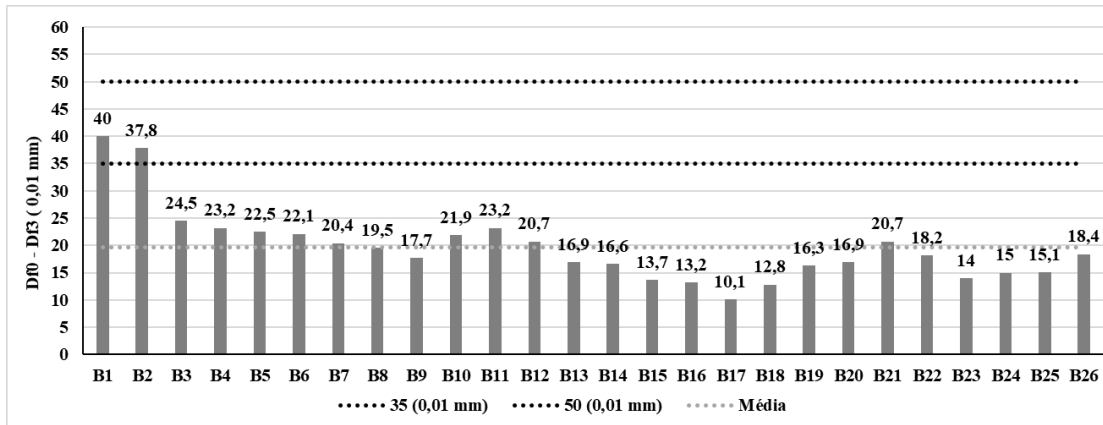


Figura 5.27 - Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 2 desta pesquisa.

A média da deflexão no geofone 120 apresenta valor de $0,7 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.28. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 2, com D6 apresentando valores de $1,5 \times 10^{-2}$ mm a $3,8 \times 10^{-2}$ mm.

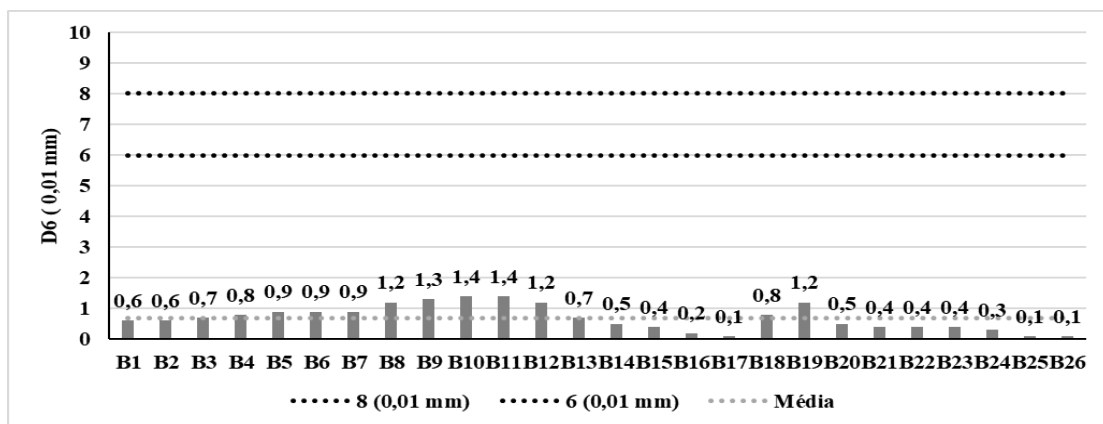


Figura 5.28 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 2 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 261 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.29 pode-se observar que 100 % dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e desses 69,23% estão acima de 200m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 2 com RCs que variam de 111 m a 504 m.

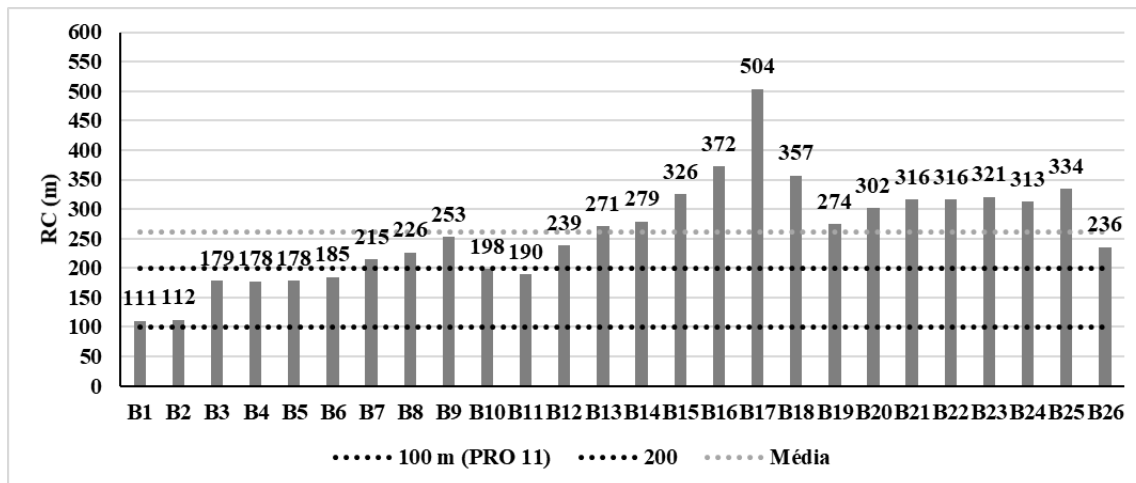


Figura 5.29 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 2 desta pesquisa.

Os módulos elásticos, do segmento 2, nos programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.12, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.12 – Resultados médios das retroanálises no segmento 2 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	MÉDIA	4066	469	426	318
	DESVIO PAD.	1826	165	169	40
	C.V	45%	35%	40%	13%
PITRA BACK múltiplas camadas	MÉDIA	5445	278	111	380
	DESVIO PAD.	1138	173	60	0
	C.V	21%	62%	54%	0%
PITRA BACK esp. Equivalente	MÉDIA	4138	350	242	380
	DESVIO PAD.	2818	340	145	0
	C.V	68%	97%	60%	0%
ELMOD	MÉDIA	3486	526	516	159
	DESVIO PAD.	3087	224	205	52
	C.V	89%	43%	40%	33%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados distintos nos 4 programas sendo: 4066 MPa, com CV de 45% no programa BM, 5445 MPa, com CV de 21% no programa PBMC, 4138 MPa, com CV de 68% no programa PBE e 3486 MPa, com CV de 89% no programa ELMOD.

Os módulos da camada de base também foram distintos: 469 MPa, com CV de 35% no programa BM, 278 MPa, com CV de 62% no programa PBMC, 350 MPa, com CV de 97% no programa PBE e 526 MPa, com CV de 43% no programa ELMOD.

Os módulos da camada de sub-base apresentaram valores aproximados nos programas BM e EL, sendo: 426 MPa, com CV de 40% no programa BM, 111 MPa, com CV de 54% no programa PBMC, 242 MPa, com CV de 60% no programa PBE e 516 MPa, com CV de 40 % no programa ELMOD.

Os módulos da camada de subleito apresentaram valores iguais nos programas PBMC e PBE, sendo: 318 MPa, com CV de 13 % no programa BM, 380 MPa, com CV de 0% nos programas PBMC e PBE e 159 MPa, com CV de 33 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos para a camada de revestimento, apresentaram alta dispersão nos programas BM, PBE e ELMOD, para a camada de base e sub-base apresentaram alta dispersão em todos os programas e para o subleito baixa dispersão nos programas, BM, PBMC e PBE e alta dispersão no ELMOD.

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.30 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5.30 (b)), PBE (Figura 5.30 (c)) e ELMOD (Figura 5.30 (d)).

A Figura 5.31 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 2, nos 4 programas. Observa-se que o PBMC e PBE obtiveram os mesmos valores para os módulos do subleito em todas as bacias. Neste segmento, no programa PITRA apareceu uma distorção na bacia, na parte correspondente ao último geofone que não foi possível corrigir nem explicar.

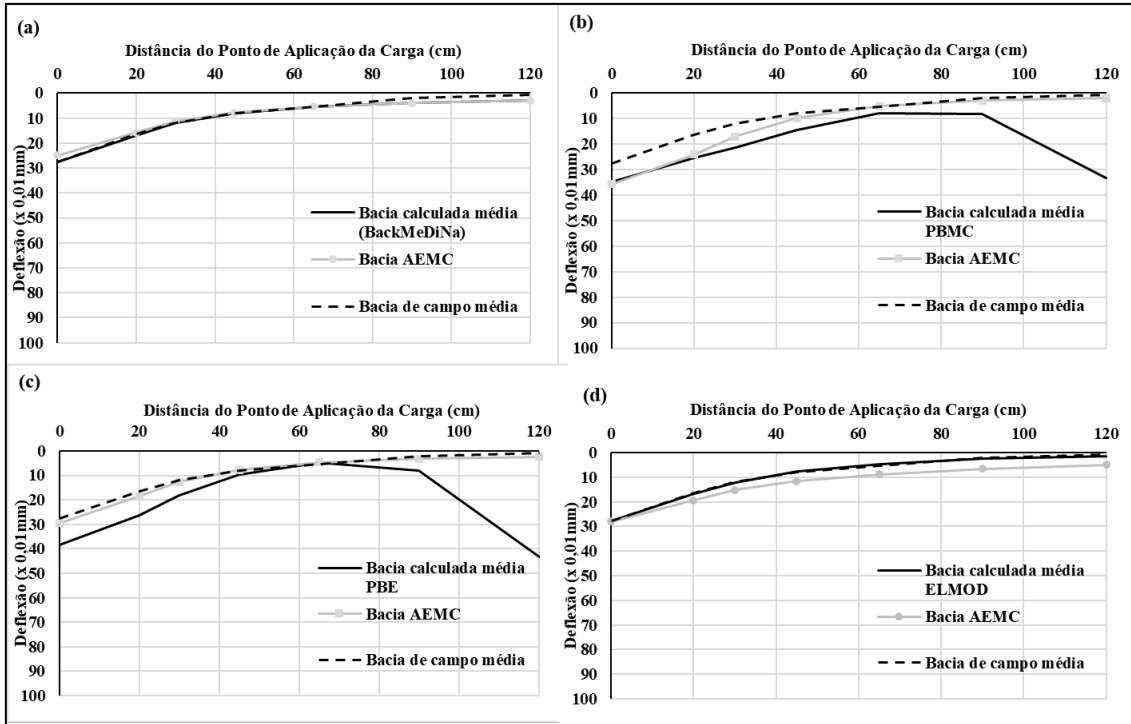


Figura 5.30 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 2 deste estudo.

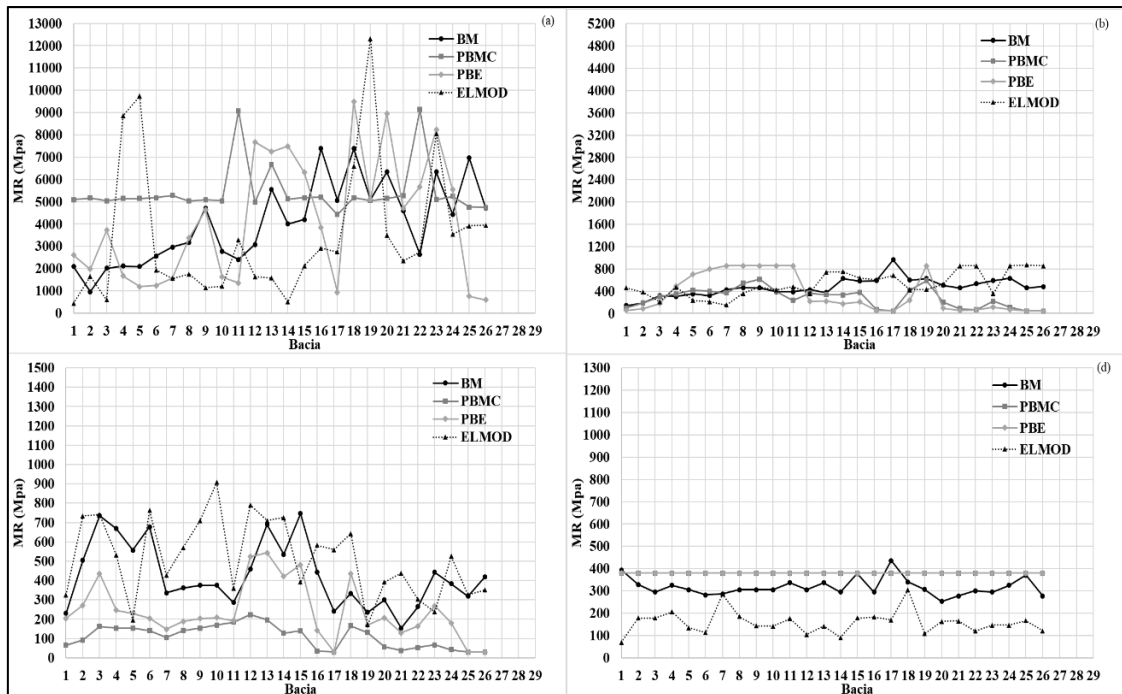


Figura 5.31 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d), referentes ao trecho 2 deste estudo.

5.8.3 Segmento 3 - estaca 2480-2530

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 30% e IRI de 2,5; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 8 cm de CA, 16 cm de BG e 24 cm de sub-base de SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 3, está indicada na Tabela 5.13. Observa-se que o CV, no trecho analisado, variou de 13,14 % a 38,38% sendo verificados maiores valores nos geofones D₅ e D₆.

Tabela 5.13 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 3.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	47,69	26,00	17,70	10,13	6,79	3,09	1,51
Desvio padrão	6,27	5,46	3,27	2,91	2,61	1,15	0,40
cv (%)	13,14	21,00	18,48	28,75	38,38	37,22	26,33

Estatisticamente os resultados apresentam alta dispersão para os geofones 65 e 90, média dispersão para os geofones 20, 30 e 45 e baixa dispersão no geofone 0.

A média da deflexão no geofone 0 apresenta valor de $47,69 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 3,85% dos valores das deflexões D₀ medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 30×10^{-2} mm, 57,69% estão entre 30×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm e 38,46% dos valores estão entre 50×10^{-2} mm e 80×10^{-2} mm, conforme demonstra Figura 5.32. Observa-se também a variabilidade desse parâmetro no segmento 3, com D₀ apresentando valores de $28,3 \times 10^{-2}$ mm a 59×10^{-2} mm.

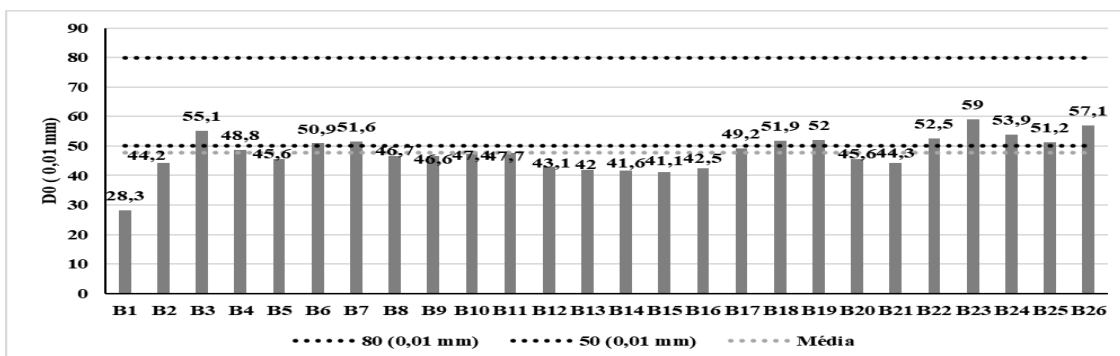


Figura 5.32 - Deflexões D₀ de cada bacia do segmento 3 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $37,56 \times 10^{-2}$. Por meio do gráfico da Figura 5.33 pode-se observar que 23,08 % dos valores de D0-D3 abaixo de 35×10^{-2} e 76,92% estão entre 35×10^{-2} e 50×10^{-2} . Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 3, com D0-D3 que varia de $16,5 \times 10^{-2}$ mm a $45,1 \times 10^{-2}$ mm.

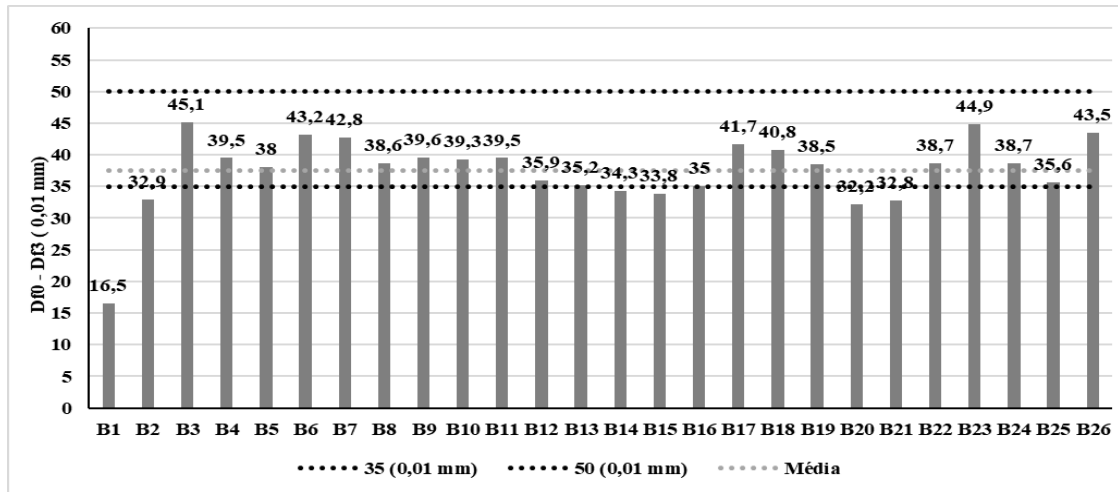


Figura 5.33- Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 3 desta pesquisa.

A média da deflexão no geofone 120 apresenta valor de $1,51 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.34. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 3, com D6 apresentando valores de $0,7 \times 10^{-2}$ mm a $2,3 \times 10^{-2}$ mm.

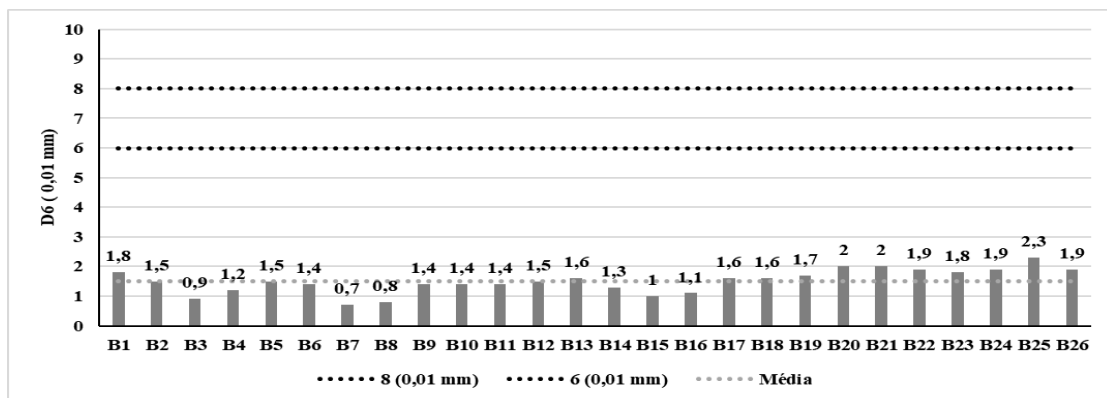


Figura 5.34 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 3 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 289 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.35 pode-se observar que 100 % dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e desses 76,92% estão acima de 200m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 3 com RCs que variam de 149 m a 590 m.

Porém, de maneira geral, as diferenças acentuadas que às vezes aparecem no RC devem ter sua importância minimizada tendo em vista que, devido à fórmula adotada para o cálculo, este parâmetro cresce ou decresce “aos saltos”.

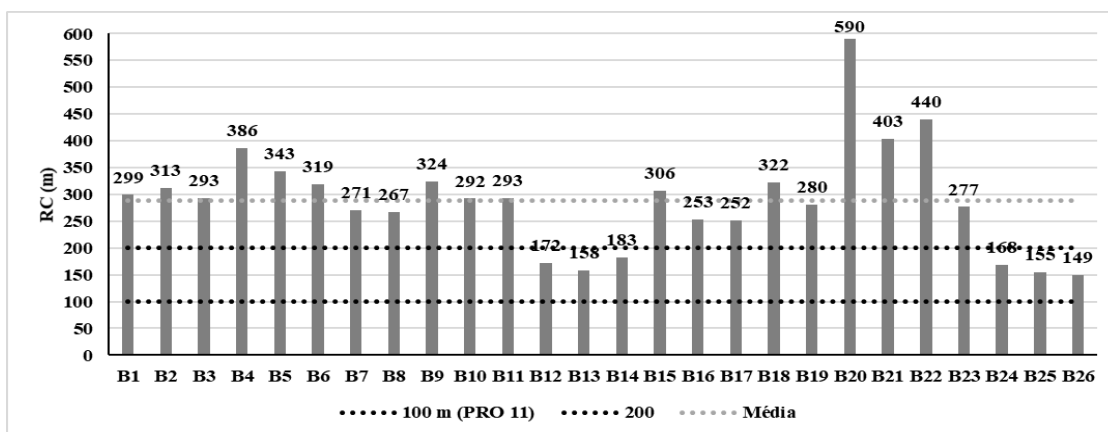


Figura 5.35 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 3 desta pesquisa.

Os módulos elásticos do segmento 3 para os programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.14, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.14 - Resultados médios das retroanálises no segmento 3 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	<i>MÉDIA</i>	2154	207	254	268
	<i>DESVIO PAD.</i>	975	90	118	44
	<i>C.V</i>	45%	44%	46%	17%
PITRA BACK múltiplas camadas	<i>MÉDIA</i>	4416	368	83	460
	<i>DESVIO PAD.</i>	1321	197	43	28
	<i>C.V</i>	30%	54%	52%	6%
PITRA BACK esp. Equivalente	<i>MÉDIA</i>	3269	523	129	473
	<i>DESVIO PAD.</i>	2362	327	117	11
	<i>C.V</i>	72%	62%	91%	2%
ELMOD	<i>MÉDIA</i>	1560	460	223	287
	<i>DESVIO PAD.</i>	1863	419	109	193
	<i>C.V</i>	119%	91%	49%	67%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados distintos nos 4 programas sendo: 2154 MPa, com CV de 45% no programa BM, 4416 MPa, com CV de 30% no programa PBMC, 3269 MPa, com CV de 72% no programa PBE e 1560 MPa, com CV de 119% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de base também foram distintos: 207 MPa, com CV de 44% no programa BM, 368 MPa, com CV de 54% no programa PBMC, 523 MPa, com CV de 32% no programa PBE e 460 MPa, com CV de 91% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de sub-base apresentaram valores aproximados nos programas BM e EL, sendo: 254 MPa, com CV de 46% no programa BM, 83 MPa, com CV de 52% no programa PBMC, 129 MPa, com CV de 91% no programa PBE e 223 MPa, com CV de 49 % no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de subleito apresentaram valores muito aproximados entre os programas PBMC e PBE e em outro intervalo valores muito similares no BM e EL, sendo: 268 MPa, com CV de 17 % no programa BM, 460 MPa, com CV de 6 % no programa PBMC, 473 MPa, com CV de 2 % no programa PBE e 287 MPa, com CV de 67 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos para a camada de revestimento, base e sub-base apresentaram alta dispersão em todos os 4 programas e para o subleito baixa dispersão também nos 4 programas

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.36 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5.36 (b)), PBE (Figura 5.36 (c)) e ELMOD (Figura 5.36 (d)).

A Figura 5.37 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 3, nos 4 programas. Observa-se que o PBMC e PBE obtiveram os mesmos valores para os módulos do subleito em quase todas as bacias.

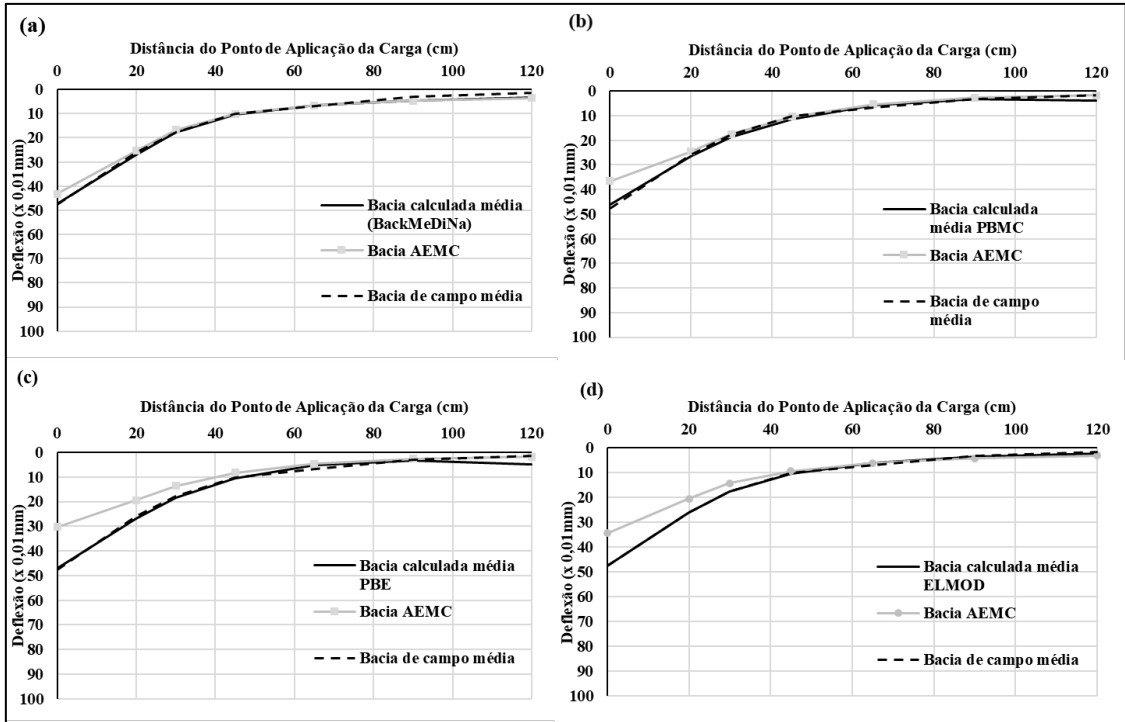


Figura 5.36 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 3 deste estudo.

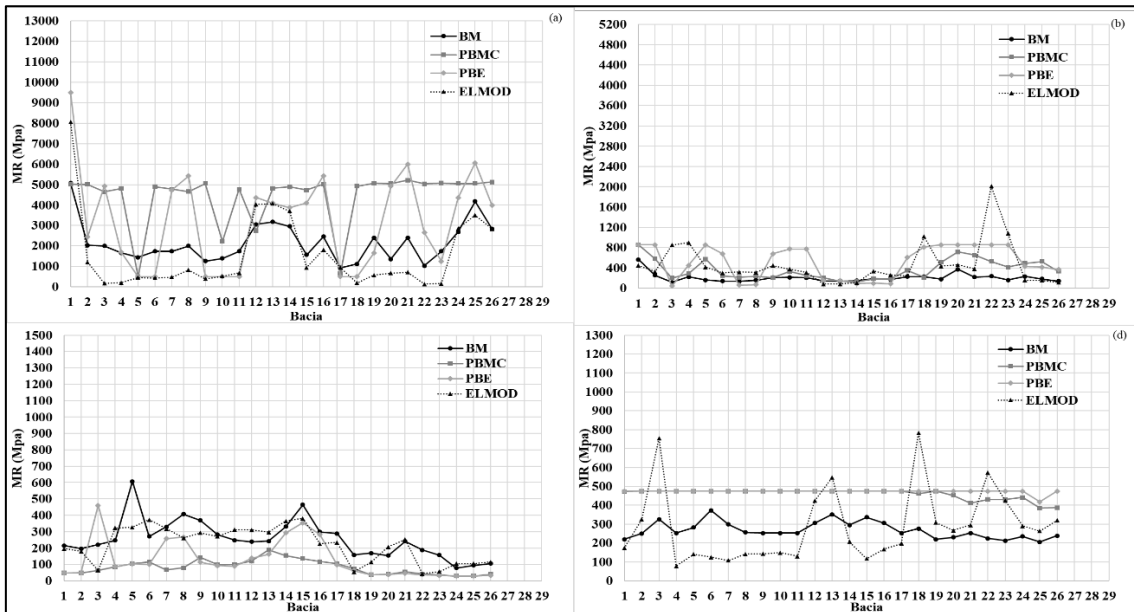


Figura 5.37- Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d), referentes ao trecho 3 deste estudo.

5.8.4 Segmento 4 - estaca 3376-3432

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 5%; IRI de 2,4; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 12 cm de CA, 23 cm de base de SL e 20 cm de sub-base de SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 4, está indicada na Tabela 5.15. Observa-se que o CV, no trecho analisado, variou de 22,08% a 34,38% sendo verificados maiores valores nos últimos geofones.

Tabela 5.15 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 4.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	34,04	22,30	16,45	11,40	8,36	4,17	1,75
Desvio padrão	8,05	5,35	3,63	2,67	2,28	1,42	0,87
cv (%)	23,65	24,00	22,08	23,47	27,26	34,01	49,57

Estatisticamente os resultados apresentam alta dispersão para os geofones 90 e 120 e média dispersão para os geofones 0, 20, 30 e 45 e 65.

A média da deflexão D_0 apresenta valor de $34,04 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 41,38% das deflexões D_0 , medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 30×10^{-2} mm, 55,17% estão entre 30×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm e 3,45% dos valores estão entre 50×10^{-2} mm e 80×10^{-2} mm, conforme demonstra Figura 5.38. Observa-se também a variação desse parâmetro, com D_0 apresentando valores de $28,3 \times 10^{-2}$ mm a 59×10^{-2} mm.

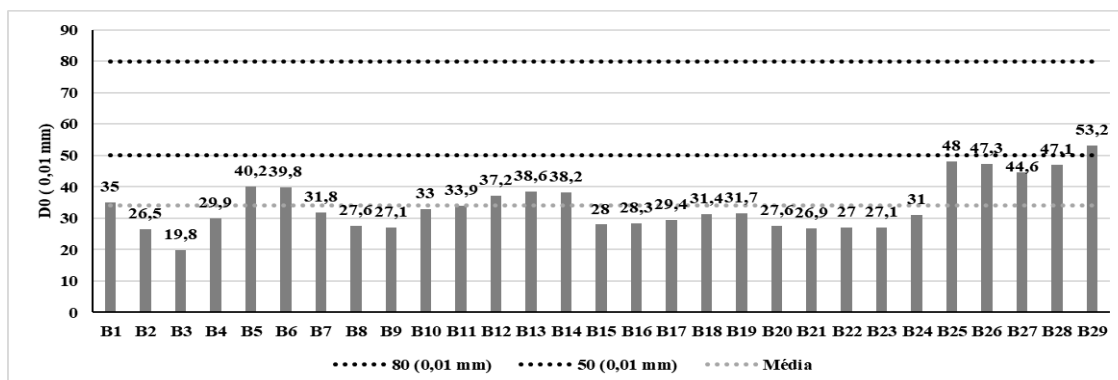


Figura 5.38 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 4 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $22,65 \times 10^{-2}$. Por meio do gráfico da Figura 5.39 pode-se observar que 96,55 % dos valores de D0-D3 abaixo de 35×10^{-2} e 3,55% estão entre 35×10^{-2} e 50×10^{-2} . Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 4, com D0-D3 que varia de $13,5 \times 10^{-2}$ mm a $36,4 \times 10^{-2}$ mm.

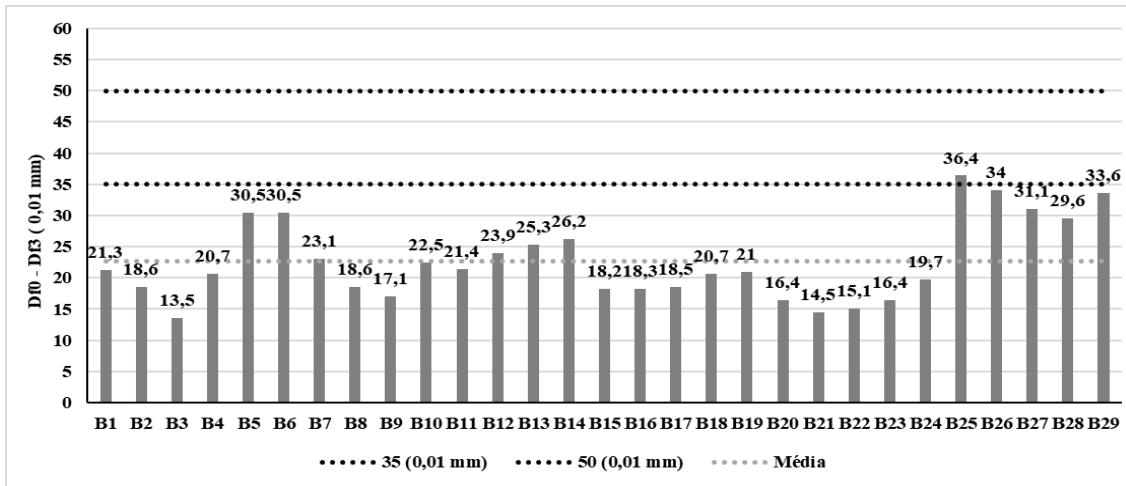


Figura 5.39 - Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 4 desta pesquisa.

A média da deflexão no geofone 120 apresenta valor de $1,75 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.40. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 4, com D6 apresentando valores de $0,4 \times 10^{-2}$ mm a $3,4 \times 10^{-2}$ mm.

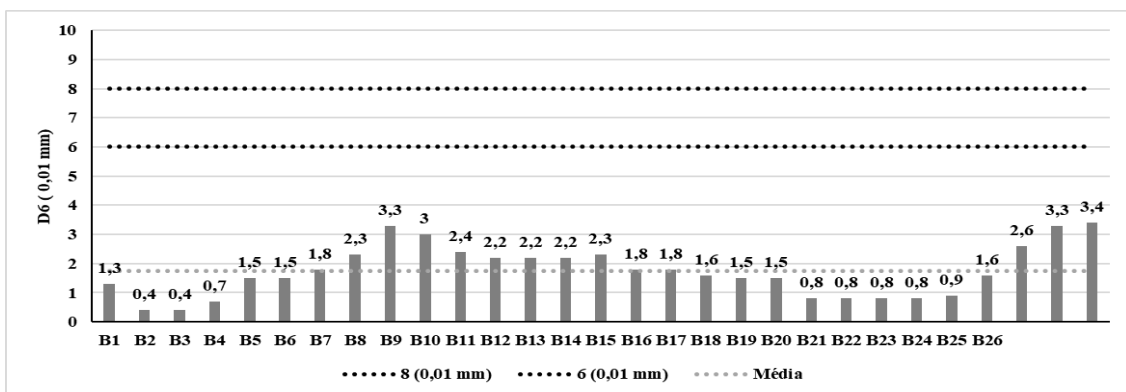


Figura 5.40 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 4 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 231 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.41 pode-se observar que 100 % dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e desses 76,92% estão acima de 200m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 4 com RCs que variam de 131 m a 359 m.

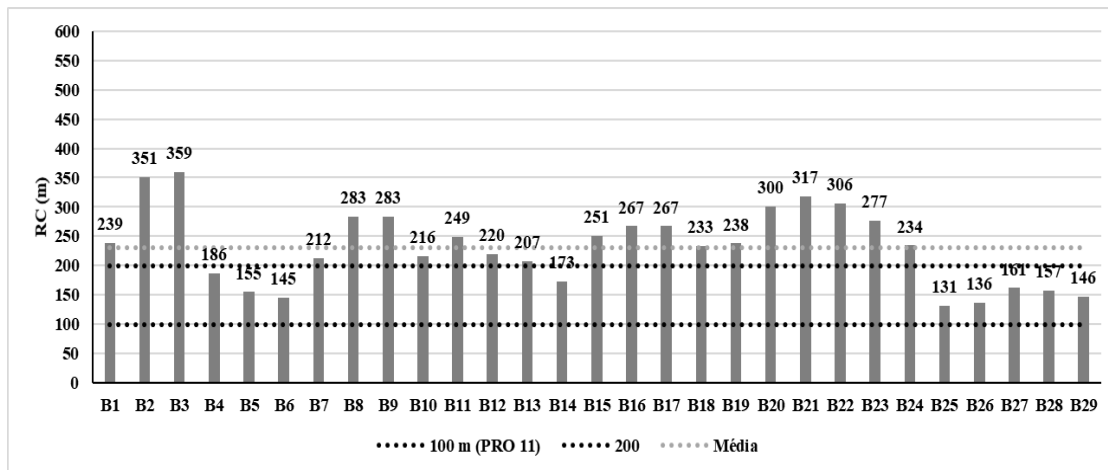


Figura 5.41 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 4 desta pesquisa.

Os módulos elásticos do segmento 4 para os programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.16, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.16 - Resultados médios das retroanálises no segmento 4 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	MÉDIA	2245	389	85	356
	DESVIO PAD.	711	157	32	120
	C.V	32%	40%	38%	34%
PITRA BACK múltiplas camadas	MÉDIA	4960	234	71	420
	DESVIO PAD.	911	130	52	81
	C.V	18%	56%	74%	19%
PITRA BACK esp. Equivalente	MÉDIA	2819	487	87	437
	DESVIO PAD.	2238	300	75	74
	C.V	79%	62%	86%	17%
ELMOD	MÉDIA	1579	445	228	260
	DESVIO PAD.	765	214	143	224
	C.V	48%	48%	63%	86%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados distintos nos 4 programas sendo: 2245 MPa, com CV de 32% no programa BM, 4960 MPa, com CV de 30% no programa PBMC, 2819 MPa, com CV de 79% no programa PBE e 1579 MPa, com CV de 48% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de base também foram distintos: 389 MPa, com CV de 40% no programa BM, 234 MPa, com CV de 56% no programa PBMC, 487 MPa, com CV de 62% no programa PBE e 445 MPa, com CV de 48% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de sub-base apresentaram valores aproximados nos programas BM, PBMC e PBE, sendo: 85 MPa, com CV de 38% no programa BM, 71 MPa, com CV de 74% no programa PBMC, 87 MPa, com CV de 86% no programa PBE e 228 MPa, com CV de 63 % no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de subleito apresentaram valores muito aproximados entre os programas PBMC e PBE, sendo: 356 MPa, com CV de 34 % no programa BM, 420 MPa, com CV de 19 % no programa PBMC, 437 MPa, com CV de 17 % no programa PBE e 260 MPa, com CV de 86 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos para a camada de revestimento, base e sub-base apresentaram alta dispersão em todos os 4 programas e para o subleito alta dispersão nos programas BM e ELMOD e média dispersão nos programas PBMC e PBE.

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.42 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5. 42 (b)), PBE (Figura 5. 42 (c)) e ELMOD (Figura 5. 42 (d)).

A Figura 5.43 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 4, nos 4 programas.

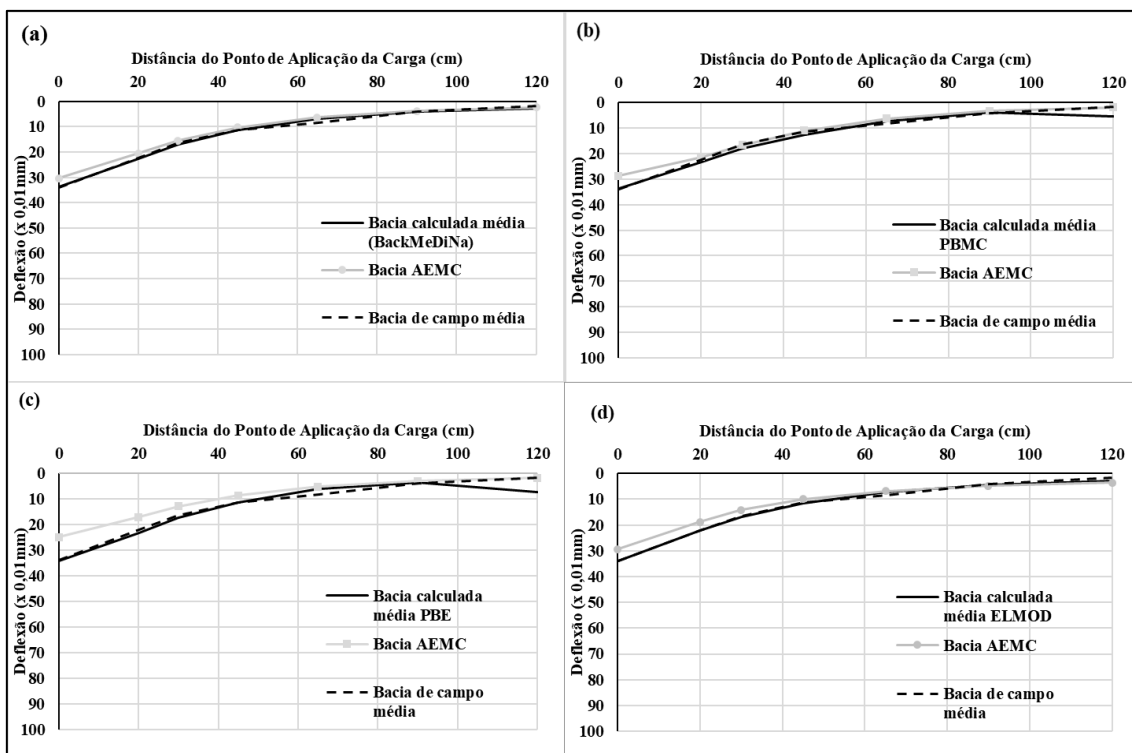


Figura 5.42 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 29 bacias, referentes ao trecho 4 deste estudo.

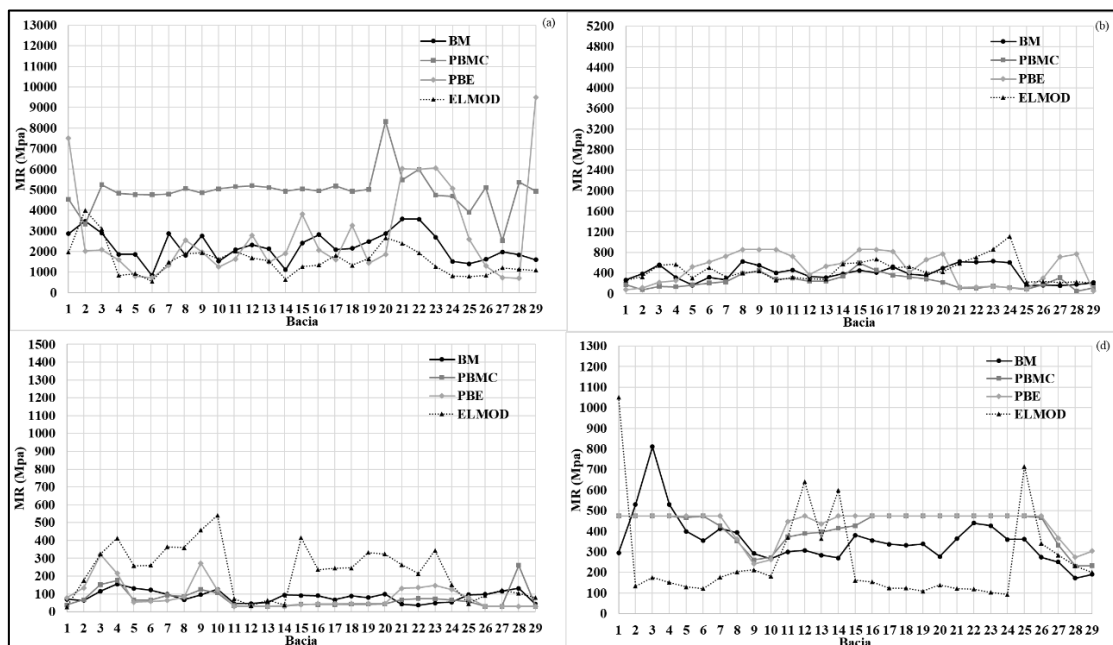


Figura 5.43 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 4 deste estudo.

5.8.5 Segmento 5 - estaca 3650-3700

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 19 %; IRI de 2,4; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 12 cm de CA, 23 cm de base de SL e 19 cm de sub-base SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 5, está indicada na Tabela 5.17. Pode-se observar que o CV, no trecho analisado, variou de 13,67 % a 74,98% sendo verificado maior valor no último geofone.

Tabela 5.17 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 5.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	43,86	27,56	17,58	10,11	6,53	2,70	0,75
Desvio padrão	6,30	3,88	2,40	1,86	1,78	0,83	0,56
cv (%)	14,36	14,08	13,67	18,37	27,20	30,61	74,98

Estatisticamente os resultados apresentam alta dispersão nos geofones 90 e 120, média dispersão para os geofones 45 e 65 e baixa dispersão para os geofones 0, 20 e 30.

A média da deflexão no geofone 0 apresenta valor de $43,86 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 84,62 % dos valores das deflexões D_0 medidas em campo, em cada bacia, estão entre 30×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm e 15,38 % dos valores estão entre 50×10^{-2} mm e 80×10^{-2} mm, conforme demonstra Figura 5.44. Observa-se também a variabilidade desse parâmetro no segmento 5, com D_0 apresentando valores de $30,6 \times 10^{-2}$ mm a 57×10^{-2} mm.

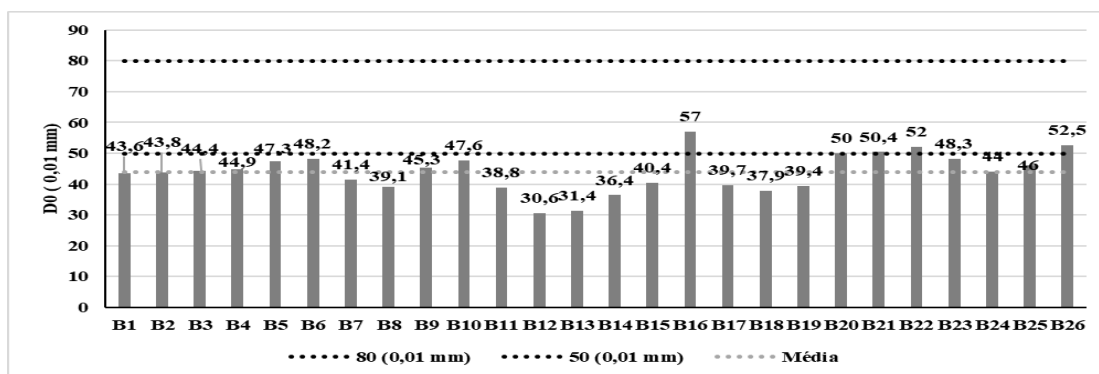


Figura 5.44- Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 5 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $33,75 \times 10^{-2}$. Por meio do gráfico da Figura 5.45 pode-se observar que 65,38 % dos valores de D0-D3 abaixo de 35×10^{-2} e 34,62% estão entre 35×10^{-2} e 50×10^{-2} . Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 5, com D0-D3 que varia de $21,7 \times 10^{-2}$ mm a $45,1 \times 10^{-2}$ mm.

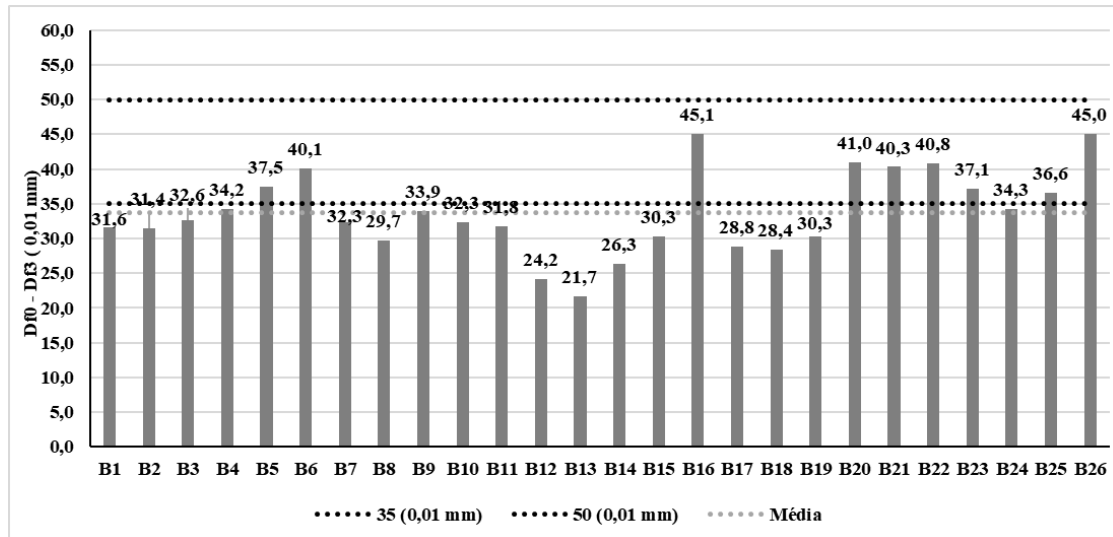


Figura 5.45 - Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 5 desta pesquisa.

A média da deflexão no geofone 120 apresenta valor de $0,75 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.46. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 5, com D6 apresentando valores de $0,1 \times 10^{-2}$ mm a 2×10^{-2} mm.

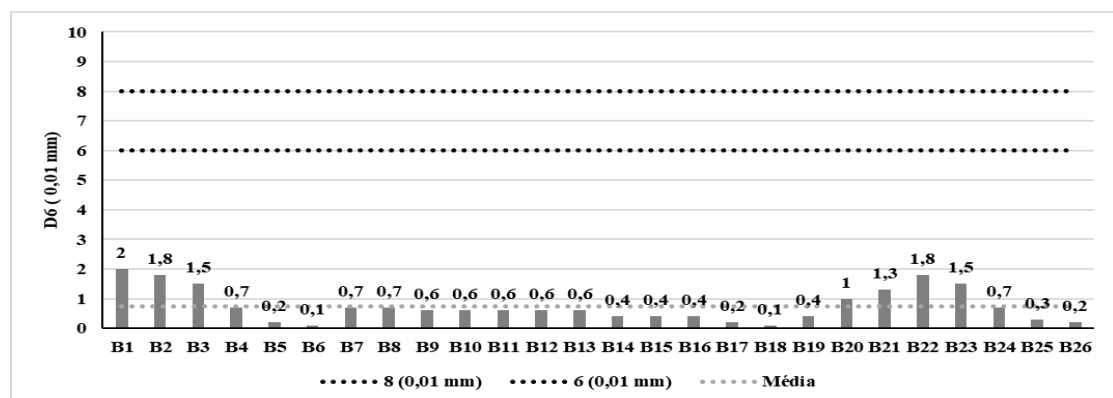


Figura 5.46 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 5 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 152 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.47 pode-se observar que 100 % dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e desses 7,69% estão acima de 200m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 5 com RCs que variam de 108 m a 232 m.

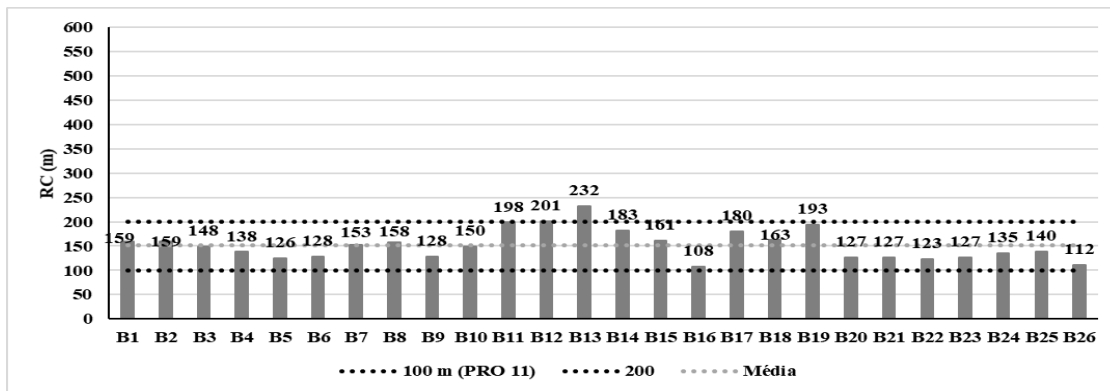


Figura 5.47 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 5 desta pesquisa.

Os módulos elásticos do segmento 5 para os programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.18, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.18 - Resultados médios das retroanálises no segmento 5 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	MÉDIA	1544	144	232	345
	DESVIO PAD.	467	45	143	67
	C.V	30%	31%	62%	19%
PITRA BACK múltiplas camadas	MÉDIA	3311	84	64	462
	DESVIO PAD.	1447	43	45	33
	C.V	44%	51%	70%	7%
PITRA BACK esp. Equivalente	MÉDIA	1305	140	69	475
	DESVIO PAD.	740	121	40	0
	C.V	57%	86%	57%	0%
ELMOD	MÉDIA	1178	208	151	528
	DESVIO PAD.	406	96	87	356
	C.V	34%	46%	58%	67%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados distintos nos 4 programas sendo: 1544 MPa, com CV de 30% no programa BM, 3311 MPa, com

CV de 44% no programa PBMC, 1035 MPa, com CV de 57% no programa PBE e 1178 MPa, com CV de 34% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de base apresentam valores aproximados nos programas BM e PBE, sendo: 144 MPa, com CV de 31% no programa BM, 84 MPa, com CV de 51% no programa PBMC, 140 MPa, com CV de 86% no programa PBE e 208 MPa, com CV de 46% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de sub-base apresentaram valores aproximados nos programas PBMC e PBE, sendo; 232 MPa, com CV de 62% no programa BM, 64 MPa, com CV de 70% no programa PBMC, 69 MPa, com CV de 57% no programa PBE e 151 MPa, com CV de 58 % no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de subleito apresentaram valores muito aproximados entre os programas PBMC e PBE, sendo: 345 MPa, com CV de 19 % no programa BM, 462 MPa, com CV de 7 % no programa PBMC, 475 MPa, com CV de 0 % no programa PBE e 528 MPa, com CV de 67 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos para a camada de revestimento, base e sub-base apresentaram alta dispersão em todos os 4 programas e para o subleito alta dispersão no programa ELMOD, média dispersão no BM e baixa dispersão nos programas PBMC e PBE.

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.48 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5.48 (b)), PBE (Figura 5.48 (c)) e ELMOD (Figura 5.48 (d)) .

A Figura 5.49 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 5, nos 4 programas, e demonstra que todos apresentaram o valor do módulo variando em uma faixa similar na camada de base. Neste segmento, no programa PITRA apareceu uma distorção na bacia, na parte correspondente ao último geofone que não foi possível corrigir nem explicar.

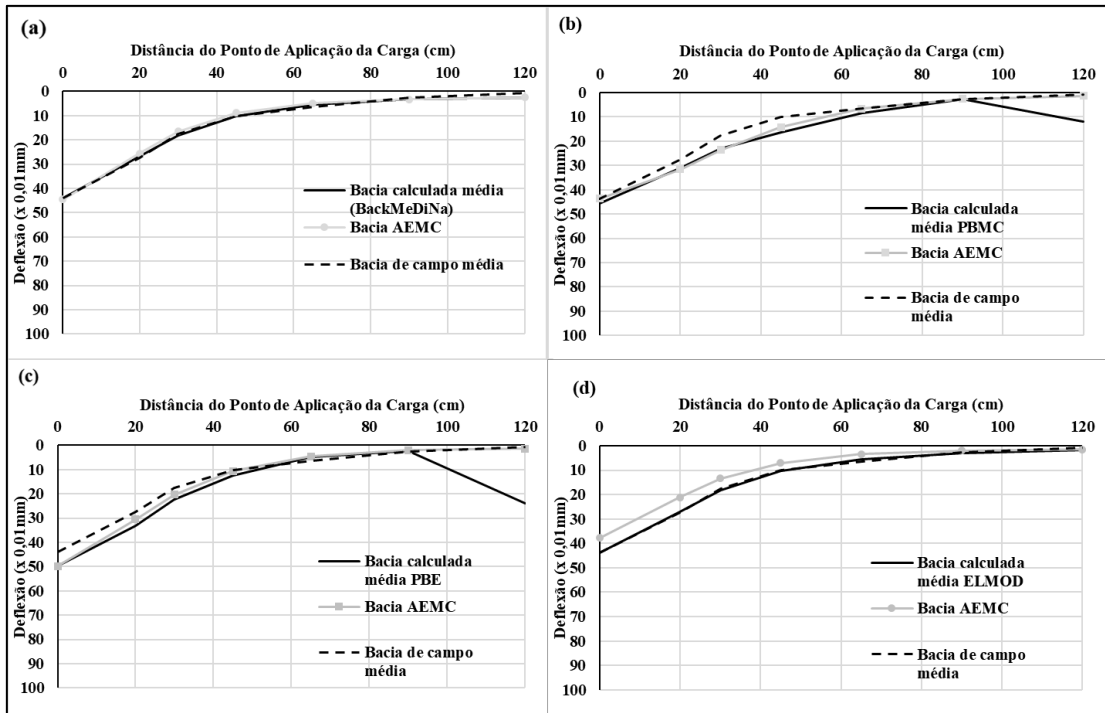


Figura 5.48 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 5 deste estudo.

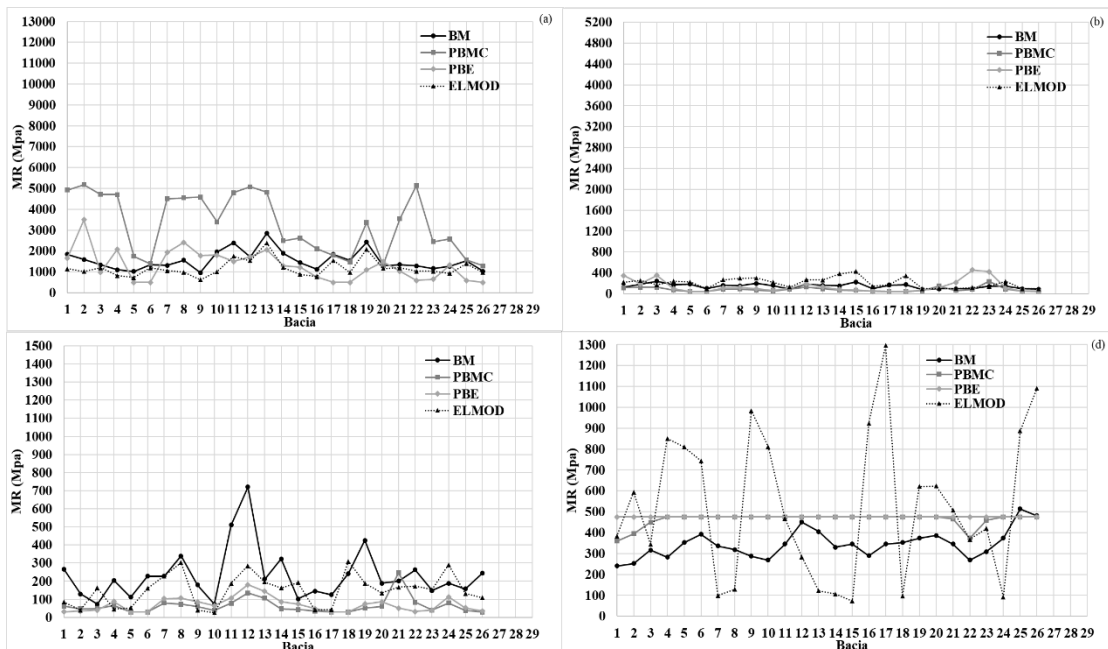


Figura 5.49- Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 5 deste estudo.

5.8.6 Segmento 6 - estaca 5334-5384

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 54%; IRI de 2,5; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 14 cm de CA, 21 cm de base de SL e 20 cm de sub-base SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 6, está indicada na Tabela 5.19. Pode-se observar que o CV, no trecho analisado, variou de 18,21% a 54,7%, sendo verificado maior valor no último geofone.

Tabela 5.19 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 6.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	48,72	34,17	24,82	15,83	10,10	3,14	0,88
Desvio padrão	9,91	6,22	5,91	3,46	2,78	1,15	0,48
cv (%)	20,34	18,21	23,81	21,84	27,58	36,45	54,70

Estatisticamente os resultados apresentam alta dispersão para os geofones 90 e 120, média dispersão para os geofones 0, 20, 30, 45 e 65.

A média da deflexão D_0 apresenta valor de $48,72 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 73,08% dos valores das deflexões D_0 medidas em campo, em cada bacia, estão entre 30×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm e 26,92 % dos valores estão entre 50×10^{-2} mm e 80×10^{-2} mm, conforme demonstra Figura 5.50. Observa-se também a variabilidade desse parâmetro no segmento 6, com D_0 apresentando valores de $38,3 \times 10^{-2}$ mm a $75,7 \times 10^{-2}$ mm.

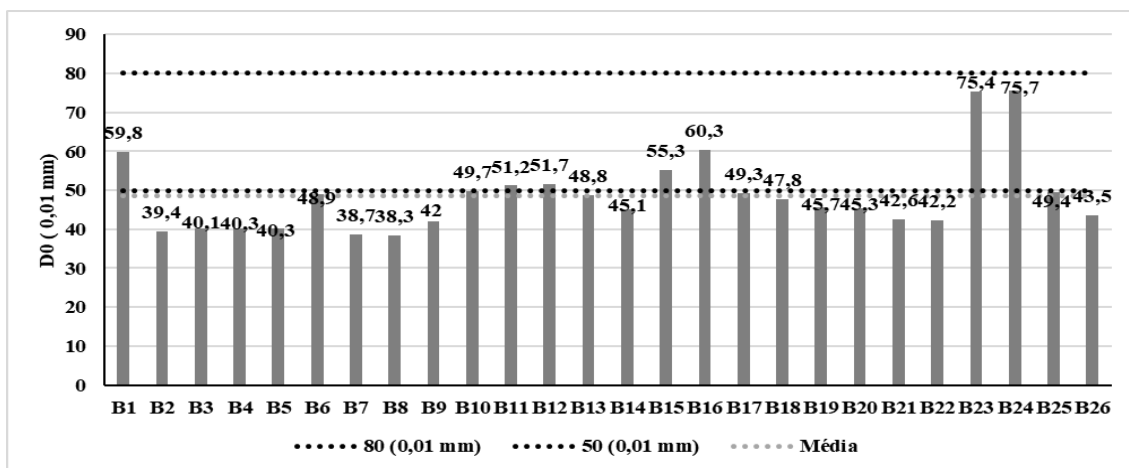


Figura 5.50 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 6 desta pesquisa.

D0-D3 apresenta valor médio de $32,89 \times 10^{-2}$. Por meio do gráfico da Figura 5.51 pode-se observar que 76,92 % dos valores de D0-D3 abaixo de 35×10^{-2} mm e 15,38% estão entre 35×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm, e 7,7 % estão acima de 50×10^{-2} mm. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 6, com D0-D3 que varia de $25,2 \times 10^{-2}$ mm a $56,7 \times 10^{-2}$ mm.

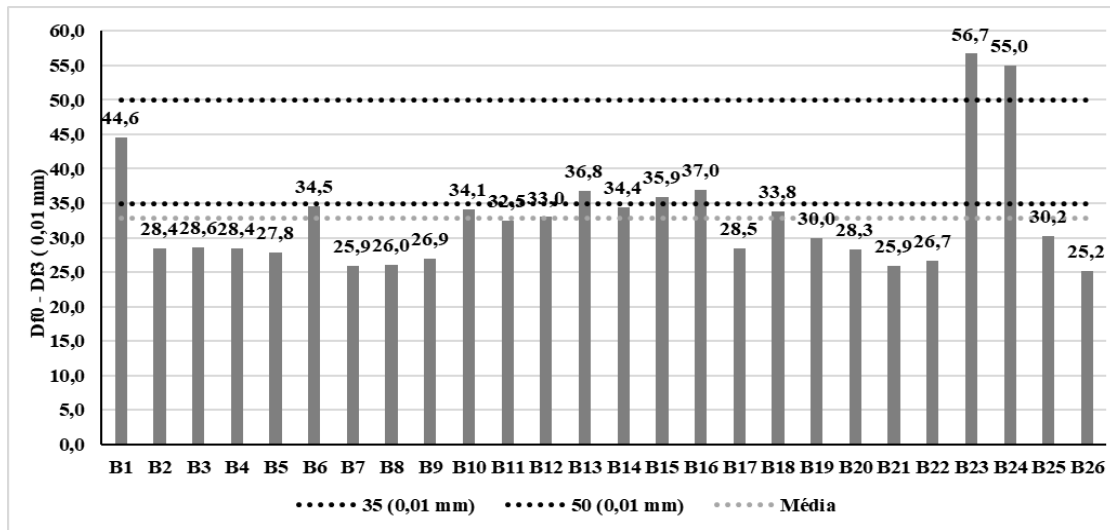


Figura 5.51 - Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 6 desta pesquisa.

A média da deflexão no D6 apresenta valor de $0,88 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.52. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 6, com D6 apresentando valores de $0,1 \times 10^{-2}$ mm a $1,7 \times 10^{-2}$ mm.

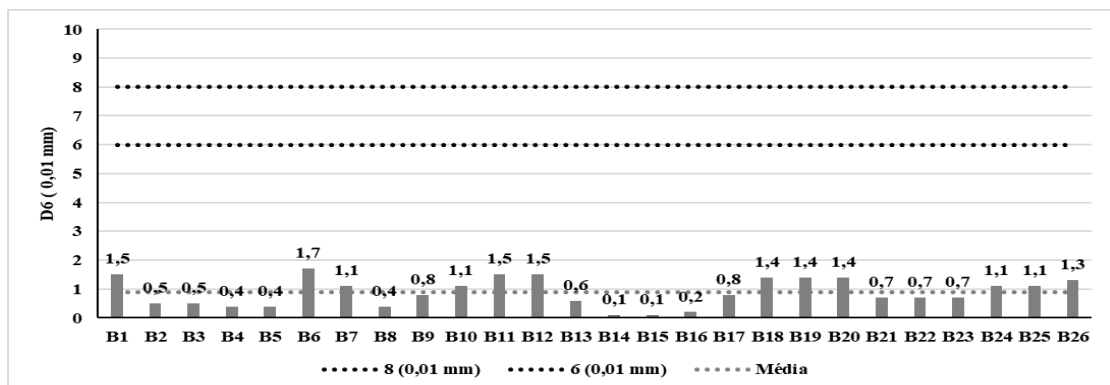


Figura 5.52 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 6 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 176 metros. A Figura 5.53 demonstra que 96,15% dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e 26,92% estão acima de 200m. Observa-se ainda, a variação desse parâmetro, com RCs que variam de 108 m a 232 m.

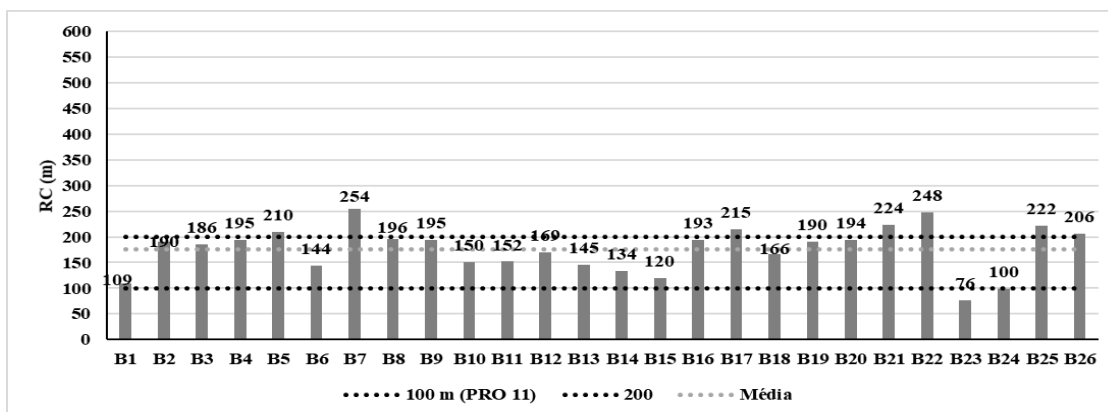


Figura 5.53 - Raio de curvatura de cada bacia no segmento 6 desta pesquisa.

Os módulos elásticos do segmento 6 para os programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.20, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.20 - Resultados médios das retroanálises no segmento 6 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	<i>MÉDIA</i>	1722	142	64	335
	<i>DESVIO PAD.</i>	612	57	36	100
	<i>C.V</i>	36%	40%	56%	30%
PITRA BACK múltiplas camadas	<i>MÉDIA</i>	1798	90	60	429
	<i>DESVIO PAD.</i>	453	0	0	34
	<i>C.V</i>	25%	0%	0%	8%
PITRA BACK esp. Equivalente	<i>MÉDIA</i>	1580	90	62	443
	<i>DESVIO PAD.</i>	681	0	4	17
	<i>C.V</i>	43%	0%	7%	4%
ELMOD	<i>MÉDIA</i>	1459	123	57	662
	<i>DESVIO PAD.</i>	632	53	32	283
	<i>C.V</i>	43%	44%	56%	43%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados aproximados nos 4 programas, sendo: 1722 MPa, com CV de 36% no programa BM, 1798 MPa, com CV de 25% no programa PBMC, 1580 MPa, com CV de 43% no programa PBE e 1459MPa, com CV de 43% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de base apresentaram valores aproximados nos programas BM e ELMOD e iguais nos programas PBMC e PBE, sendo 142 MPa, com CV de 40% no programa BM, 90 MPa, com CV de 0% nos programas PBMC e PBE e 123 MPa, com CV de 44% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de sub-base apresentaram valores aproximados nos 4 programas, sendo, 64 MPa, com CV de 56% no programa BM, 60 MPa, com CV de 0% no programa PBMC, 62 MPa, com CV de 7% no programa PBE e 57 MPa, com CV de 56% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de subleito apresentaram valores muito aproximados entre os programas PBMC e PBE, sendo: 335 MPa, com CV de 30 % no programa BM, 429 MPa, com CV de 8 % no programa PBMC, 443MPa, com CV de 4 % no programa PBE e 662 MPa, com CV de 43 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos para a camada de revestimento nos programas BM, PBE e ELMOD apresentaram alta dispersão e no programa PBMC média dispersão. Para a camada de base, sub-base e subleito, os resultados dos módulos nos programas PBMC e PBE apresentaram baixa dispersão e nos programas BM e ELMOD alta dispersão

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.54 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5.54 (b)), PBE (Figura 5.54 (c)) e ELMOD (Figura 5.54 (d)).

A Figura 5.55 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 6, nos 4 programas e demonstra que todos os programas concordaram que as camadas de base e sub-base são as mais críticas nesse segmento.

Neste segmento, no programa PITRA apareceu uma distorção na bacia, na parte correspondente ao último geofone que não foi possível corrigir nem explicar.

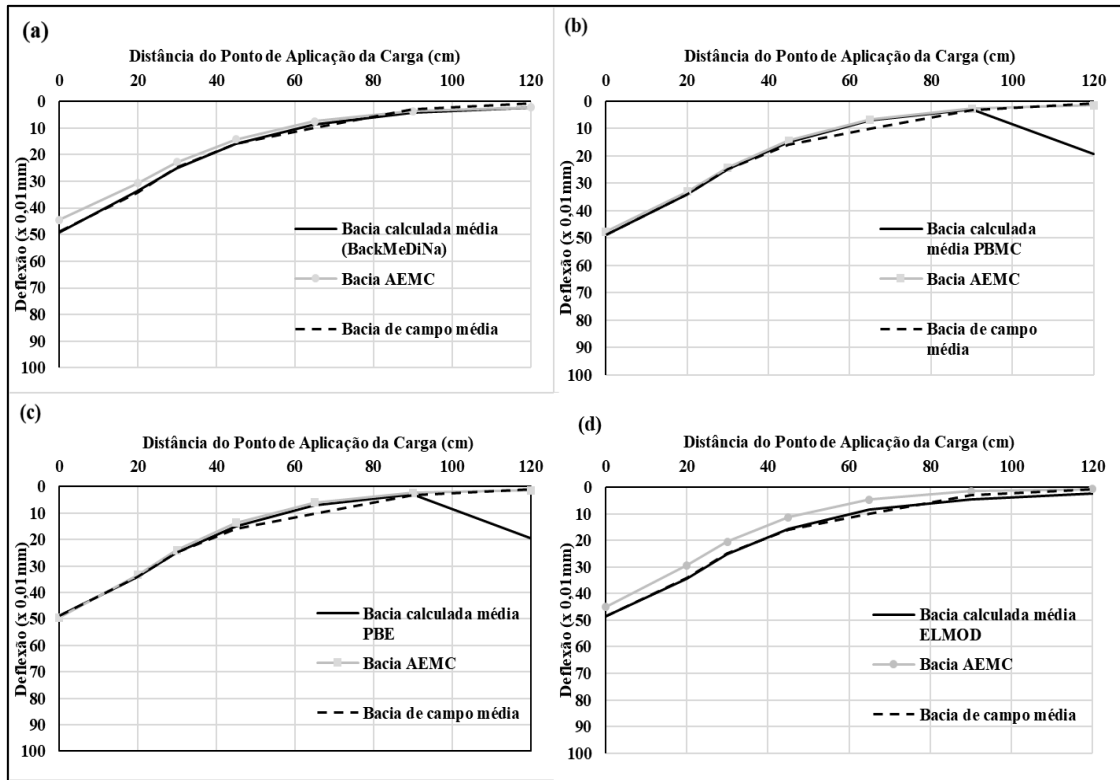


Figura 5.54 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 6 deste estudo.

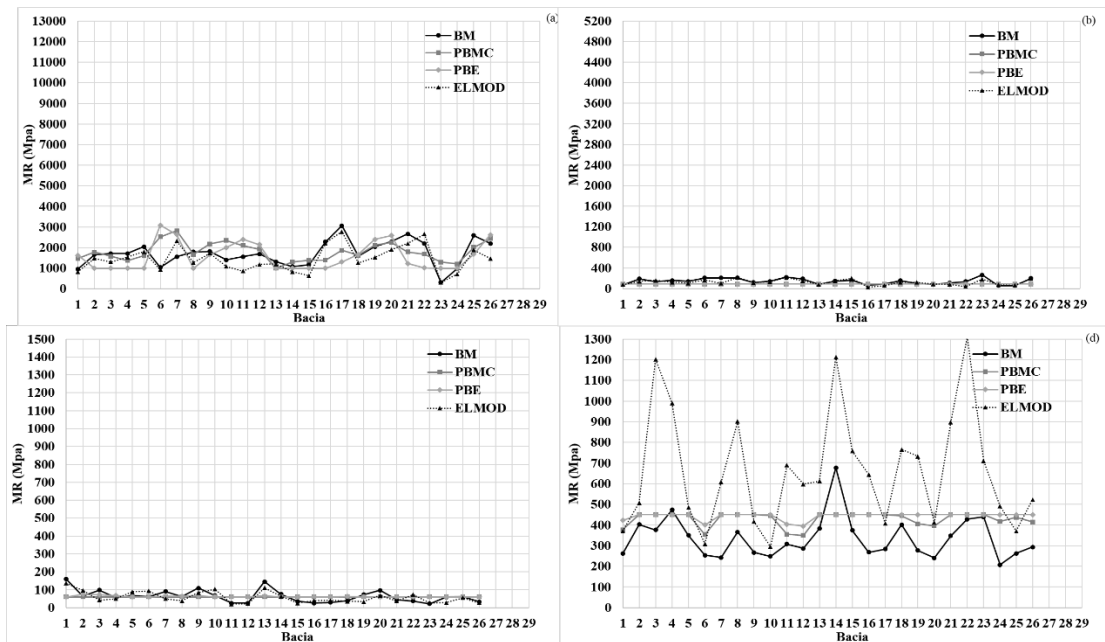


Figura 5.55 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d), referentes ao trecho 6 deste estudo.

5.8.7 Segmento 7 - estaca 6758-6810

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 8%; IRI de 2,8; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 18 cm de CA, 19 cm de base de SL e 21 cm de sub-base de SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 7, está indicada na Tabela 5.21. Pode-se observar que CV, no trecho analisado, variou de 18,74 % a 115,09%, sendo verificado maiores valores no últimos geofones.

Tabela 5.21 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 7.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	27,04	18,63	14,17	10,59	7,51	2,72	0,83
Desvio padrão	6,09	3,73	2,66	2,46	1,59	1,15	0,95
cv (%)	22,52	20,00	18,74	23,21	21,24	42,26	115,09

Estatisticamente os resultados apresentam alta dispersão para os geofones 90 e 120, média dispersão para os geofones 0, 20, 30, 45 e 65.

A média da deflexão no geofone 0 apresenta valor de $27,04 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 74,07 % dos valores das deflexões D_0 medidas em campo, em cada bacia, estão abaixo de 25,93 % dos valores estão entre 30×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm, conforme demonstra Figura 5.56. Observa-se também a variabilidade desse parâmetro no segmento 6, com D_0 apresentando valores de $15,7 \times 10^{-2}$ mm a $39,7 \times 10^{-2}$ mm.

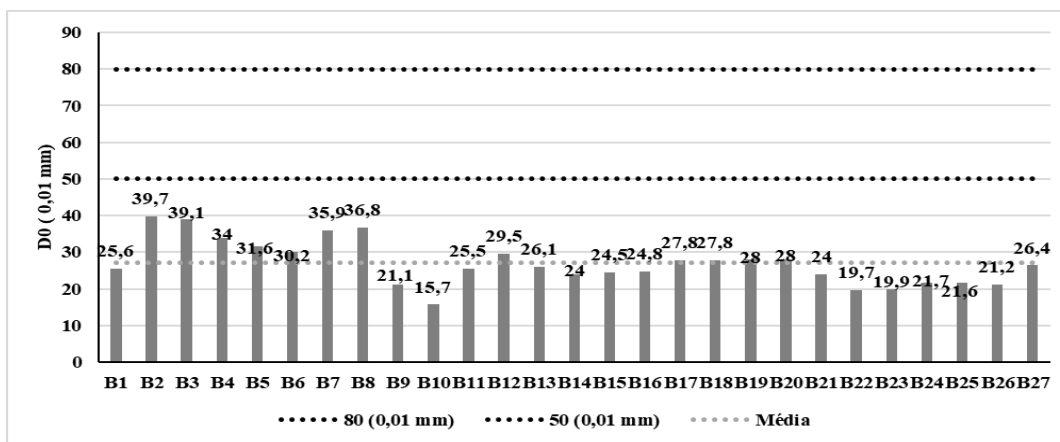


Figura 5.56 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 7 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $16,46 \times 10^{-2}$ mm. Por meio do gráfico da Figura 5.57 pode-se observar que 100 % dos valores de D0-D3 estão abaixo de 35×10^{-2} mm. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 6, com D0-D3 que varia de $8,9 \times 10^{-2}$ mm a $31,7 \times 10^{-2}$ mm.

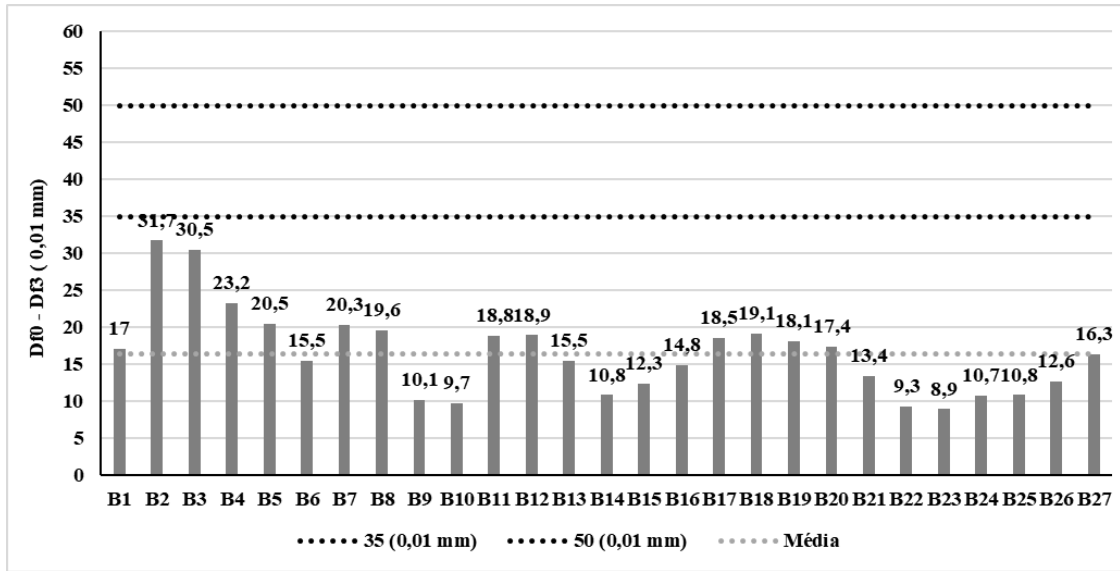


Figura 5.57 - Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 7 desta pesquisa.

A média da deflexão D6 apresenta valor de $0,83 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.58. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 6, com D6 apresentando valores de $0,1 \times 10^{-2}$ mm a $3,8 \times 10^{-2}$ mm.

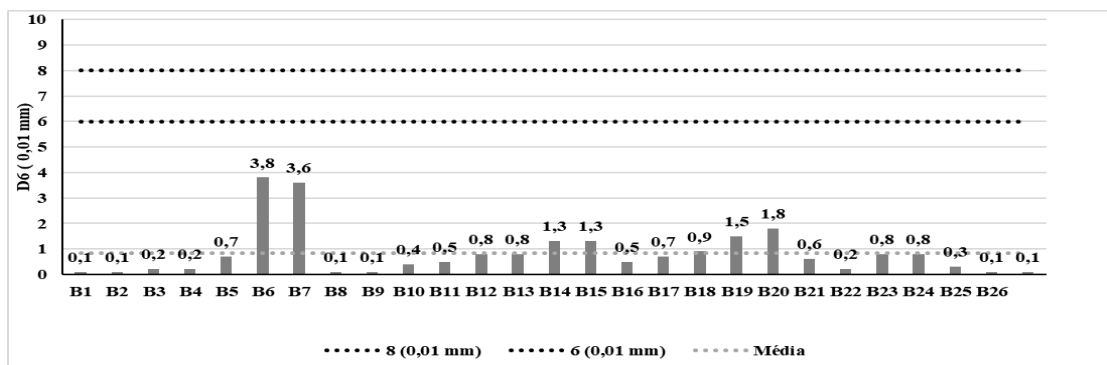


Figura 5.58 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 7 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 331 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.59 pode-se observar que 100 % dos valores de RC se encontram acima de 100 metros e 92,6 % estão acima de 200 m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 6 com RCs que variam de 159 m a 568 m.

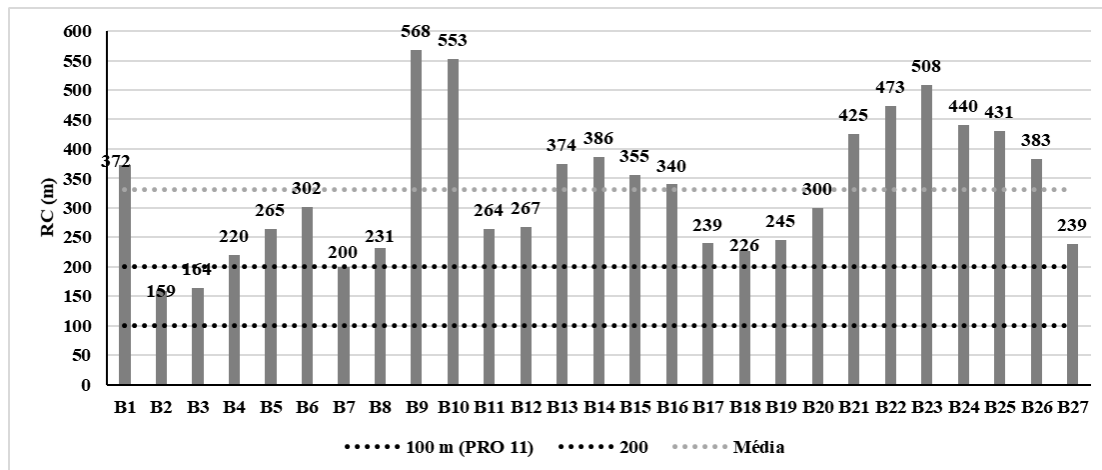


Figura 5.59 - Raio de curvatura de cada bacia no segmento 7 desta pesquisa.

Os módulos elásticos do segmento 7 para os programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.22, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.22 - Resultados médios das retroanálises no segmento 7 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	MÉDIA	2703	173	270	298
	DESVIO PAD.	1015	83	122	49
	C.V	38%	48%	45%	16%
PITRA BACK multiplas camadas	MÉDIA	1419	74	110	370
	DESVIO PAD.	842	30	126	36
	C.V	59%	41%	115%	10%
PITRA BACK esp. Equivalente	MÉDIA	1436	155	148	372
	DESVIO PAD.	1014	207	97	28
	C.V	71%	134%	66%	8%
ELMOD	MÉDIA	1911	424	120	471
	DESVIO PAD.	1047	337	101	275
	C.V	55%	79%	84%	58%

Os módulos da camada de revestimento médios apresentaram resultados aproximados nos programas PBMC e PBE, sendo: 2703 MPa, com CV de 38% no programa BM, 1419 MPa, com CV de 59% no programa PBMC, 1436 MPa, com CV de 71% no programa PBE e 1911 MPa, com CV de 55% no programa ELMOD.

Os módulos da camada de base apresentaram valores distintos nos 4 programas, sendo: 173 MPa, com CV de 48% no programa BM, 74 MPa, com CV de 41% no programa PBMC, 155 MPa, com CV de 134% no programa PBE e 424 MPa, com CV de 79 % no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de sub-base apresentaram valores distintos nos 4 programas, sendo: 270 MPa, com CV de 45% no programa BM, 110 MPa, com CV de 115% no programa PBMC, 148 MPa, com CV de 66% no programa PBE e 120 MPa, com CV de 84% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de subleito apresentaram valores muito aproximados entre os programas PBMC e PBE, sendo: 298 MPa, com CV de 16 % no programa BM, 370 MPa, com CV de 10 % no programa PBMC, 372 MPa, com CV de 8 % no programa PBE e 471 MPa, com CV de 58 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos das camadas de revestimento, base e sub-base nos 4 programas apresentaram alta dispersão. Para a camada subleito, os resultados dos módulos nos programas PBMC e PBE apresentaram baixa dispersão, no programa BM média dispersão e no programa e ELMOD alta dispersão.

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 27 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.60 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5.60 (b)), PBE (Figura 5.60 (c)) e ELMOD (Figura 5.60 (d)).

A Figura 5.61 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 1, nos 4 programas. Também neste segmento o programa PITRA apresentou valores inconsistentes no último geofone.

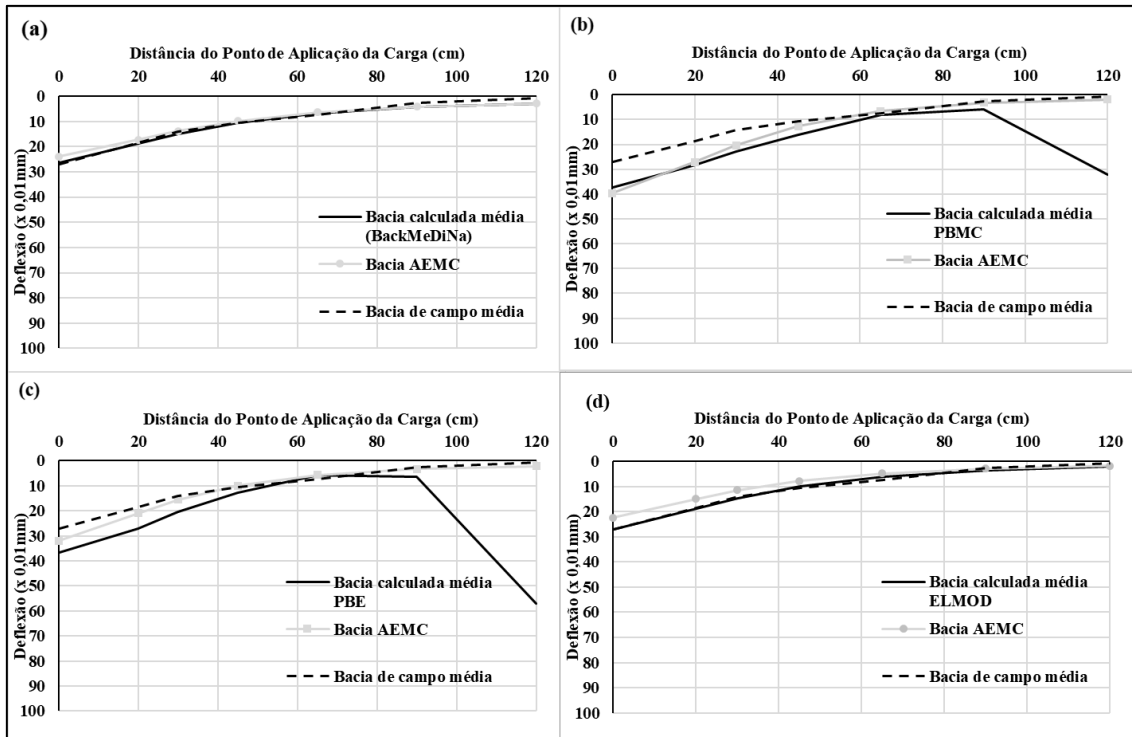


Figura 5.60 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 27 bacias, referentes ao trecho 7 deste estudo.

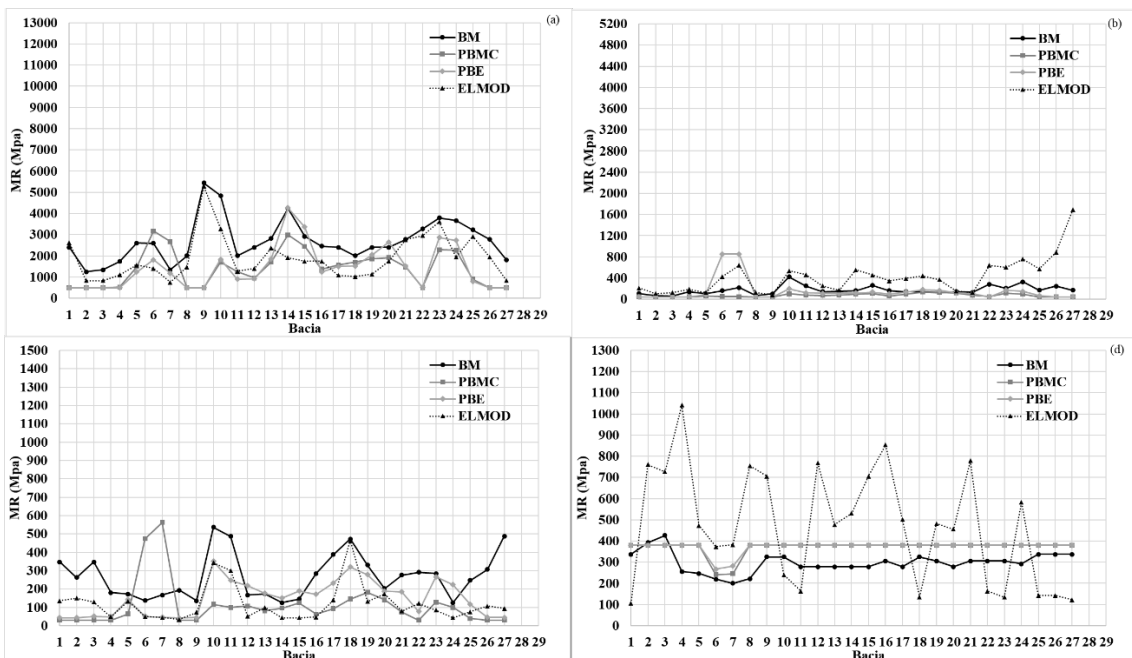


Figura 5.61 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 7 deste estudo.

5.8.8 Segmento 8 - estaca 10004-10054

Na Tabela 5.6 tem-se que este segmento apresentava um total de trincas de 21%; IRI de 2,6; e na Tabela 5.8 vê-se as espessuras de 8 cm de CA, 20 cm de base de SL e 20 cm de sub-base de SL. A bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 8, está indicada na Tabela 5.23. Pode-se observar que o CV, no trecho analisado, variou de 14,30 % a 20,69% sendo verificado maior valor no geofone 65.

Tabela 5.23 - Bacia de deflexão média medida em campo, no segmento 8.

Deflexão média medida em campo (0,01 mm)							
Distância de aplicação da carga (cm)	0	20	30	45	65	90	120
Média	37,35	18,69	11,21	6,08	4,57	2,49	1,41
Desvio padrão	7,73	2,67	1,74	1,06	1,02	0,40	0,27
cv (%)	20,69	14,30	15,51	17,44	22,25	16,09	19,15

Estatisticamente os resultados apresentam média dispersão nos geofones 0, 30, 90 e 120, média dispersão para os geofones 0, 20, 30, 45 e 65.

A média da deflexão D_0 é $37,35 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 3,84% dos valores das deflexões D_0 medidas em campo, em cada bacia, estão abaixo de 30×10^{-2} mm, 84,62 % entre 30×10^{-2} mm e 50×10^{-2} mm e 11,54% dos valores estão entre 50×10^{-2} mm e 80×10^{-2} mm, conforme demonstra Figura 5.60. Observa-se também a variabilidade desse parâmetro no segmento 8, com D_0 apresentando valores de 30×10^{-2} mm a $53,1 \times 10^{-2}$ mm.

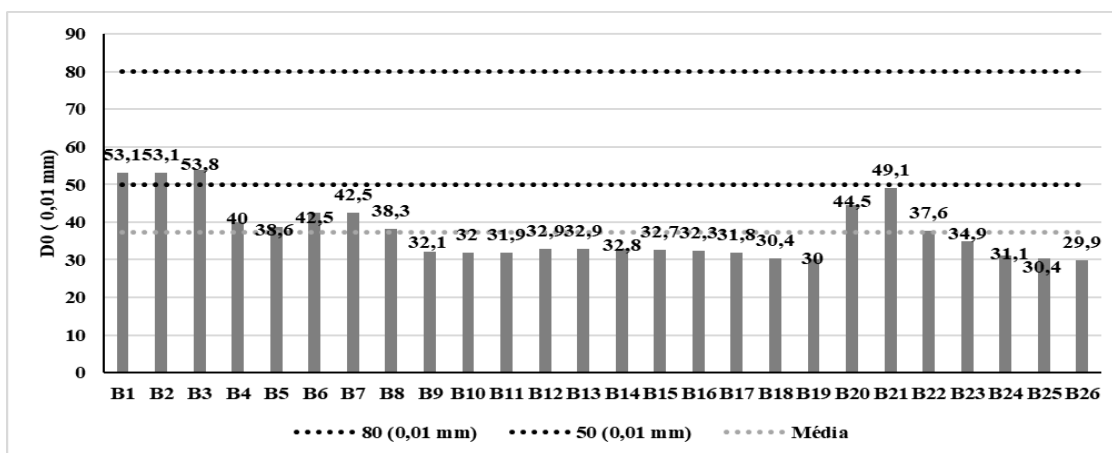


Figura 5.62 - Deflexões D_0 de cada bacia do segmento 8 desta pesquisa.

A diferença D0-D3 apresenta valor médio de $31,28 \times 10^{-2}$ mm. Por meio do gráfico da Figura 5.63 pode-se observar que 73,08 % dos valores de D0-D3 abaixo de 35×10^{-2} mm e que 26,92 % estão entre 35×10^{-2} e 50×10^{-2} mm. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro, no segmento 8, com D0-D3 que varia de $22,5 \times 10^{-2}$ mm a $47,8 \times 10^{-2}$ mm.

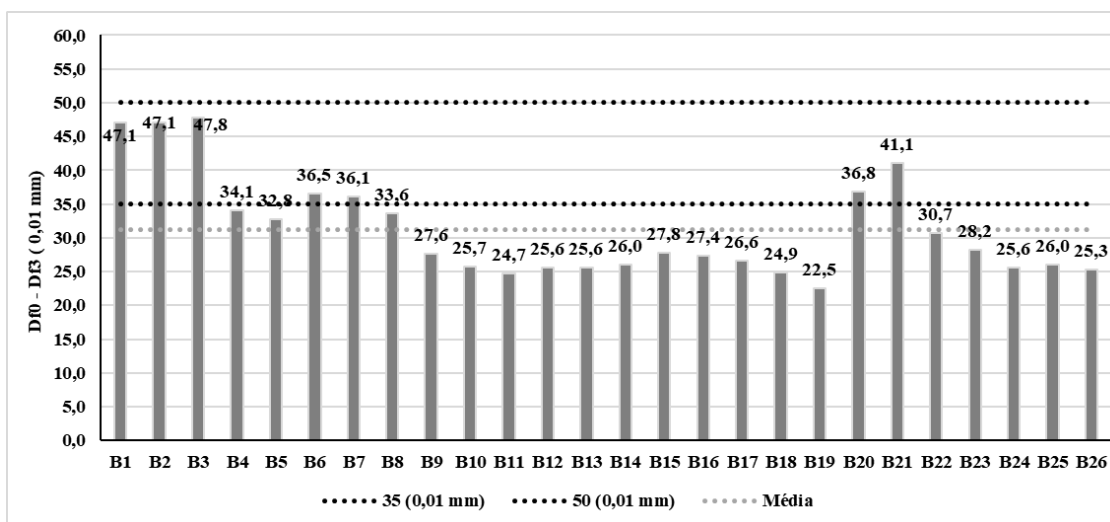


Figura 5.63 - Deflexões D0-D3 de cada bacia do segmento 8 desta pesquisa.

A média da deflexão D6 apresenta valor de $0,88 \times 10^{-2}$ mm, sendo que 100% dos valores das deflexões D6 medidas em campo, em cada bacia, foram menores que 6×10^{-2} mm, conforme Figura 5.64. Observa-se também variação dos resultados desse parâmetro no segmento 8, com D6 apresentando valores de $0,1 \times 10^{-2}$ mm a $1,7 \times 10^{-2}$ mm.

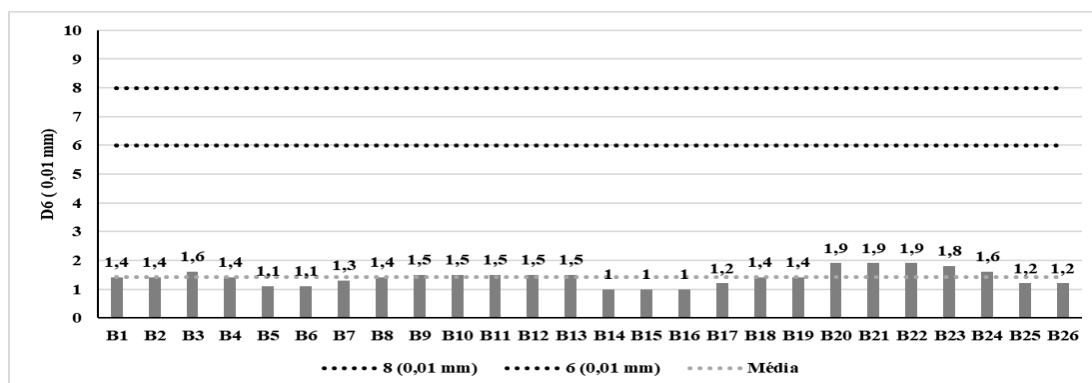


Figura 5.64 - Deflexões D6 de cada bacia do segmento 8 desta pesquisa.

O valor de RC médio é 148 metros. Por meio do gráfico da Figura 5.65 pode-se observar que 88,46 % dos valores de RC se encontram acima de 100 m e 3,85% estão acima de 200 m. Observa-se ainda, a variabilidade desse parâmetro no segmento 8 com RCs que variam de 88 m a 204 m.

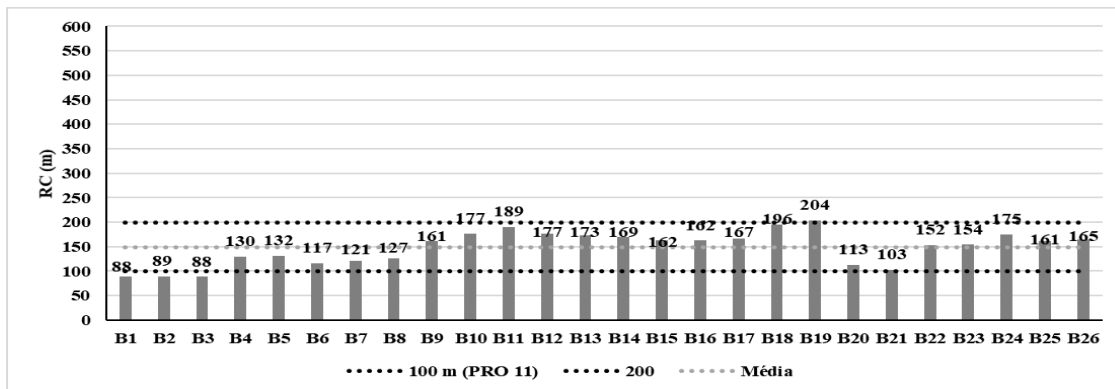


Figura 5.65 - Raios de curvatura de cada bacia no segmento 8 desta pesquisa.

Os módulos elásticos do segmento 8 dos programas BackMeDiNa (BM), PITRA-BACK múltipla camada (PBMC) e espessura equivalente (PME) e ELMOD (EL) são apresentados na Tabela 5.24, bem como análises estatísticas desses valores.

Tabela 5.24 - Resultados médios das retroanálises no segmento 8 desta pesquisa.

MÓDULOS (MPa)		rev	base	sub base	subleito
Back MeDiNa	MÉDIA	1832	270	344	405
	DESVIO PAD.	680	123	179	72
	C.V	37%	45%	52%	18%
PITRA BACK multiplas camadas	MÉDIA	2844	328	194	378
	DESVIO PAD.	1856	101	101	7
	C.V	65%	31%	52%	2%
PITRA BACK esp. Equivalente	MÉDIA	1636	378	249	379
	DESVIO PAD.	848	133	110	5
	C.V	52%	35%	44%	1%
ELMOD	MÉDIA	1610	267	438	386
	DESVIO PAD.	619	89	107	167
	C.V	38%	33%	24%	43%

Os módulos médios da camada de revestimento apresentaram resultados aproximados nos programas BM, PBE e ELMOD, sendo: 1832MPa, com CV de 37% no

programa BM, 2844 MPa, com CV de 65% no programa PBMC, 1636 MPa, com CV de 52% no programa PBE e 1610 MPa, com CV de 38% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de base apresentaram valores aproximados nos programas BM e ELMOD e nos programas PBMC e PBE, sendo: 270 MPa, com CV de 45% no programa BM, 328 MPa, com CV de 31 % no programa PBMC, 378 MPa, com CV de 35% no programa PBE, e 267 MPa, com CV de 33% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de sub-base apresentaram valores distintos nos 4 programas, sendo: 344 MPa, com CV de 52% no programa BM, 194 MPa, com CV de 52% no programa PBMC, 249 MPa, com CV de 44% no programa PBE e 438 MPa, com CV de 24% no programa ELMOD.

Os módulos para a camada de subleito apresentaram valores muito aproximados nos 4 programas, sendo: 405 MPa, com CV de 18 % no programa BM, 378 MPa, com CV de 2 % no programa PBMC, 379 MPa, com CV de 1 % no programa PBE e 386 MPa, com CV de 43 % no programa ELMOD.

Os resultados dos módulos para a camada de revestimento e base nos 4 programas apresentaram alta dispersão, para a camada de sub-base os módulos apresentaram alta dispersão nos programas BM, PBMC e PBE e no programa ELMOD média dispersão. Para a camada de subleito, os resultados dos módulos no PBMC e PBE apresentaram baixa dispersão, no programa BM média dispersão e no programa ELMOD alta dispersão.

De acordo com a representação gráfica da bacia média medida em campo com a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos nos 4 programas, aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, observou-se maior convergência entre as 3 curvas das bacias no BM (Figura 5.66 (a)) que nos programas PBMC (Figura 5.66 (b)), PBE (Figura 5.66 (c)) e ELMOD (Figura 5.66 (d)).

A Figura 5.67 apresenta a variação de módulos das camadas de revestimento, base, sub-base e subleito, em cada bacia do segmento 8, nos 4 programas, e demonstra que todos apresentaram o valor do módulo variando em uma faixa similar na camada de base.

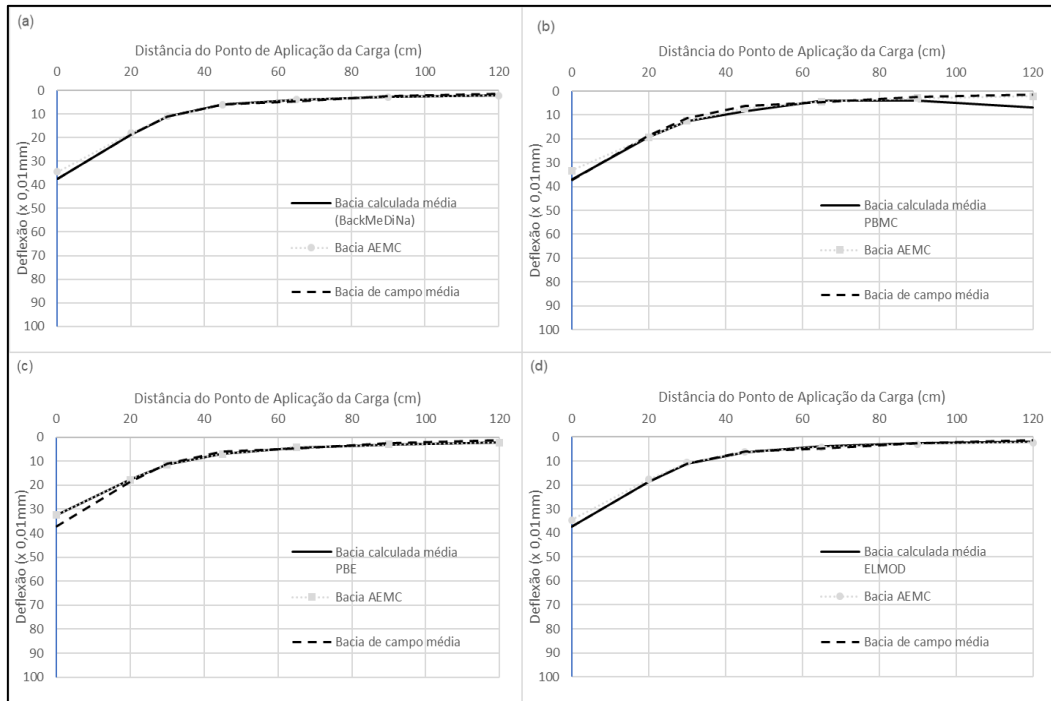


Figura 5.66 - Bacia média medida em campo, bacia média calculada por meio dos módulos obtidos por cada programa no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais das 26 bacias, referentes ao trecho 8 deste estudo.

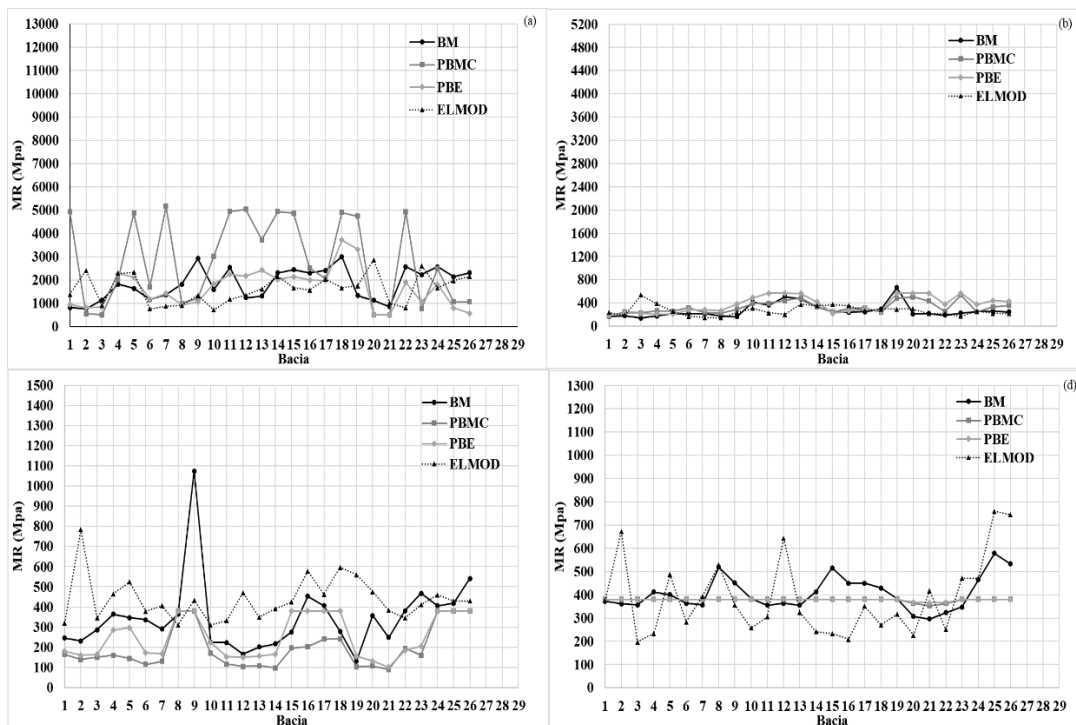


Figura 5.67 - Variação de módulos das camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) , referentes ao trecho 8 deste estudo.

5.9 Considerações sobre a retroanálise

Os resultados obtidos pelos programas de retroanálise dos módulos de elasticidade, a partir do levantamento deflectométrico selecionado para este estudo, apresentaram valores relativamente distintos entre si. Isto era esperado devido às diferenças dos modelos de cálculo, hipóteses, algoritmo de minimização do RMS, etc., assim como constatou NOBREGA (2003) e AMERI *et al.* (2009). Entretanto esta diferença não deve ultrapassar uma determinada faixa de valores que leve a distorções na análise da condição estrutural de cada SH e no dimensionamento do reforço.

Os trechos desta pesquisa podem ser divididos em estruturas de pavimentos semirrígido (segmento 1) e estruturas de pavimentos flexíveis (segmento 2 ao 8). Na estrutura de pavimentos semirrígido a camada de base é composta de solo melhorado com cimento (MC), já os pavimentos flexíveis apresentam suas camadas de base e sub-base constituídas por materiais granulares e solos.

BALBO (2007) afirma que durante sua vida de serviço, os pavimentos apresentam manifestações patológicas, funcionais e estruturais, que estão diretamente ligadas aos materiais componentes das estruturas e às suas respostas mecânicas ocorrentes. Assim sendo, por exemplo, o material utilizado na camada de base exerce influência no comportamento do pavimento como um todo, e a camada em particular.

Segundo ANDRADE (2017), a camada de revestimento asfáltico dos pavimentos flexíveis, está sujeita à flexão, com a linha neutra separando a parcela que sofre compressão máxima e tração máxima, quando a carga de roda está sobre o ponto de análise. Tem-se, nestas condições, compressão no topo e tração na face inferior desta camada. A fadiga do revestimento asfáltico ocorre devido às repetições das tensões ou deformações de tração, que levam ao trincamento. A base granular, por sua vez, é submetida à compressão e sua rigidez depende do confinamento em toda a sua profundidade. Também ocorrem as tensões verticais de compressão em todas as camadas do pavimento, que podem acarretar a ocorrência de afundamento pelo acúmulo das deformações permanentes.

Nas estruturas em que a camada de revestimento está apoiada e aderida a uma camada de base de elevada rigidez (pavimentos semirrígidos), dependendo da relação de módulo ($E1/E2$) a linha neutra se desloca do revestimento asfáltico. A rigidez alta da camada de base, aderida ao revestimento asfáltico, geralmente, de espessura inferior à da base, faz com que o revestimento esteja submetido somente a esforços de compressão. Na camada de base, encontram-se comprimidas as fibras superiores enquanto que as inferiores estão tracionadas. Assim, ocorrerá inicialmente fadiga da camada de base, e formação de trincas em formato de blocos, com a respectiva reflexão destas para o revestimento. À medida em que estas trincas evoluem, a rigidez da camada decresce e a camada cimentada tende a trabalhar em forma de bloco, que faz com que a linha neutra se desloque de novo para a camada de revestimento, iniciando o processo de dano por fadiga no revestimento asfáltico (ANDRADE, 2017).

DEUCHER (2016) analisou a camada de base de solo (saibro amarelo) melhorado com 3% cimento, que atingiu MR de 890 MPa em ensaios de laboratório, e observou que no período de um ano, após a abertura ao tráfego, houve uma redução de valor em relação às deflexões iniciais, possivelmente devido à consolidação adicional das camadas do pavimento e ao aumento de rigidez da camada de base. Estimou a vida útil através dos modelos de ruptura convencionais, verificando que a estrutura já teria atingido a vida de fadiga, quando verdadeiramente, após um ano de abertura ao tráfego, ela não apresentava sinais de deterioração. Concluiu que devem ser estudados novos modelos de ruptura para este material estabilizado ou melhorado quimicamente.

A camada de base de solo melhorado com cimento (MC) do presente estudo, apresentou um ganho significativo em sua rigidez frente ao material natural, e com isso aumentou sua resistência à compressão e à tração fazendo com que menores tensões chegassem às camadas subsequentes. Na retroanálise do segmento 1, foi encontrado um valor de MR, na camada de base com MC, relativamente baixo para um material estabilizado quimicamente. Entretanto, nesse segmento, no momento do levantamento, o pavimento já possuía 35 anos de idade, e foi construído inicialmente com tratamento superficial duplo de 2,5 em 1974 recebendo reforço de 0,5 cm de lama asfáltica em 1975, de 5 cm de concreto asfáltico em 1981 e em 2005 mais 0,5 cm de lama asfáltica. Assim sendo, essa base já estaria danificada a ponto de trabalhar em blocos, mas ainda com

valores de MR maiores que de uma base granular simples, como atestam os resultados obtidos nos programas de retroanálise, para os outros segmentos homogêneos.

O que se espera das camadas estruturais de um pavimento flexível convencional é que o revestimento seja a camada com maior rigidez por ser responsável por absorver as maiores tensões atuantes, transmitindo menos esforços para a camada de base que, dependendo da constituição de seu material, apresenta menor rigidez que a camada de revestimento, e deverá transmitir menos esforços para as camadas adjacentes até o terreno de fundação que é o subleito. Assim, presume-se que o subleito seria a camada estrutural do pavimento mais vulnerável e o mais sujeito às deformações elásticas e plásticas. Considerando - se essa hipótese como verdadeira e objetivando a proteção do subleito, foi concebido o método de dimensionamento empírico do DNIT, em função do CBR.

No entanto, no presente estudo, verifica-se, diante dos valores de módulos de elasticidade obtidos através da retroanálise e apresentados nas tabelas presentes nos itens 5.8.1 ao 5.8.8, que os módulos médios do subleito chegam a valor de 405 MPa no BackMeDiNa, no segmento 8, e valores acima da média típica para subleito na concepção corrente, também em outros trechos e nos 4 programas, conforme se visualiza na Figura 5.68. Resultados similares foram encontrados por AMERI *et al.* (2009), FERRI (2018) e SOUZA (2018).

COSTA *et al.* (2015) efetuaram retroanálises com o programa *EverCalc Pavement Backcalculation Program Version 5.2* que é constituinte do pacote de softwares para análise mecânica de pavimentos EVERSERIES, desenvolvido pelo *Materials Laboratory* do *Washington State Department of Transportation*. O EVERCALC é capaz de realizar retroanálises de até 5 camadas de pavimentos, utilizando dados de 10 sensores de FWD e oito avaliações na mesma posição, tornando possível analisar a não linearidade elástica das camadas granulares.

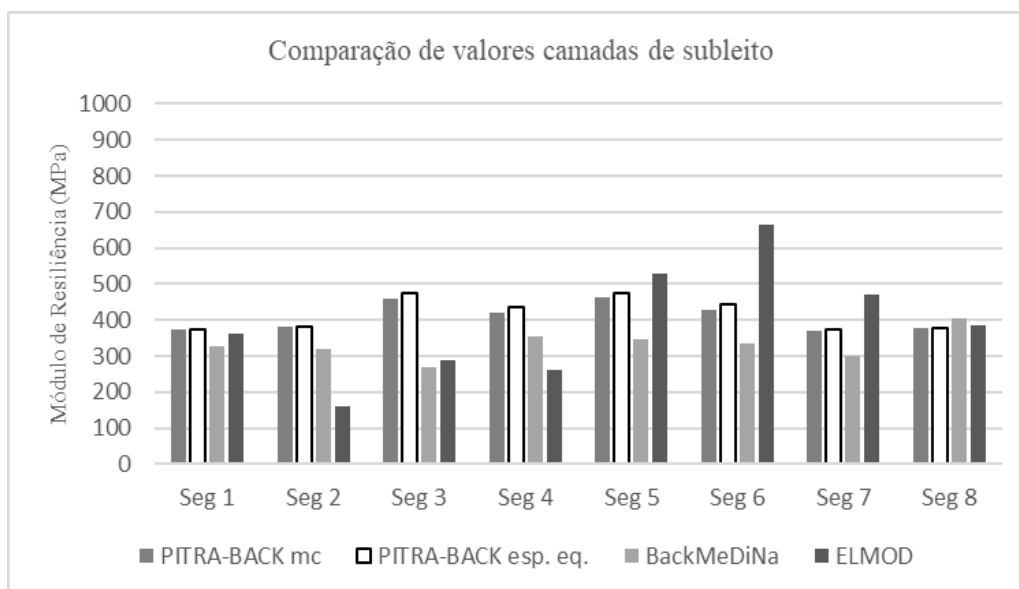


Figura 5.68 – Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de subleito entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.

O estudo de COSTA *et al.* (2015) foi efetuado na BR 101/SE e para os mesmos pontos foram efetuadas análises em laboratório. Os autores realizaram quatro análises com cargas diferentes em uma mesma posição, sendo elas: 25 kN, 42 kN, 62 kN e 82 kN. Assim, foi possível obter as bacias de deflexão e com o processo de retroanálise, os módulos de resiliência não lineares, das camadas sensíveis ao estado de tensões, e lineares para as demais. Mesmo considerando a não linearidade do solo, os valores de módulos do subleito retroanalizados foram acima de 300 MPa, sendo maiores do que os de referência corrente, bem como maiores que os de laboratório dos mesmos materiais. Concluíram que para os solos dos trechos brasileiros analisados, o ensaio triaxial dinâmico pode induzir condições de contorno distintas das condições observadas em campo e que a configuração estrutural obtida por ensaios de laboratório acabou subestimando o desempenho previsto para o pavimento a partir dos resultados de retroanálises. Isto pode ser um indicador de que as condições com que os pavimentos são executados em campo ou sua evolução com o tempo podem ser diferentes das ensaiadas em laboratório.

Erros nos valores de módulo de resiliência obtidos por meio de retroanálise podem ser originados de uma modelagem imprópria de aderência entre as camadas. Entretanto,

CANESTRARI *et al.* (2013) destacam que assumir diferentes estados de aderência de interface entre revestimento e base não acarreta em erros significativos no módulo do subleito.

Obviamente valores extremamente discrepantes devem ser questionados, como o do ELMOD no segmento 6. AMERI *et al.* (2009) e a FHWA (2017) afirmam que o ELMOD pode superestimar, em alguns casos, o valor do subleito. NAZZAL & MOHAMMAD (2010) realizaram testes de campo em seções de 10 projetos de pavimentação no interior do estado de Louisiana (EUA) e verificaram que os módulos retroanalizados, usando o software ELMOD versão 5.1.69, obtiveram boa correlação com o MR medido em laboratório através de ensaios triaxiais de carga repetida.

Diante do exposto, pode-se observar que mesmo um programa tradicional e muito usado como o ELMOD, tem suas limitações e que a retroanálise é uma ferramenta e seus resultados devem ser ponderado cuidadosamente pelo projetista.

Nos segmentos 5, 6, 7 e 8 os valores de módulos da camada de subleito foram maiores que da camada de base e de sub-base. Módulos retroanalizados com valores de camadas de base abaixo da média típica podem ocorrer, visto que, conforme a configuração do carregamento e da estrutura, a camada de base pode ter pouco confinamento ou estar submetida a esforços de tração e seus materiais constituintes não trabalham a tração, o que ocasiona a ocorrência de rupturas localizadas que alteram os valores modulares, diminuindo o seu valor (CARDOSO, 1995).

MEDINA e MOTTA (2015) e COSTA *et al.* (2017) dizem que a parte mais sensível do conjunto estrutural de um pavimento não tem sido o subleito, no caso do Brasil, visto que, diferente dos subleitos americanos e de outros países, podem apresentar módulos maiores que os de sub-base e base, quando bem compactados e sem presença de água, especialmente quando composto por solos lateríticos.

Segundo FERRI (2018), ainda existem poucos estudos para calibrar os modelos atuais do comportamento mecânicos dos solos de subleito ou mesmo estabelecer novos modelos para o caso de solos tropicais, abundantemente utilizados em fundações de pavimentos brasileiros. Este fato restringe a aplicação de modelos e softwares

mecanístico-empíricos como é o caso do MEPDG (AASHTO/2002). Pouco também se sabe do dano real causado pela repetição dos ciclos de saturação e secagem a que estão expostos os de subleito em serviço.

FERRI (2018) aferiu também que o comportamento dos módulos em campo (valores retroanalizados) podem ter tendências diferentes para um mesmo tipo de solo. Conclui que o comportamento mecânico aferido "in situ" por retroanálise, é composto pela influência de outras características físicas do local em que foi implantado, além simplesmente das características do próprio solo do subleito. As características físicas do local que podem ser consideravelmente relevantes são: características geológicas e pedológicas locais, regime de chuvas e as características e potencial de drenagem do pavimento e dos tipos de solos; o tipo de seção (corte, aterro ou mista) entre outros. Por fim, verificou ainda que a maioria dos modelos de correlações atuais na literatura entre parâmetros de propriedades físicas e de resistência (como CBR) de solos com o módulo de resiliência possui aplicação muito restrita, inviabilizando sua aplicação de forma indiscriminada em locais distintos daqueles onde foram obtidas as correlações.

Valores elevados de módulo de subleito podem indicar ainda a presença de uma camada rígida. Por meio do ELMOD foi possível verificar o *surface modulus* para todas as estações analisando indícios de uma camada rígida ou de um comportamento não-linear. Verificando a evolução deste parâmetro para todas as estações, conclui-se que existe baixa possibilidade de ocorrer uma ou as duas hipóteses nos trechos em estudo, pois em poucas bacias dos segmentos os últimos três geofones apresentam um aumento aparente do módulo à medida que a distância ao centro de carregamento aumentava. A Figura 5.69 demonstra um exemplo de gráfico do *surface módulos* que apresenta comportamento acentuadamente não linear em uma das bacias do segmento 8 do presente estudo. Na grande maioria das bacias o *surface módulos* apresentou comportamento linear ou levemente não linear, podendo ser um dos motivos da boa correlação com o AEMC.

BUENO (2016) também encontrou algumas variações de comportamento na camada de subleito, mas concluiu que o modelo elástico-linear representa de forma satisfatória o comportamento geral desta camada.

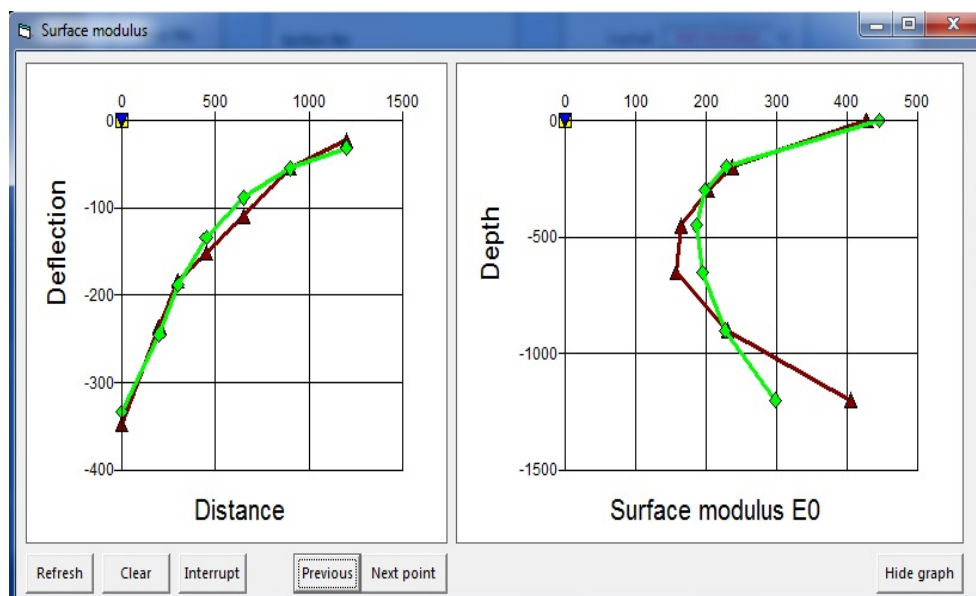


Figura 5.69 – Exemplo de “surface módulos” do programa ELMOD de uma das bacias do segmento 8 do presente estudo.

A autora desta dissertação procurou professores do Instituto Federal do Tocantins, para um maior entendimento do comportamento do subleito da região da Rodovia e obteve resposta positiva quanto aos valores modulares elevados, considerando a constituição da pedologia da divisa do Tocantins com Goiás que apresenta uma matriz de solo laterítico arenoso muito consolidado.

O parâmetro D0 e os critérios de avaliação utilizados por COSTA *et al.* (2017) e pelo citado edital da SR do DNIT de São Paulo para pavimentos flexíveis, apresentaram boa correlação com as condições do pavimento em todos os segmentos deste estudo, segundo o percentual de trincas e módulos encontrados, demonstrando que os segmentos 3, 5, 6 e 8 apresentam possível problema estrutural no pavimento.

O parâmetro D0 - D3 e os critérios de avaliação utilizados pelo edital da SR do DNIT de São Paulo obtiveram boa correlação com as condições do pavimento em todos os segmentos deste estudo, segundo os módulos e RCs encontrados, demonstrando que os segmentos 3, 5, 6 e 8 possivelmente apresentam algum problema de base e ou sub-base.

O parâmetro D6 e os critérios de avaliação utilizados pelo citado edital da SR do DNIT de São Paulo obtiveram boa correlação com as condições do pavimento, segundo os módulos encontrados para o subleito. Em todos os segmentos deste estudo, D6 apresentou valor muito abaixo do valor limite, o que contribuiu para a aceitação que de fato os subleitos são excelentes, com valores de módulos altos.

O RC médio de todos os segmentos se encontra acima de 100 m, como recomenda a norma PRO 11, entretanto os segmentos 5, 6 e 8 apresentam em algumas bacias RCs menores que 100 m, sendo os únicos segmentos com raios acima de 100m, mas abaixo de 200m, se enquadrando na faixa “REGULAR” do critério de avaliação utilizado pelo edital da SR do DNIT de São Paulo, associado aos módulos obtidos pela retroanálise e aos parâmetros DO - D3 induz ao diagnóstico de possíveis problemas de base ou sub-base nesses segmentos.

Segundo ANDRADE *et al* (2016), o uso dos parâmetros de bacia para avaliação do comportamento estrutural é um critério inicial de compreensão dos diferentes comportamentos dos pavimentos asfálticos.

Alguns dos valores limites dos parâmetros encontrados na bibliografia para qualificar as camadas da estrutura do pavimento, ou do subleito, ou mesmo para avaliar riscos de fadiga precoce do revestimento asfáltico necessitam ser calibrados para as condições do pavimento da via em estudo.

Os valores de módulo de elasticidade obtidos, em todos os segmentos, excetuando-se os segmentos 2, 4 e 6 no programa PBMC, apresentaram valores com alta dispersão na camada de revestimento, e na camada de base e sub-base, excetuando-se o segmento 6 nos programas PBMC e PBE e o segmento 8 na sub-base no ELMOD, indicando variabilidade dos módulos em cada camada. Esses valores já eram esperados, diante da variação espacial de deflexões que foram obtidas nos oito segmentos. Assim sendo, o método de divisão dos segmentos homogêneos utilizado no trecho em estudo, que é o preconizado pela AASHTO (1993), adaptado às características funcionais e estruturais, não proporcionou, para o presente estudo, segmentos completamente homogêneos.

NÓBREGA (2003) questiona o método da AASHTO (1993), avaliando se a deflexão no ponto de aplicação da carga (deflexão máxima) seria o parâmetro mais indicado para esta divisão, ou se uma divisão baseada no cruzamento deste dado com outros parâmetros seria mais adequada, e acredita que uma possível solução para este problema seria uma nova divisão do trecho homogêneo em função do valor do módulo de resiliência da primeira camada da estrutura retroanalizada, mas não avaliou esta questão e nem a autora desta dissertação por não ser um dos objetivos da presente pesquisa.

A correlação observada nas linhas deflectométricas entre a bacia média medida em campo, a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos em cada programa aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais (figuras presentes nos itens 5.8.1 a 5.8.8), apresentaram melhores resultados na conversão gráfica e comportamento de bacia de deflexão obtida pelo BackMeDiNa, fato este perfeitamente compreensível, considerando que o AEMC é a rotina de cálculo de tensões do programa. O ELMOD, em todos os trechos desta pesquisa, mesmo quando a retroanálise apresentou uma alta dispersão dos módulos e erros acima do critério adotado apresentou correlação satisfatória. Para o PITRA-BACK foram encontradas boas correlações nos segmentos 1, 3 e 8.

Valores aproximados entre os módulos de revestimento foram obtidos pela retroanálise dos programas BackMeDiNa e o ELMOD, excetuando-se o segmento 7. No PITRA-BACK e o BackMeDiNa, pela espessura equivalente, foram obtidos valores similares nos segmentos 1, 2, 5, 6, e 8. Para o PITRA-BACK no método MC, em alguns segmentos, foram encontrados valores aparentemente divergentes dos obtidos nos outros programas desta pesquisa, conforme se visualiza na Figura 5.70.

Este fato pode ser explicado por algumas condições inerentes ao programa PITRA-BACK, mas que não foram exploradas no presente estudo por não fazerem parte de seus objetivos:

- Valores do módulo de revestimento, obtidos nas mesmas condições de contorno de laboratório em que o ensaio de compressão diametral é realizado no Brasil, e do coeficiente de Poisson, que calibraram o programa,

diferentes dos valores apresentados no item 5.8, conforme Tabelas 5.25 e 5.26 respectivamente;

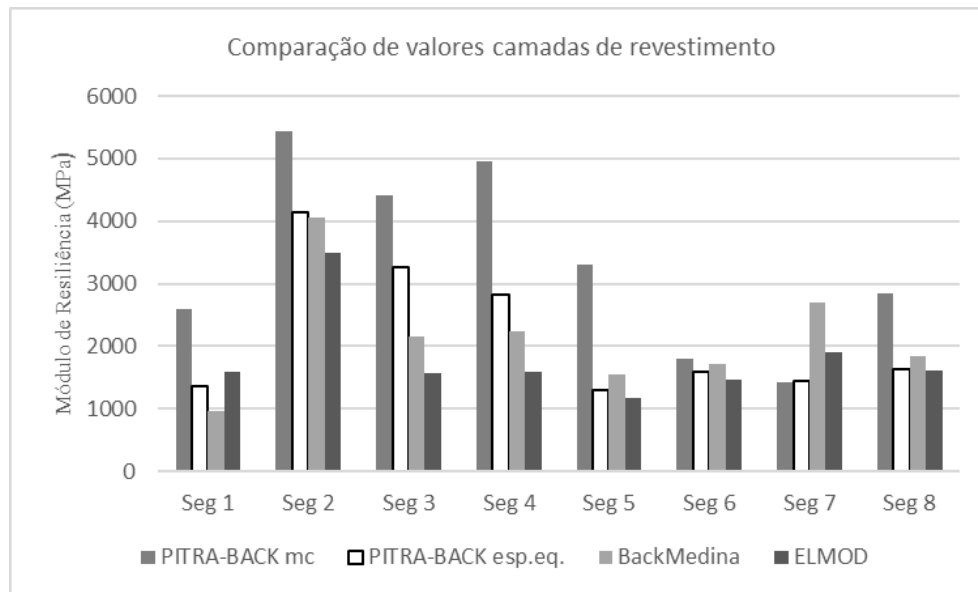


Figura 5.70 - Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de revestimento entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.

Tabela 5.25 - Módulos de elasticidade geralmente adotados na Costa Rica (VARGAS, 2013 *apud* MATAMOROS, 2017).

Material	Módulo Bajo (MPa)	Módulo Típico (MPa)	Módulo Alto (MPa)
Concreto Asfáltico	480	2760	1380
Base Estabilizada Con Asfalto	340	1380	3450
Base Estabilizada Con Cemento	1380	3450	13790
Base Granular	100	340	1030
Subbase Granular	70	210	340
Suelo Estabilizado	70	340	1380
Suelo Cohesivo	10	50	170

Tabela 5.26 Coeficientes de Poisson geralmente adotados na Costa Rica (VARGAS, 2013 *apud* MATAMOROS, 2017).

Material	Razón de Poisson
Mezcla Asfáltica	$0.15 < \mu < 0.50$
Base Granular	$0.30 < \mu < 0.40$
Subrasante	$0.10 < \mu < 0.50$
Concreto Portland	$0.15 < \mu < 0.18$

- Segundo AMERI et al. (2009) e a FHWA (2017), o processo de retroanálise muitas vezes começa a partir do cálculo do módulo de subleito, sendo uma

estimativa correta deste valor um ponto crítico para o processo. Como se observa na Tabela 5.25 o valor médio do módulo elástico do subleito costarricense também é diferente dos valores usuais para as condições brasileiras, principalmente pelos constituídos de solo laterítico. Tal fato pode influenciar no retrocálculo da camada asfáltica;

- SCHERER (2016) avaliou estruturas de 3, 4 e 5 camadas e constatou que a influência do comportamento resiliente do subleito apresenta menor impacto no desempenho dos pavimentos flexíveis conforme a estrutura dos mesmos é mais robusta, ou seja, quando possui maior número de camadas e as mesmas mais espessas, as deflexões máximas diminuem. Tal fato pode influenciar no retrocálculo da camada asfáltica;
- O tipo de processo de erro influencia significativamente no valor dos módulos elásticos nas camadas de subleito e principalmente revestimento, conforme visto no item 4.5. O erro percentual foca o processo de cálculo em minimizar as percentagens e não os valores absolutos para as deflexões;
- Segundo CORREIA (2014), o número de interações e faixa de variação do módulo elástico também podem influenciar o cálculo de todas as camadas constituintes do pavimento, principalmente do revestimento;
- Segundo CORREIA (2014) e a FWHA (2017), quanto mais camadas o pavimento possui, maior a possibilidade de estruturas diferentes satisfazerem a mesma bacia, ou seja, se o sistema converge para uma reposta matematicamente correta, quanto maior o número de camadas, maior será o número de soluções.

Quanto mais próximo da realidade são os módulos sementes inseridos no programa de retroanálise, menores serão os erros e dispersão de resultados. Assim, as condições de calibração fazem a diferença, principalmente quando não se pode modificar as condições de contorno no programa adotado para o retrocálculo.

Nas camadas de base, os módulos obtidos pela retroanálise nos programas BackMeDiNa e o ELMOD, obtiveram valores similares nos segmentos 1, 2, 4, 5, 6 e 8, e entre o BackMeDiNa e o PITRA-BACK pelo MC nos segmentos 2, 5, 6, 7 e 8 e pela esp. equivalente nos segmentos 1, 2, 4, 5, 6, 7 e 8, conforme se visualiza na Figura 5.71.

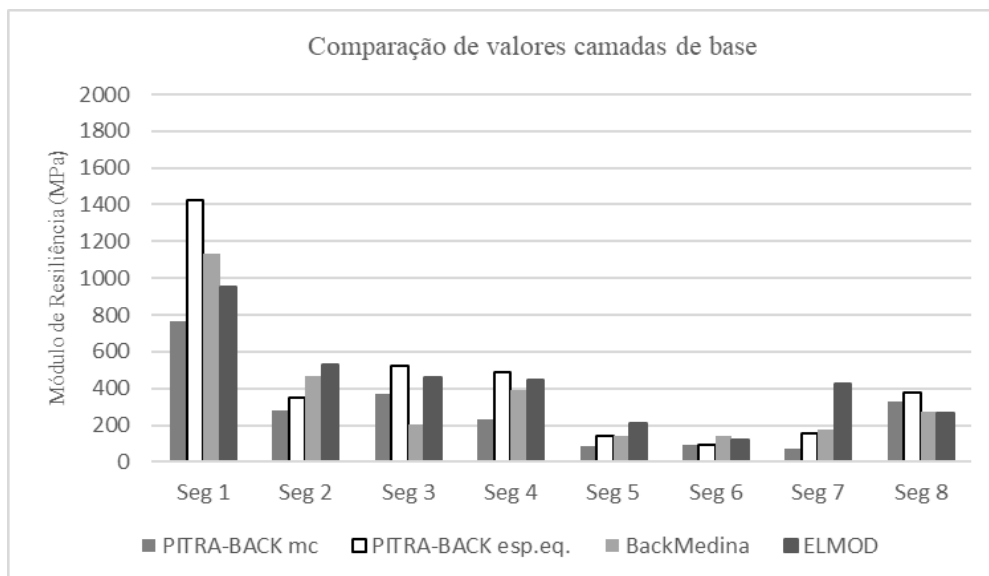


Figura 5.71 - Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de base entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.

Nas camadas de sub-base, a retroanálise dos programas BackMeDiNa e ELMOD obtiveram valores muito aproximados, nos segmentos 1, 2, 3, 5, 6 e 8 e entre o BackMeDiNa e o PITRA-BACK pela MC nos segmentos 1 e 6 e pela espessura equivalente nos segmentos 1, 4, 6, e 8, conforme se visualiza na Figura 5.72.

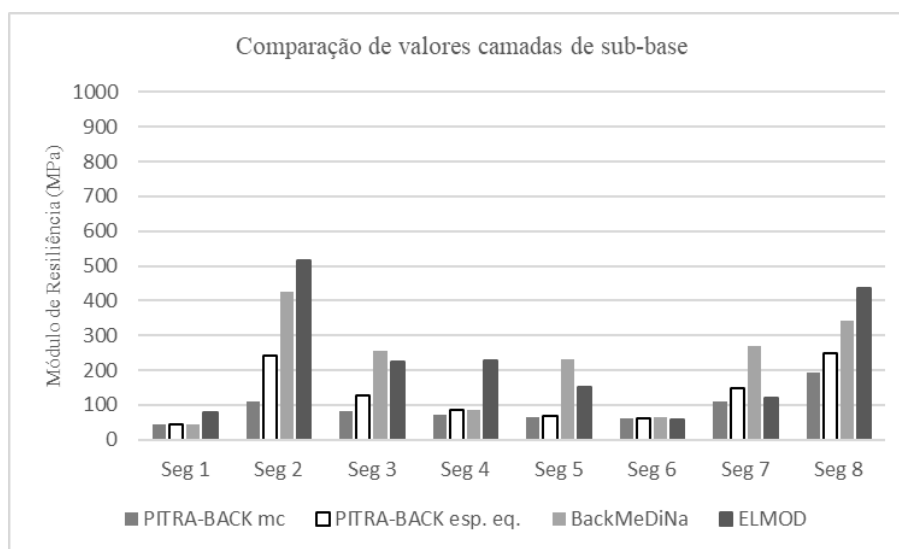


Figura 5.72 - Comparação entre valores médios dos módulos de resiliência das camadas de sub-base entre o PBMC, PBE, BM e EL, deste estudo.

Por fim, nas camadas de subleito, valores da mesma ordem foram observados entre os módulos obtidos pela retroanálise dos programas BackMeDiNa e o ELMOD, nos segmentos 1, 3, 4 e 8, conforme se visualiza na Figura 5.68.

Pretendendo avaliar ou mesmo melhorar os valores encontrados no PITRA-BACK a autora desta pesquisa trocou e-mails com o desenvolvedor do programa que atribuiu as diferenças das deflexões presentes nos segmentos os resultados obtidos e propôs uma nova divisão dos segmentos, além da normalizada pela AASHTO e a consideração de não linearidade no subleito.

Nesta pesquisa, nos segmentos 1, 2, 3, 4,5 e 8, os módulos do revestimento não apresentaram boa correlação com os demais modelos de múltiplas camadas e espessura equivalente no PITRA-BACK. Os segmentos 1,2,3,4 e 8 não apresentaram boa correlação para as os módulos da camada de base pelos modelos de múltiplas camadas e espessura equivalente no PITRA-BACK. Já para a sub-base e subleito houve boa correlação em todos os segmentos, excetuando-se um, onde ocorreu comportamento inesperado.

Assim sendo, para o presente estudo, em uma análise primária, após a avaliação de erros, coeficiente de variação, verificação no AEMC e valores que representem as condições de uma estrutura real, pode-se concluir que, para as condições do Brasil, o BackMeDiNa mostrou-se adequado como escolha de um programa de retroanálise. Ressalta-se que o ELMOD, quando modelado em condições próximas às de contorno utilizadas no Brasil, oferece resultados e comportamento aceitáveis para as características regionais e que o PITRA-BACK, também pode ser utilizado, mas devendo ser avaliados certos valores obtidos e condições de contorno.

Objetivando avaliar o impacto no dimensionamento do reforço do pavimento das diferenças obtidas na retroanálise, no item 5.10 será simulado o dimensionamento de reforço no programa MeDiNa, com módulos encontrados no BM, PBMC, PBE e ELMOD.

5.10 Comparação entre os resultados da retroanálise no dimensionamento de reforço e vida útil

A partir do levantamento deflectométrico selecionado para este estudo, foram obtidos módulos de elasticidade pelos programas BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD, por meio do processo intitulado retroanálise. Estes módulos apresentaram valores discrepantes nas camadas da estrutura do pavimento para cada programa utilizado.

Para verificar se a magnitude desta diferença é significativa na análise da condição estrutural de cada segmento e no dimensionamento do reforço, foi utilizado o método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos flexíveis MeDiNa (versão 1.1.1 de novembro de 2018) para esta avaliação.

Também foram avaliadas as espessuras de reforço calculadas pelos métodos vigentes do DNIT: DNER-PRO-011/79 e DNER-PRO 269/94. Estas espessuras foram testadas no método MeDiNa para avaliação do tempo de vida útil.

O MeDiNa permite ao analista na opção “Reforço” verificar a vida útil do pavimento, dimensionar uma camada de reforço e na opção “Pavimento Novo” dimensionar uma camada da estrutura do pavimento para se chegar à vida útil de projeto.

Para o dimensionamento no MeDiNa, proposto nesta pesquisa, primeiramente deve-se escolher a opção “Reforço” na guia de “projeto” e preencher as primeiras informações de identificação do projeto, em seguida as informações das cargas que serão impostas ao pavimento e as espessuras, módulos, e coeficiente de Poisson dos materiais que o compõem.

No programa MeDiNa o número “N” final pode ser inserido diretamente pelo projetista ou calculado por meio da inserção da composição do tráfego: tipo de via, VMD referente ao primeiro ano, fator de veículo, “N” anual total, porcentagem de veículos na faixa de projeto, taxa de crescimento do tráfego ao ano e vida de projeto (Figura 5.73).

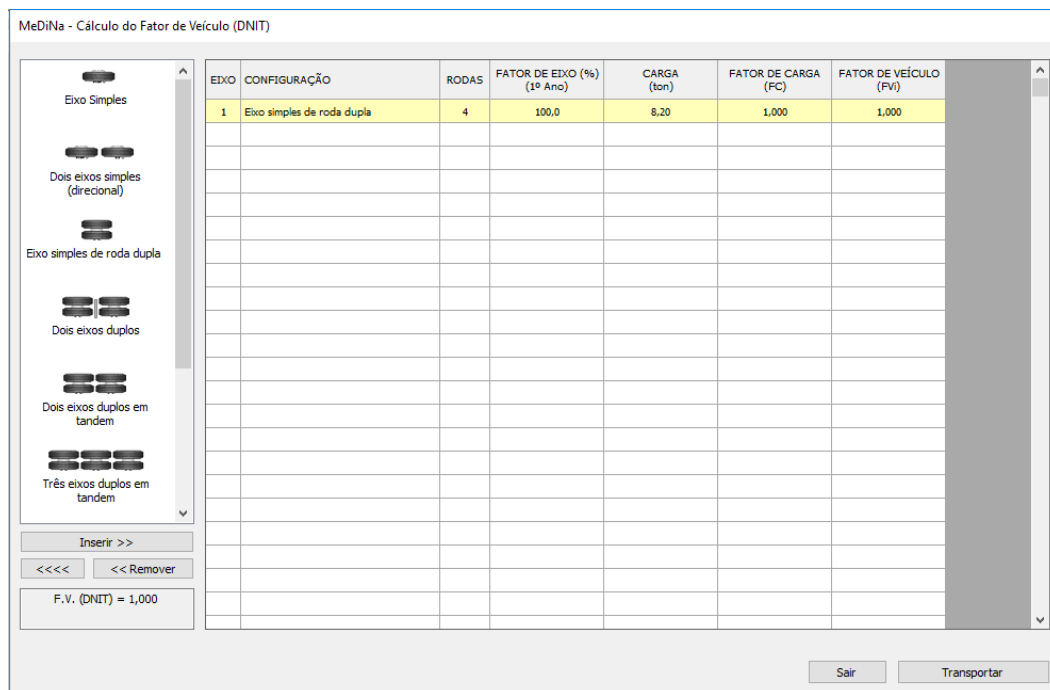


Figura 5.73- Tela de cálculo do Fator de Veículo presente no MeDiNa (FRANCO, 2018).

No presente estudo foram considerados no campo percentual de veículos na faixa de projeto de 100%, conforme visto no tráfego informado na Tabela 5.3 em cada sentido do tráfego, sendo o número N final pelo método USACE. O fator de crescimento anual adotado foi o da projetista: 3%.

Foram utilizadas as espessuras e tipos de materiais presentes na Tabela 5.8 do capítulo 5.5 e os módulos encontrados pelos programas BackMeDiNa, ELMOD e PITRA-PAVE. As estruturas que foram analisadas estão apresentadas na Tabela 5.27.

Os módulos retroanalizados podem ser importados direto do BackMeDiNa para o MeDiNa, que calcula a média de todas as bacias analisadas no segmento, o desvio padrão e os valores mínimos e máximos dos módulos retroanalizados, sendo adotados para as análises e dimensionamentos de reforço a média dos módulos retroanalizados. Também é calculada a deflexão característica (DC) da bacia deflectométrica obtida pelo FWD, ou seja, o MeDiNa não utiliza a DC da Viga Benkelman. Estas informações aparecem para o projetista na janela Propriedades dos Materiais

Tabela 5.27 – Segmentos e módulos de resiliência utilizados no dimensionamento de reforço desta pesquisa.

Segmento	Estrutura				Módulos (MPa)				N USACE (10 ⁷)	
	Camada	material	esp (cm)	% trinca	BackMeDiNa	PITRA-BACK(MC)	PITRA-BACK (E)	ELMOD		
1	revestimento	CA	8,5	23	971	2586	1359	1580	5,28	
	base	MC	24		1132	768	1422	951		
	sub-base	SL	24		43	43	44	79		
	subleito	SL	-		328	374	374	360		
2	revestimento	CA	8	11	4066	5445	4138	3486		
	base	BG	16		469	278	350	526		
	sub-base	SL	24		426	111	242	516		
	subleito	SL	-		318	380	380	159		
3	revestimento	CA	8	30	2154	4416	3269	1560		
	base	BG	16		207	368	523	460		
	sub-base	SL	24		254	83	129	223		
	subleito	SL	-		268	460	473	287		
4	revestimento	CA	12	5	2245	4960	2819	1579		
	base	SL	23		389	234	487	445		
	sub-base	SL	20		85	71	87	228		
	subleito	SL	-		356	420	437	260		
5	revestimento	CA	12	19	1544	3311	1305	1178		
	base	SL	23		144	84	140	208		
	sub-base	SL	19		232	64	69	151		
	subleito	SL	-		345	462	475	528		
6	revestimento	CA	14	54	1722	1798	1580	1459		
	base	SL	21		142	90	90	123		
	sub-base	SL	20		64	60	62	57		
	subleito	SL	-		335	429	443	662		
7	revestimento	CA	18	8	2703	1419	1436	1911		5,84
	base	SL	19		173	74	155	424		
	sub-base	SL	21		270	110	148	120		
	subleito	SL	-		298	370	372	471		
8	revestimento	CA	8	21	1832	2844	1636	1610	5,96	
	base	SL	20		270	328	378	267		
	sub-base	SL	20		344	194	249	438		
	subleito	SL	-		405	378	379	386		

Os materiais utilizados para o dimensionamento de reforço foram duas misturas asfálticas que estão presentes na base de dados do MeDiNa e que são norteadoras para uma avaliação preliminar do analista em seu projeto de dimensionamento de reforço ou pavimento novo. Para a elaboração de um projeto que será executado em campo, deve-se obter, por meio de ensaios laboratoriais das misturas asfálticas, os parâmetros da curva de fadiga e de módulo de resiliência. Considerando as propriedades mecânicas de concretos asfálticos, que foram estabelecidas em laboratório a partir de um banco de dados, as misturas foram designadas como Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. Conforme a classe da mistura aumenta, maior será sua resistência à fadiga, assim a mistura Classe 1 é considerada menos resistente à fadiga e a mistura Classe 4 mais resistente à fadiga, de forma geral. Essas duas misturas foram utilizadas nesta pesquisa.

Para todas as camadas existentes foram adotados os coeficientes de Poisson utilizados na retroanálise e que constam na Tabela 5.9.

É importante ressaltar que no dimensionamento de reforço pelo MeDiNa a camada de revestimento existente e a camada de revestimento novo são consideradas não aderidas, para todas as misturas do banco de dados do programa, mesmo que sendo camadas asfálticas. Isto se deve às condições funcionais da camada existente, (como trincas, etc) que não permitem precisar sua integridade, avaliando-se o pior caso que é o da não aderência total (Figura 5.74).

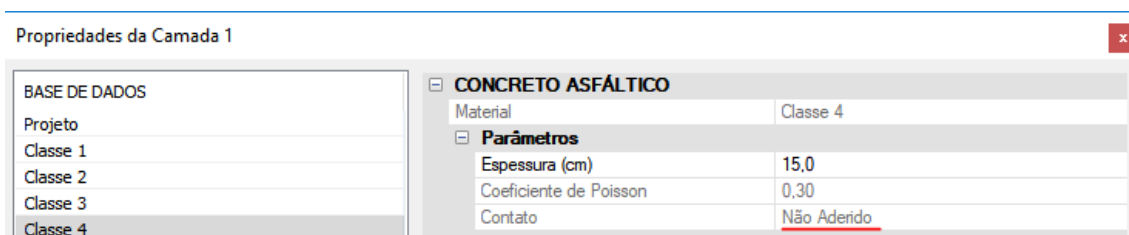


Figura 5.74 – Propriedades da nova camada de revestimento para o dimensionamento de reforço (FRANCO, 2018).

Por fim, o programa MeDiNa solicita informações funcionais e estruturais da camada existente que são a deflexão característica do segmento (quando não efetuada a importação do arquivo direto pelo BackMeDiNa), efetuada por FWD, o IRI e o percentual de área trincada

O método MeDiNa, no modo de projeto de reforço, avalia apenas o consumo de fadiga da nova camada asfáltica, tendo como critério de falência uma área trincada de 30% e não avalia a reflexão de trincas da camada asfáltica existente, embora o projetista possa utilizar uma camada antirreflexão de trincas, a seu critério, dependendo da porcentagem de área trincada do antigo revestimento.

Para o reforço, o nível de confiabilidade escolhido para esta pesquisa foi de 95%, por se tratar de um sistema arterial principal (rodovia federal interestadual) e a vida útil de projeto foi para um período de 10 anos, conforme prevê o catálogo do CREMA, sendo também o período projetado para um pavimento novo, segundo o DNIT.

Um exemplo da tela de entrada do MeDiNa, após a verificação da vida útil, no segmento 1 desta pesquisa é mostrado na Figura 5.75.

The screenshot shows the MeDiNa software interface with the following components:

- Menu Bar:** Projeto, Editar, Análise, Ajuda
- Navigation Tabs:** ESTRUTURA (selected), MODELAGEM, RESULTADOS
- Version:** VERSÃO DISPONÍVEL ATÉ 31/03/2019
- Form Fields:**
 - RESPONSÁVEL: Nome do autor ou dos autores do projeto
 - EMPRESA: Nome da empresa projetista
 - PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc
 - MODO: Projeto de Reforço
- Table: Alterar Estrutura >>>**

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 4	15,0	10492	0,30
2	CAMADA ASFÁLTICA EXISTENTE	Camada Asfáltica Superficial	8,5	971	0,30
3	CAMADA EXISTENTE	Camada Estabilizada	24,0	1132	0,20
4	CAMADA EXISTENTE	Camada em Solo Natural	24,0	43	0,40
SL	SUBLEITO	Subleito	0,0	328	0,45
- Left Panel: EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO**
 - DADOS DO TRÁFEGO**

Tipo de Via:	Sistema Arterial Principal
VMD (1º ano):	12630
FV:	1,000
N anual (1º ano):	4,61e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	4,61e+06
Taxa de crescimento (%):	3,0
Período de projeto (anos):	10
N Total:	5,28e+07
 - Período de projeto (anos):** 10
Período de projeto para o dimensionamento do pavimento em anos (1 a 20).
- Right Panel: --- ANÁLISE DO REFORÇO DO PAVIMENTO ---**
 - Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.
 - Nível de confiabilidade da análise: 95%
 - Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 98,5%
 - ALERTAS ---**
 - Tráfego elevado para a estrutura proposta.
 - ATENÇÃO:**
 - A análise não considera a reflexão de trincas do pavimento existente!
 - Dados da estrutura existente para auxiliar o projetista:
 - Área Trincada: 23,0%
 - Condição de tráfego: BOA (IRI = 2,4 m/km)
 - Deflexão característica: dc = 43,0 (0,01mm)

Figura 5.75 – Exemplo da tela de entrada de dados no modo reforço, referente ao segmento 1 desta pesquisa, com as análises do reforço do pavimento (MeDiNa).

No cálculo do reforço foram utilizadas diversas hipóteses para o dimensionamento dos 8 segmentos com os módulos e estruturas apresentados na Tabela 5.25:

- ✓ Primeiramente foram avaliadas as Classes 1 e 4 das misturas presentes no banco de dados como reforço e o resultado do dimensionamento foi insatisfatório mesmo utilizando a espessura máxima para a camada de revestimento de 15 cm;

- ✓ Posteriormente foi inserida em cada simulação uma camada antirreflexão de trincas com espessura de 3 cm abaixo da camada de reforço, e se obtiveram melhorias de no máximo 12 meses, entretanto o dimensionamento não obteve sucesso para o horizonte de projeto de 10 anos.

- ✓ Mesmo considerando a fresagem e recomposição da camada asfáltica existente, em todos os segmentos, não ocorreu mudança significativa nos horizontes de vida útil de projeto do pavimento e não se atingiu os 10 anos de vida útil. Nos trechos de camadas granulares, tanto os parâmetros empíricos de análise da bacia deflectométrica (D0-D3) quanto o programa MeDiNa diagnosticaram o problema de base.

Diante do exposto, foram simuladas 120 estruturas (considerando a simulação da camada antirreflexão de trincas e a fresagem da camada asfáltica) e nenhuma atingiu o tempo de vida útil de 10 anos, para o presente estudo.

Como não se obteve sucesso no reforço, com espessura de 15 cm de camada nova, para o tempo de vida útil de 10 anos do pavimento, as comparações para avaliação das diferentes respostas dos módulos gerados nos três programas foram efetuadas, utilizando as misturas Classes 1 e 4 com espessura de 15 cm, por meio da evolução dos danos mensais que resultassem no percentual de área trincada de até 30%, conforme o critério de aceitação do MeDiNa. A evolução dos danos mensais se encontra na guia “Resultados” do MeDiNa, conforme a Figura 5.76, e os resumos dos resultados se encontra na Tabela 5.28.

Os resultados da evolução dos danos mensais pelos três programas nos segmentos obtiveram valores similares: inferiores a 2 anos de vida útil pela mistura de Classe 1 e em de 4 anos a 5 anos de vida útil pela mistura de Classe 4.

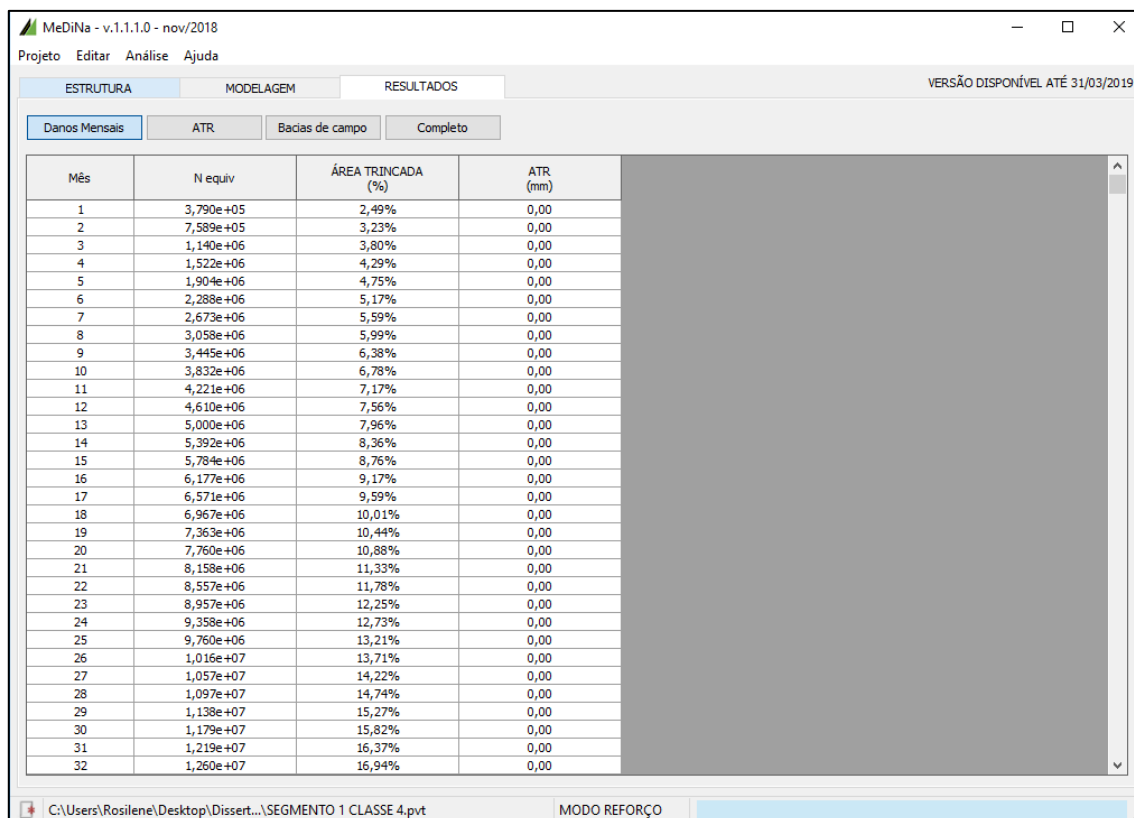


Figura 5.76 – Exemplo da tela resultados, selecionada o botão evolução dos danos mensais, referente ao Trecho 1 desta pesquisa (MeDiNa).

Tabela 5.28 - Resultados dos danos mensais limitados a 30% de trincas

Segmento	BackMeDiNa		PITRA-BACK		PITRA-BACK		ELMOD	
	Vida útil em meses		Vida útil em meses		Vida útil em meses		Vida útil em meses	
	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4
1	22	51	22	50	25	57	24	58
2	26	65	23	53	25	61	24	55
3	22	51	22	52	24	58	23	55
4	24	56	26	60	26	62	24	59
5	22	52	22	48	20	46	23	56
6	21	47	21	46	20	45	20	48
7	27	67	20	47	22	53	25	64
8	21	54	21	52	21	54	21	54

Como exemplo, a evolução do dano mês a mês, expresso pelo percentual de trincas e o número N correspondente, para a Classe 1 e 4 do trecho 1 pode ser visualizada pelos gráficos das Figura 5.77 e 5.78, respectivamente.

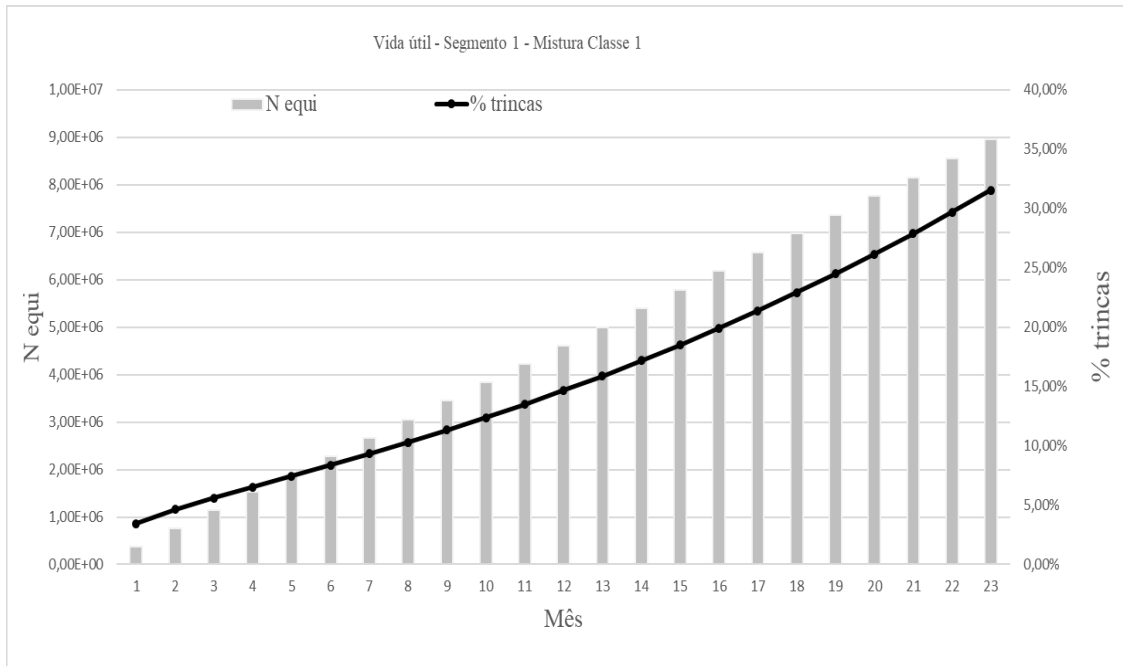


Figura 5.77 - Evolução do dano mês a mês, segundo o percentual de trincas e do número N equivalente, para a Classe 1 do segmento 1.

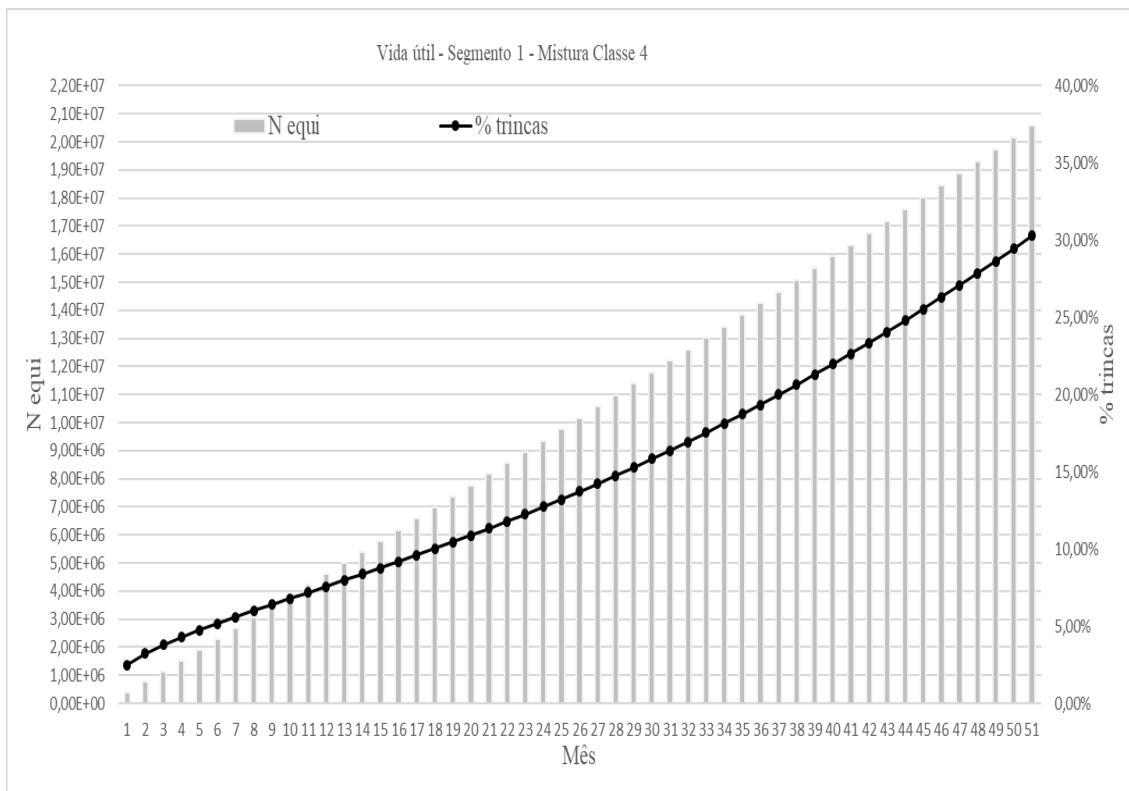


Figura 5.78 - A evolução do dano mês a mês, segundo o percentual de trincas e do número N equivalente, para a Classe 4 do segmento 1.

Para todos os segmentos do presente estudo, foi avaliado no dimensionamento do reforço do pavimento, pelo MeDiNa, o quanto de vida útil de projeto forneceriam as espessuras indicadas pelos métodos DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94, que consideram as características funcionais e estruturais do pavimento e a deflexão máxima admissível ($\times 10^{-2}$ mm). Considerando que os módulos de resiliência obtidos por todos os programas, em todos os segmentos, forneceram tempo de vida útil quando não igual, significativamente similar, foram utilizados os módulos obtidos apenas pelo BackMeDiNa para esta verificação. Os resultados dos cálculos de espessura e a verificação de vida útil podem ser visualizados na Tabela 2.29.

Tabela 5.29 - Espessuras de reforço pelos métodos DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94.

DNER-PRO-011/79						DNER-PRO-269/94	Verificação das espessura pelo MeDiNa			
Segmento	Qualidade estrutural	Necessidade estrutura complementar	critério para avaliação	Medidas corretivas	Espessura de reforço - HR (cm)	Espessura de reforço - HR (cm)	Vida útil em meses			
							DNER-PRO-011/79		DNER-PRO-269/94	
							Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4
1	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7,5	6,5	14	25	14	25
2	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	6,5	6	16	27	16	27
3	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9,5	8	13	25	11	23
4	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	10	10	17	29	17	29
5	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9	8	13	25	13	24
6	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	12,5	10,5	17	33	15	27
7	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	9	8	21	39	21	38
8	Regular	Não	Deflectométrico	Reforço	7	6	11	21	21	39

Na Tabela 5.30, segue um o resumo da vida útil de projeto fornecida, segundo as espessuras propostas no dimensionamento do reforço do pavimento indicadas pelos métodos DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94 e pela espessura máxima adotada no MeDiNa (15 cm de espessura).

Tabela 5.30 - Resumo da vida útil de projeto dos segmentos desta pesquisa

Segmento	DNER-PRO-011/79		DNER-PRO-269/94		Esp Máx MeDiNa	
	Vida útil em meses					
	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4
1	14	25	14	25	22	51
2	16	27	16	27	26	65
3	13	25	11	23	22	51
4	17	29	17	29	24	56
5	13	25	13	24	22	52
6	17	33	15	27	21	47
7	21	39	21	38	27	67
8	11	21	21	39	21	54

Observando a Tabela 5.30 pode-se verificar que:

- No segmento 1: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 56% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 11,7% em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 49% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 20,8% em relação ao horizonte de 10 anos.
- No segmento 2: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 61,5% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 13,3% em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 41,5% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 22,5% em relação ao horizonte de 10 anos.
- No segmento 3: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 59,1% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 50% de vida útil,

ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 10,8% e 9,2%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 49,0% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 45,1% de vida útil, ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 20,8% e 19,2%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos.

- No segmento 4: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 70,8% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 14,2% em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 51,8% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 24,2% em relação ao horizonte de 10 anos.
- No segmento 5: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 59,1% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 10,8% em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 48,1% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 46,2% de vida útil, ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa 20,8% e 20%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos.
- No segmento 6: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 81% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 71,4% de vida útil, ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 14,2% e 12,5%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 70,2% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 57,4% de vida útil, ambas em relação à

obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 14,2% e 12,5%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos.

- No segmento 7: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta em ambos métodos do DNIT forneceu 77,8% da vida útil em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 17,5% em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 58,2% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 56,7% de vida útil, ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa 32,5% e 31,7%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos.
- No segmento 8: para a mistura de Classe 1, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 52,4% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 100% de vida útil, ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 9,2% e 17,5%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos; para a mistura de Classe 4, a espessura de reforço da camada de revestimento proposta pelo método PRO-011/79 forneceu 38,9% de vida útil e pelo método PRO-269/94 forneceu 72,2% de vida útil, ambas em relação à obtida pela espessura máxima adotada no MeDiNa e 17,5% e 32,5%, respectivamente, em relação ao horizonte de 10 anos.

Considerando a relevância sobre o estudo efetivo da aderência plena entre as camadas do pavimento asfáltico, onde alguns autores afirmam que o sistema de aderência total não representa adequadamente a condição verdadeira do pavimento em campo, em termos de vida útil, em todos os segmentos, foi simulada a condição de não aderência entre as camadas. Assim sendo, foram retroanalisados novamente os 8 segmentos, e adotada a bacia média de cada segmento, na condição de não aderência entre as camadas pelo programa BackMeDiNa, conforme Tabela 5.31 e gráfico da Figura 5.79, sendo verificado o impacto dessa modelagem no que tange a vida útil do pavimento, conforme a Tabela 5.32. Os cálculos dos segmentos não aderidos estão apresentados no Anexo IV. Utilizou-se os mesmos critérios de avaliação da modelagem anterior: misturas Classes 1

e 4 com espessura de 15 cm, e a evolução dos danos mensais que resultassem no percentual de área trincada de até 30%.

Tabela 5.31 – Resultado da retroanálise na condição de não aderência entre as camadas, pelo programa BackMeDiNa.

Segmento	Estrutura				BackMeDiNa Módulos (MPa)	
	Camada	material	esp (cm)	% trinca	Aderido	Não aderido
1	revestimento	CA	8,5	23	971	1532
	base	MC	24		1132	2139
	sub-base	SL	24		43	129
	subleito	SL	-		328	241
2	revestimento	CA	8	11	4066	3022
	base	BG	16		469	668
	sub-base	SL	24		426	896
	subleito	SL	-		318	460
3	revestimento	CA	8	30	2154	3050
	base	BG	16		207	287
	sub-base	SL	24		254	355
	subleito	SL	-		268	366
4	revestimento	CA	12	5	2245	2721
	base	SL	23		389	572
	sub-base	SL	20		85	304
	subleito	SL	-		356	313
5	revestimento	CA	12	19	1544	1584
	base	SL	23		144	324
	sub-base	SL	19		232	462
	subleito	SL	-		345	302
6	revestimento	CA	14	54	1722	2160
	base	SL	21		142	168
	sub-base	SL	20		64	165
	subleito	SL	-		335	251
7	revestimento	CA	18	8	2703	2703
	base	SL	19		173	486
	sub-base	SL	21		270	414
	subleito	SL	-		298	324
8	revestimento	CA	8	21	1832	2274
	base	SL	20		270	437
	sub-base	SL	20		344	614
	subleito	SL	-		405	404

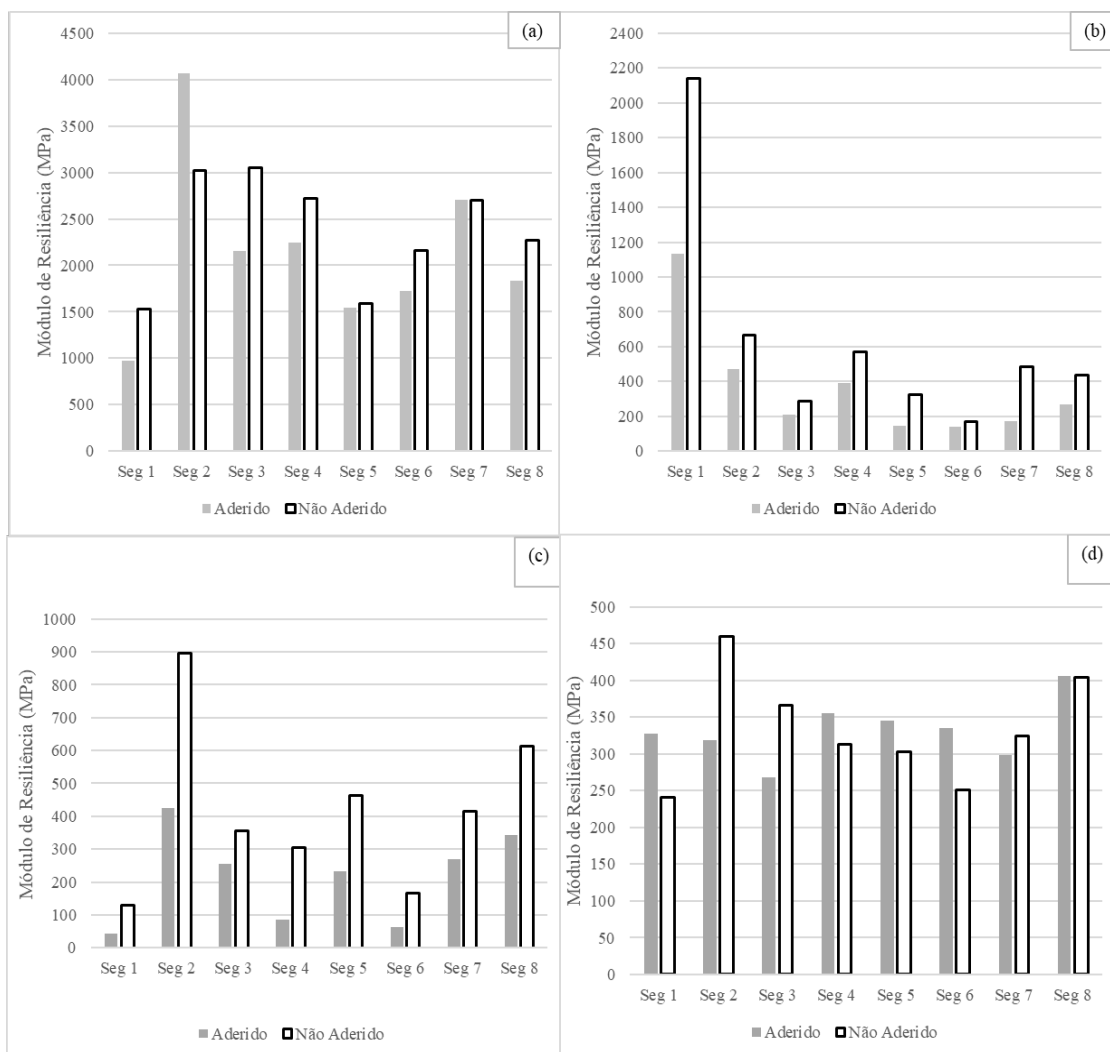


Figura 5.79 - Resultado da retroanálise na condição de não aderência entre as camadas de revestimento (a), base (b), sub-base (c) e subleito (d) pelo programa BackMeDiNa.

Tabela 5.32- Comparação da vida útil do pavimento na condição de aderência e não aderência das camadas.

Segmento	% trincas	BackMeDiNa			
		Aderido		Não aderido	
		Vida útil em meses		Vida útil em meses	
		Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4
1	23	22	51	31	73
2	11	26	65	28	71
3	30	22	51	24	61
4	5	24	56	27	68
5	19	22	52	25	61
6	54	21	47	21	49
7	8	27	67	42	82
8	21	21	54	23	60

Observa-se na Figura 5.79 (a) que, para a condição de não aderência, ocorrem as seguintes variações:

- Incremento no módulo da camada de revestimento dos segmentos 1, 3, 4, 6 e 8, e decréscimo no segmento 2, mantendo-se os segmentos 5 e 7 com valores iguais ou muito próximos da condição de total aderência.
- Para a camada de base ocorreu incremento de módulo em todos os trechos, sendo considerável na camada 1, onde a base é estabilizada quimicamente.
- Para a camada de sub-base ocorreu incremento de módulo em todos os trechos, sendo considerável no segmento 2, sendo este o único segmento onde ocorreu decréscimo do módulo da camada de revestimento.
- Para a camada de subleito ocorreu decréscimo de módulo nos segmentos 1, 4, 5, e 6, sendo mais acentuada a queda no segmento 1, muito provavelmente devido ao incremento do módulo da base estabilizada, que reduziu as tensões que chegariam ao subleito. Nos segmentos 2, 3 e 7 ocorreu incremento de módulo, sendo mais significativo no segmento 2, sendo este o único segmento onde ocorreu decréscimo do módulo da camada de revestimento. No segmento 8, o módulo do subleito se manteve estável.

Em relação à comparação da vida útil do pavimento, na condição de não aderência das camadas, conforme se observa na Tabela 5.32, há um ganho na vida útil, em todos os segmentos, excetuando-se o segmento 6, que é o segmento que apresenta o maior grau de trincamento. Apesar do ganho na vida útil, que no segmento 1, por exemplo, ultrapassa 40% para a mistura Classe 4, em todos os segmentos, para as misturas em estudo e com espessura máxima de 15 cm de reforço, pelo MeDiNa, o horizonte de vida útil de projeto de 10 anos não foi atingido.

Os segmentos de base granular ou em solo, que apresentam maior percentual de trincamento, são os que apresentam menor projeção de vida útil de projeto, tanto no modelo com total aderência, como no modelo totalmente sem aderência.

Considerando também a relevância sobre o estudo do nível de confiabilidade adotado nos cálculos do dimensionamento de reforço e o quanto este parâmetro influencia no tempo de vida útil do pavimento, foi efetuado o dimensionamento de reforço com mais 2 níveis de confiabilidade da análise, com os módulos obtidos na retroanálise na condição de não aderência dos 8 segmentos, sendo verificado o impacto dessa modelagem no que tange a vida útil do pavimento. Utilizou-se os mesmos critérios de avaliação da modelagem anterior: para a camada de reforço misturas Classes 1 e 4 com espessura de 15 cm e a evolução dos danos mensais que resultassem no percentual de área trincada de até 30% e os resultados estão presentes na Tabela 5.33.

Tabela 5.33 - Nível de confiabilidade adotado nos cálculos do dimensionamento de reforço do presente estudo.

Segmento	BackMeDiNa (Não aderido) - Vida útil em meses					
	Nível de confiabilidade da análise					
	95%		75%		65%	
	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4	Classe 1	Classe 4
1	31	73	36	87	38	90
2	28	71	33	83	34	87
3	24	61	29	72	30	76
4	27	68	32	81	34	85
5	25	61	26	72	27	76
6	21	49	25	58	26	61
7	42	82	50	96	52	101
8	23	60	27	71	29	71

Na Tabela 5.33, pode-se observar que há um ganho na vida útil, em todos os segmentos, conforme o nível de confiabilidade diminuiu. Apesar do ganho na vida útil, que no segmento 7, por exemplo, chega a 101 meses, ou seja, quase 9 anos, no nível de confiabilidade da análise de 65% para a mistura Classe 4, em todos os segmentos, para as misturas em estudo, pelo MeDiNa, o horizonte de vida útil de projeto de 10 anos não foi atingido. Observou-se ainda que menores incrementos de vida útil, com a redução do nível de confiabilidade da análise, foram obtidos em segmentos de base granular ou em solo, que apresentam maior percentual de trincamento. Mesmo assim, se verificou que este é um parâmetro relevante ao ser efetuado cálculo do dimensionamento de reforço, sendo necessária análise sobre qual nível se deve adotar no projeto.

5.11 Conclusões sobre as comparações dos resultados

Para os valores de módulos obtidos pela retroanálise, por meio dos programas BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD, em nenhum segmento foi possível dimensionar, pelo MeDiNa, o reforço para um horizonte de 10 anos de vida útil, mesmo considerando a simulação da camada antirreflexão de trincas e a fresagem da camada asfáltica existente, no presente estudo para os 8 segmentos homogêneos selecionados.

Por meio do dano acumulado mês a mês foi verificada que a discrepância dos módulos obtidos nos três programas não se refletiu no projeto de reforço, tendo-se praticamente as mesmas projeções de vida útil do pavimento: 2 anos para a mistura Classe 1 e de 4 a 5 anos para a mistura Classe 4, ambas com espessura de reforço de 15 cm. Assim, se verificou que os dimensionamentos de reforços, presentes nesta pesquisa, não foram influenciados pela magnitude das diferenças dos módulos obtidos pelo BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD.

Em conversa pessoal com o desenvolvedor do MeDiNa, foi explicado que para um número N acima de 2×10^7 , um pavimento flexível convencional, não atinge a projeção de vida útil de 10 anos. Assim sendo, para este tráfego, deve se revisar a estrutura, utilizando base e/ou sub-base estabilizada quimicamente.

COSTA *et al.* (2017) afirmam que, em rodovias com tráfego pesado (número N a partir de 2×10^7), camadas delgadas de revestimento asfáltico com base granular, são demasiadamente solicitadas, e as deformações específicas geradas nas fibras inferiores são bem elevadas. Portanto, mesmo constando nos manuais do DNIT, esse processo construtivo se torna inapropriado, à luz da Mecânica dos Pavimentos. O indicado seria aliar ao processo de implantação por etapas um estudo aprofundado da vida de fadiga do pavimento

PANDOLFO (2015) estudou a variação da estimativa de vida útil de um pavimento flexível reforçado com diferentes espessuras de CA na rodovia federal BR 472, na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Concluiu que a determinação das espessuras necessárias de reforços pelo método PRO 11/79, foi cerca de 3 vezes menor que o dimensionamento mecanístico, como exemplo, cita a aplicação de 10 cm de reforço em

CA resistiria segundo o método mecanístico a um N de $3,7 \times 10^7$ sem o aparecimento de trincas no revestimento, porém, para esta mesma vida útil apenas 3,2 cm de revestimento seriam suficientes conforme o método PRO 11/79.

SOUZA JUNIOR (2018) avaliou as soluções propostas no Catálogo do DNIT, que se baseia na DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94, para a BR-040 e verificou que em 78% dos casos analisados as soluções indicadas pelo Catálogo não atingiram a vida útil de projeto. Destes, 84% não alcançaram condições aceitáveis aos 4 anos, havendo casos de ruptura em menos de 1 ano de abertura da via.

Os parâmetros empíricos, presentes neste estudo, que consideram toda a bacia deflectométrica, associados aos módulos retroanalisados e ao dimensionamento de reforço efetuado pelo método MeDiNa, concordaram, com boa margem de segurança, que a condição estrutural dos pavimentos dos SH analisados, embora apresentando deflexões relativamente baixas, segundo o consenso comum atual, precisam de recuperação estrutural mais relevante que só uma nova camada asfáltica. É necessário melhoria nas bases, que pode ser por fresagem e reciclagem (mais adequado tecnicamente e sustentável).

As espessuras de reforço, para a camada de revestimento, obtidas pelo método do DNIT, DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94 que se baseiam na deflexão máxima admissível, forneceram resultados até 10 vezes menores que o horizonte de projeto útil de 10 anos para mistura Classe 1 e menores que 5 vezes para a mistura Classe 4.

A versão atual do MeDiNa auxilia o projetista, indicando problemas estruturais na tela de análise do reforço do pavimento, e sugerindo a inserção de uma camada antir-reflexão de trincas ou indicando problemas de base e que a estrutura seja revista.

A avaliação do dano mensal do pavimento e a verificação da evolução das trincas ao longo dos meses auxilia o projetista a repensar a solução que está propondo para efetuar o reforço.

SILVA *et al.* (2015) analisaram a influência da aderência entre camadas do pavimento, para diversas condições de aderência, em termos de vida-útil. Os autores

constatarem, através de simulações, que a consideração da aderência tem forte influência no desempenho estrutural do pavimento e que para o caso de deslizamento entre camadas, há significativo aumento da deflexão e redução da vida de fadiga do pavimento. Fato contrário foi constatado no presente estudo, onde ocorreu ganho da vida de fadiga.

Em relação à comparação da vida útil do pavimento, na condição de não aderência das camadas, houve um ganho na vida útil, excetuando-se um segmento, que é o segmento que apresenta o maior grau de trincamento. Possivelmente, devido à redistribuição dos esforços, com o aumento de rigidez das camadas de base e sub-base ocorreu esse aumento.

Apesar do ganho na vida útil, na condição de não aderência das camadas, em todos os segmentos, para as misturas em estudo e com espessura máxima de 15 cm de reforço, pelo MeDiNa, o horizonte de vida útil de projeto de 10 anos não foi atingido.

Os segmentos de base granular ou em solo, que apresentam maior percentual de trincas, são os que apresentam menor projeção de vida útil de projeto, tanto no modelo com total aderência, como no modelo totalmente sem aderência.

Para o presente estudo, não se pode precisar qual o melhor modelo representa a condição estrutural efetiva pavimento, pois segundo BUENO (2016) a avaliação em laboratório e em campo, por simulações e instrumentações, das condições de aderência entre as camadas de pavimentos, deve ser efetuada objetivando verificar como a estrutura realmente se comporta e, conseqüentemente, qual condição de interface é mais representativa. Para o presente estudo não foi possível efetuar análises laboratoriais que verificassem tal condição.

Apesar de não se ter obtido ensaios de módulos das camadas em laboratório, para o presente estudo, foram obtidos módulos de resiliência *in natura*, por meio de ensaios triaxiais dinâmicos realizados na Universidade Federal de Goiás (UFG), solicitados pela unidade local do DNIT, em 5 jazidas, que forneceram materiais para a BR-242/TO no trecho compreendido entre as cidades de Paranã-TO e Peixe-TO, e que se situam entre 150km e 200km do trecho em estudo da BR 153. Este e outros estudos foram solicitados para a verificação da possibilidade de utilização do material que constitui essas jazidas

(cascalho quartzo laterita arenoso), nas camadas de base e sub-base. O resultado resumido está presente na Tabela 5.34.

Tabela 5.34 – Resultados dos estudos efetuados nas jazidas 1 a 5, para a verificação da possibilidade de utilização do material nas camadas de base e sub-base (UFG, 2016 / DNIT 2017).

Jazida	Material	IP	LL	MR in natura (MPa)	ISC in natura (%)	ISC SMC (%)
1	Cascalho Quartzo Laterita Arenoso	NP	NL	877,00	72,19	184,05
2	Cascalho Quartzo Laterita Arenoso	NP	NL	848,00	73,70	171,53
3	Cascalho Quartzo Laterita Arenoso	NP	NL	1317,00	76,37	149,48
4	Cascalho Quartzo Laterita Arenoso	NP	NL	746,00	72,81	162,84
5	Cascalho Quartzo Laterita Arenoso	NP	NL	1149,00	74,26	146,14

Pode-se observar na Tabela 5.33 que os resultados de módulos de resiliência foram muito elevados, em relação a um material granular comum.

Segundo alguns colaboradores do DNIT da região, os materiais utilizados na BR 153, no trecho do presente estudo, foram similares aos encontrados nestas jazidas citadas, o que pode justificar nos SH de pavimentos flexíveis valores elevados encontrados para base e bastante elevados para sub-base, na simulação da condição de não aderência das camadas, pelo BackMeDiNa, em relação a condição aderida.

Observou-se que há um ganho na vida útil, em todos os segmentos, conforme o nível de confiabilidade da análise diminuiu e que menores incrementos de vida útil, com a redução do nível de confiabilidade da análise, foram obtidos em segmentos de base granular ou em solo, que apresentam maior percentual de trincamento. Se verificou que este é um parâmetro relevante ao ser efetuado cálculo do dimensionamento de reforço, sendo necessária análise sobre qual nível se deve adotar no projeto.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

6.1 Conclusões

A partir de um banco de dados de uma rodovia federal, foram aplicados três programas de retroanálise às bacias de deflexão de oito segmentos selecionados com diferentes condições estruturais e funcionais. Pelas análises realizadas pode-se obter as seguintes conclusões:

- O BackMeDiNa, apresenta bons resultados e permite o melhoramento do RMS em cada estação avaliada, possibilitando que o projetista verifique não só pelo módulo, mas também pelo ajuste do gráfico de bacias, se a solução, além de coerente matematicamente, está adequada do ponto de vista da engenharia.
- Os programas ELMOD e BackMeDiNa apresentaram boa correlação entre os módulos médios obtidos por meio da análise das bacias ponto a ponto e pelos obtidos por meio da bacia média de deflexão de campo, quando verificados pelo programa de análise de tensões AEMC. Além disso, a bacia média obtida pela análise pontual de cada bacia dos 8 segmentos também demonstrou boa correlação entre os dois programas.
- Os parâmetros empíricos ((D0), (D0 - D3) e (D6)), que consideram toda a bacia deflectométrica, e os seus critérios de avaliação utilizados nessa pesquisa, para pavimentos flexíveis de base granular, apresentaram um bom diagnóstico preliminar sobre as condições dos segmentos homogêneos analisados e, associados aos módulos retroanalisados e ao dimensionamento de reforço efetuado pelo método MeDiNa, determinaram de forma satisfatória, a condição estrutural dos pavimentos de cada segmento.
- Nesta pesquisa verificou-se que os subleitos apresentaram valores de módulo acima da média admitida correntemente pelos projetistas atuais, nos 4 programas, mas coerentes com resultados de outros autores, que concluíram que, no caso do Brasil, os subleitos podem apresentar eventualmente módulos maiores que os de sub-base e base, quando bem compactados e sem presença de água e quando compostos por solos laterítico.

- O presente estudo encontrou algumas variações não lineares dos módulos do subleito, mas concluiu que o modelo elástico-linear representa de forma satisfatória o comportamento geral desta camada.
- Conforme resultados encontrados por AMERI *et al.* (2009) e a FHWA (2017) o presente estudo verificou que o ELMOD pode superestimar, em alguns casos, o valor do módulo do subleito.
- A camada de base de solo melhorado com cimento, mesmo após 35 anos de construção, apresenta módulos elevados frente aos das camadas granulares sem estabilização química.
- Os valores de módulo de elasticidade, obtidos em grande parte dos segmentos, apresentaram valores com dispersão nas camadas de revestimento, base e sub-base, o que pode ser devido à considerável variação espacial de deflexões que foram obtidas nos oito segmentos pelo método de divisão dos segmentos homogêneos preconizado pela AASHTO (1993). As condições funcionais dos trechos também podem explicar esta variação.
- Na aba “Resultados” o PITRA-BACK possui telas gráficas de módulos de elasticidade e de deflexões que facilitam a visualização do comportamento do SH em função desses dois parâmetros.
- A correlação observada nas linhas deflectométricas entre a bacia média medida em campo, a bacia média calculada por meio dos módulos obtidos em cada programa aplicados no AEMC e a bacia média obtida nos cálculos pontuais, apresentaram melhores resultados na bacia de deflexão obtida pelo BackMeDiNa, fato este perfeitamente compreensível, considerando que o AEMC é a rotina de cálculo de tensões deste programa. O ELMOD, em todos os trechos desta pesquisa, mesmo quando a retroanálise apresentou dispersão dos módulos e erros acima do critério adotado apresentou correlação satisfatória com o BackMeDiNa. Para o PITRA-BACK foram encontradas boas correlações com os dois outros programas em 3 segmentos.
- Em uma análise preliminar, após a avaliação de erros, coeficiente de variação, verificação no AEMC e valores que representem as condições de uma estrutura real, pode-se concluir que, para as condições do Brasil, o BackMeDiNa mostrou-se adequado como um programa de retroanálise, ressaltando-se que o ELMOD, quando

modelado em condições próximas às de contorno utilizadas no Brasil, oferece resultados e comportamento aceitáveis para as nossas características regionais e que o PITRA-BACK, também pode ser utilizado, mas devendo ser avaliados certos valores obtidos e condições de contorno.

- Verificou-se que os dimensionamentos de reforços, presentes nesta pesquisa, não foram influenciados pela magnitude das diferenças dos módulos obtidos pelo BackMeDiNa, PITRA-BACK e ELMOD.
- As espessuras de reforço, para a camada de revestimento, obtidas pelos dois métodos do DNIT, DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94, no presente estudo, forneceram resultados até 10 vezes menores que o horizonte de projeto útil de 10 anos para mistura Classe 2 e menores que 5 vezes para a mistura Classe 4.
- Para espessuras de reforço da camada de revestimento, obtidas pelo método do DNIT, DNER – PRO 11/79 e DNER – 269/94, no presente estudo, 100% das estruturas não apresentaram o horizonte de projeto de 10 anos.
- A versão atual do MeDiNa auxilia o projetista, indicando problemas estruturais na tela de análise do reforço do pavimento, e sugerindo a inserção de uma camada anti-reflexão de trincas ou indicando problemas de base, sugerindo que a estrutura seja revista.
- A avaliação do dano mensal do pavimento e a verificação da evolução das trincas ao longo dos meses auxilia ao projetista a repensar a solução que está propondo para efetuar o reforço.
- Nesta pesquisa, para pavimentos flexíveis de base granular os raios de curvatura (RC) acima de 200 m apresentaram melhor representação da condição estrutural do pavimento do que os que atenderam ao critério da PRO 11/79, que define que RCs acima de 100 m já representam a boa condição estrutural de base.
- Em relação à comparação da vida útil do pavimento, na condição de não aderência das camadas, houve um ganho na vida útil, excetuando-se um segmento, que é o segmento que apresenta o maior grau de trincamento. Possivelmente, devido à redistribuição dos esforços, com o aumento de rigidez das camadas de base e sub-base ocorreu esse ganho.

- Apesar do ganho na vida útil, em todos os segmentos, para as misturas asfálticas consideradas no estudo e com espessura máxima de 15 cm de reforço, pelo MeDiNa, o horizonte de vida útil de projeto de 10 anos não foi atingido.
- Os segmentos de base granular ou em solo, que apresentam maior percentual de trincas, são os que apresentam menor projeção de vida útil de projeto, tanto no modelo com total aderência, como no modelo totalmente sem aderência.
- Observou-se que há um ganho na vida útil, em todos os segmentos, conforme o nível de confiabilidade da análise diminuiu e que menores incrementos de vida útil, com a redução do nível de confiabilidade da análise, foram obtidos em segmentos de base granular ou em solo, que apresentam maior percentual de trincamento. Se verificou que este é um parâmetro relevante ao ser efetuado cálculo do dimensionamento de reforço, sendo necessária análise sobre qual nível se deve adotar no projeto.

6.2 Recomendações para futuras pesquisas

- Expurgar bacias fora da faixa de um desvio padrão ou que por algum critério não sejam consideradas representativas do segmento, avaliando a possibilidade de obtenção de resultados mais homogêneos.
- Segmentar a rodovia, segundo propõe NOBREGA (2003), em função do valor do módulo de resiliência da primeira camada da estrutura retroanalizada nos três programas, objetivando minimizar discrepâncias modulares.
- Realizar retroanálises verificando, se para as condições brasileiras, correções de temperatura da camada de revestimento nos programas PITRA-BACK e ELMOD apresentam significativa alteração de módulo.
- Realizar estudo semelhante a este em outros trechos desta ou de outras rodovias, com diferentes características funcionais e estruturais, para verificar a correlação dos programas desta pesquisa em distintas situações.
- Combinar camadas de base e sub-base semelhantes em uma única camada ao realizar a retroanálises, objetivando diminuir erros altos.
- Aplicar estas análises em segmentos para os quais se disponham ensaios de laboratório das camadas, objetivando a obtenção dos módulos de resiliência e avaliação das condições de aderência entre as camadas do pavimento.

- Realizar estudo com os segmentos desta pesquisa, considerando a fresagem da base existente, bem como propor a utilização de novos materiais, diferentes dos existentes tendo em vista o número “N” elevado da via.
- Aumentar o limite da espessura de reforço no BackMeDiNa, para que se possa avaliar a possibilidade de que com uma espessura um pouco maior de reforço, não seja necessário a fresagem e reconstrução da base existente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS), **Guide for design of pavement**, Washington, EUA, 1993.
- ADADA, L. **Tópicos de projeto de pavimentos asfáltico e de cimento Portland**. Departamento De Estradas e Rodagem do Paraná. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/RHTemp/PavimentosFlexiveiseRigidos_LucasAdada.pdf>. Acessado em 25/10/2018.
- ALBERNAZ, C.A.V., MOTTA, L.M.G., MEDINA, J. (1995). “Retroanálise: Uma Útil Ferramenta na Avaliação Estrutural de Pavimentos”. In: **29a Reunião Anual de Pavimentação**. V. 1, pp. 399-417, Cuiabá, MG, Brasil.
- ALBERNAZ, C.A.V. **Método Simplificado de Retroanálise de Módulos de Resiliência de Pavimentos Flexíveis a Partir da Bacia de Deflexão**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- ALVES, T. S. **Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários - Aplicação Prática do Radar de Prospecção e do Deflectómetro de Impacto**. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007.
- AMERI, M.; YAVARI N.; SCULLION T. 2009. “Comparison of static and dynamic backcalculation of flexible pavement layers moduli, using four software programs. **Asian Journal of Applied Sciences**, 2: 197-210.
- ANDRADE, L. R.; VASCONCELOS, K. L.; BERNUCCI, L. L. B. “Avaliação do comportamento estrutural de pavimentos por meio de adoção de parâmetros de bacia deflectométrica”. **XXX Congresso de pesquisa e ensino em transporte - ANPET**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

- ANDRADE, L. R. **Comparação do comportamento de pavimentos asfálticos com camadas de base granular, tratada com cimento e com estabilizantes asfálticos para tráfego muito pesado**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- ANTUNES, M. **Avaliação da Capacidade de Carga de Pavimentos Utilizando Ensaio Dinâmicos**. Tese de Doutorado, Instituto Superior Técnico/Universidade de Lisboa, Lisboa, 1993.
- ARAÚJO, M. Almeida; *et. al.* “Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto)”. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento**, ANO 1. VOL. 10, pp. 187-196. Novembro de 2016 – ISSN.2448-0959.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica, materiais, projeto e restauração**. Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS:ABEDA, 2008.
- BEZERRA NETO, R. S. **Análise comparativa de pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)**. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2004.
- BORGES, C. B. S. **Estudo Comparativo entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BUENO, L. D. **Avaliação deflectométrica e de rigidez: estudo de caso em três trechos monitorados em Santa Maria**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil 2016.

CARDOSO, S. H. (1995). “Faixas de Módulos Dinâmicos (elásticos) Obtidos por Retroanálise Durante Sete Anos”. In: **29a Reunião Anual de Pavimentação**. V. 2, pp.377-401, Cuiabá, MG, Brasil.

CORREIA, J. M. S. **Retroanálise de resultados de Caracterização Estrutural de pavimentos**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico/Universidade de Lisboa. Outubro, 2014.

CANESTRARI, F; FERROTTI, G; LU, X; MILLIEN, A; PARTL, M. N; PETIT, C; PHELIPOT-MARDELÉ, A; PIBER, H; RAAB, C; **Mechanical Testing of Interlayer Bonding in Asphalt Pavements. Advances in Interlaboratory Testing and Evaluation of Bituminous Materials, RILEM State-of-the-Art Reports 9**, 2013.

CNT (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE). **21ª edição da Pesquisa CNT de Rodovias**. 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/pesquisa-cnt-indica-piora-qualidade-rodovias>>. Acesso em: 25 outubro de 2018.

_____. **Por que os pavimentos das rodovias do brasil não duram?** 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/Noticia/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>>. Acesso em: 24 outubro de 2018.

COSTA, G. M.; MENDONÇA A. T.; ALBUQUERQUE F. S.; ALBUQUERQUE T. M. A. Características Mecânicas de Materiais para Pavimentos: Estudo de Caso Laboratório x Campo. **Scientia Plena**. vol. 11, num. 11, 2015.

COSTA, T. C.; PEREIRA, D. A.; DEON, K. C. A. “Retroanálise das Bacias Deflectométricas para Obtenção dos Módulos de Resiliência das Camadas de Pavimentação da Rodovia

BR-163/PA, Brasil”. **VIII Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / V Congresso de Engenharia de Moçambique**. Maputo, Moçambique, 2017.

DAROUS, JOÃO. **Estudo comparativo entre sistemas de cálculo de tensões e deformações utilizados em dimensionamento de pavimentos asfálticos novos**. Tese de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

DEFENCE ESTATES. **Design and Maintenance Guide (DMG)**. A Guide to Airfield Pavement Design and Evaluation, Ministry of Defence of the United Kingdom, 3^o ed., Jul, 2009.

DER-SP (2006). **Instrução de Projeto de Pavimentação IP-DE-P00/001**. Instrução de Projeto. São Paulo, SP, 2006.

DEUCHER, F.M. **Avaliação estrutural e funcional e estimativa de vida útil de segmento da SC-390 com camada de base de solo melhorado com cimento – primeiro ano de abertura ao tráfego**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Engenharia Civil, 2016.

DOMENICO, P. LIMA T. T.; CASTRO. R. M.; CASTRO, M. N. “Influência do agregado miúdo reciclado na resistência à compressão e porosidade do concreto”. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 08, n. 01, p. 129 - 147, jan-jun 2018.

DNER (1983). Norma 10/79 – PRO - **Procedimento A - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis**. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.

_____. Norma 11/79 – PRO - **Procedimento B - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis**. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1979.

_____. Norma 269/94 – PRO - **Procedimento - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis – TECNAPAV (Método da Resiliência)**. MT/DNER/IPR. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT. Arquivo Técnico do DNIT na Unidade Local de Gurupi SRETO - **Elaboração dos Projetos Básico e Executivo de Engenharia e Execução das Obras de Implantação e Pavimentação do Lote 2, incluindo o Encabeçamento da Ponte sobre o Rio São Miguel e as Obras de Construção/Recuperação/Reforço e Reabilitação das Obras de Arte Especiais sobre os Rios São Miguel, São José, São José, Dedo Cortado e Palmas na Rodovia BR-242-TO.** MI/DNIT/SR/TO. Gurupi, TO. 2017.

DNIT — DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES.
DNIT 005-TER: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia.** Rio de Janeiro, 2003^a.

_____. Norma 006/2003 – PRO - **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos – Procedimento.** MT/DNIT/IPR. Rio de Janeiro, 2003.

_____. Norma 007/2003 – PRO - **Procedimento - Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimento flexível e semirrígido para gerência de pavimentos e estudos e projetos.** – MT/DNIT/IPR. Rio de Janeiro, 2003.

_____. Norma 008/2003 – PRO – **Procedimento - levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos.** – MT/DNIT/IPR. Rio de Janeiro, 2003.

_____. Norma 009/2003 – PRO - **Procedimento - avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos).** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Manual de estudos de tráfego.** MT / DNIT. Brasília, DF, 2006.

_____. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** MT / DNIT. Brasília, DF, 2006.

_____. **Manual de gerência de pavimentos.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. Norma 134/2017 - **Método de ensaio - Pavimentação - Solos - Determinação do módulo de resiliência**. Rio de Janeiro, 2017.

DORMON, G. M.; C. T. METCALF (1965), “Design Curves for Flexible Pavements Based on Layered System theory,” **Highway Research** Record 71, Highway Research Board.

DYNATEST. (2018). Programa ELMOD 6.

DYNATEST (2018). Apresentação de Equipamentos FWD. Disponível em: <http://www.dynatest.com.br/produto.asp?produtoAtivo=21>> Acesso em: 10 de outubro 2018.

EPL (2015) - Empresa de Planejamento e Logística. Plano Nacional de Logística Integrada (PNLI). Disponível em < <https://www.epl.gov.br/transporte-inter-regional-de-carga-no-brasil-panorama-2015>>. Acesso em: 02 de novembro de 2018.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Guide to Asphalt Temperature Prediction and Correction**. Online Temperature Prediction and Correction Guide-TOC, November, 2002. Disponível em: [publications/research/intrastructure/pavements/ltp/98085/gendis_ctm](https://www.fhwa.gov/publications/research/intrastructure/pavements/ltp/98085/gendis_ctm)>_ Acesso em: 12 de abril de 2019.

_____.”Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic-Empirical Design and Analysis”, Volume I: Final Report. PUBLICATION NO. **FHWA-HRT-16-009**. MARCH 2017.

FERNANDES JÚNIOR., J. L., MARGARIDO, S. A & ZERBINI, L. F. “Priorização em Sistemas de Gerência de Pavimentos Urbanos”. In: **Anais da 72 Reunião de Pavimentação Urbana**. São José dos Campos São Paulo — Brasil. 26 a 28 de junho de 1996.

- FERRI, S. **Contribuições ao estudo do comportamento mecânico de solos de subleito para fins de projeto de pavimentos asfálticos.** Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- FONSECA, J. L. G., **Um Método de Retroanálise de Bacias de Deflexão de Pavimentos.** Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- FONSECA, L. F. **Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA 2ª Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.** Dissertação de Mestrado Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, mar. 2013.
- FORTES, R. M. **Estudo da aderência entre o concreto de cimento Portland e concretos asfálticos para fins de reforços ultradelgados de pavimentos.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- FRANCO, F. A. C. P. **Um sistema para análise mecânica de pavimentos asfálticos.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ, 2000.
- FRANCO, F. A. C. P. **Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav.** Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2007.
- FRANCO, F. A. C. P. **Análise Elástica de Múltiplas Camadas.** Manual de Utilização. Versão 2.4 (abril/2018). Rio de Janeiro, 2018.
- FRANCO, F. A. C. P. **BackMeDiNa. Manual de Utilização.** Versão 1.1 (abril/2018). Rio de Janeiro, 2018.
- FRANCO, F. A. C. P. **MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional.** Manual de Utilização. Versão 1.1.1.0 (nov/2018). Rio de Janeiro, 2018.

- FRITZEN, M. A. **Desenvolvimento e Validação de Função de Transferência para Previsão do Dano por Fadiga em Pavimentos Asfálticos**. Tese de Doutorado—Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2016.
- HAAS, R., HUDSON, W.R. e ZANIEWSKI, J. (1994), **Modern Pavement Management**. Florida, Krieger Publishing Company.
- HUANG, Y. H., 2003, **Pavements Analysis and Design**. 2nd Ed., Prentice Hall Inc. New Jersey, E.U.A.
- GUIMARÃES, P. A. **Estudo da aderência entre camadas asfálticas de pavimentos**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.
- HENNADIPGIL JUNIOR, A.; BLANCO, E. F. R.; LOPES F. S.; MORAIS, H. R.; RODRIGUES, R. M.; RODRIGUES FILHO, S. “Avaliação e restauração de pavimentos Uma proposta de adequação ao dimensionamento do reforço”. **Revista Pavimentação**, Ano VI, Jul - ago 2011.
- HIGHWAYS ENGLAND. Data for Pavement Assessment. **Design Manual tor Roads and Bridges: pavement design and maintenance**. Section 3, Pavement maintenance assessment, part 2, HO 29/08, 2008.
- KUAB, 2018. Apresentação de Equipamentos FWD KUAB. Disponível em: <http://www.cdb.sk/en/road-databank/data-collection/kuab-fwd-50.alej>. Acesso em: 13 de outubro de 2018.
- LOPES, F. M. **Pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico - avaliação estrutural a partir dos parâmetros de curvatura da bacia de deformação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

- MACÊDO, J. A. G. **Interpretação de Ensaios Deflectométricos para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.
- MARANGON, M. Tensões nos solos. Disponível em: <www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/03-MS-Unidade-02-Tensões-2013.pdf>. Acesso em: 27 outubro de 2018.
- MATAMOROS, P. L. **Herramienta de cálculo para retrocálculo de módulos y diseño de sobrecapas asfálticas de pavimentos flexibles en Costa Rica**. Dissertação de M.Sc., Universidad de Costa Rica, 2017. San Pedro, Costa Rica.
- MEDINA, J., MACÊDO, J.A.G., MOTTA, L.M.G., *et. al.* (1994). “Utilização de Ensaios Defletométricos e de Laboratório para a Avaliação Estrutural de Pavimentos”. In: **28a Reunião Anual de Pavimentação**. V. 1, pp. 595-625, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- MEDINA, J. e MOTTA, L.M.G., **Mecânica dos Pavimentos**. 2. edição, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
- MEDINA, J.; MOTTA, L. **Mecânica dos Pavimentos**. 3a edição ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015.
- MORAES, C. G. de. **Análise de bacias deflectométricas obtidas por 4 equipamentos do tipo Falling Weight Deflectometer (FWD)**. Dissertação de M.Sc., UFRJ/COPPE, 2015. Rio de Janeiro, Brasil.
- MOTTA, L. M. G. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas**. Tese de Doutorado. COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- NAGAO, E. M. **Considerações de parâmetros de curvatura da bacia de deformação e do número estrutural no dimensionamento de reforço de pavimentos flexíveis**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

- NAZZAL, M. D.; MOHAMMAD L. N. “Estimation of Resilient Modulus of Subgrade Soils Using Falling Weight Deflectometer.” **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, No. 2186, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010, pp. 1–10.
- NÓBREGA, E.S., **Comparação entre método de retroanálise em pavimentos asfálticos**. Tese de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- NOURELDIN, A.S. “A New Scenario for Backcalculation of Layer Moduli of Flexible Pavement”. TRR 1384. **Transportation Research Record**. Washington, EUA, 1993.
- PANDOLFO, D K. **Variação da estimativa de vida útil de um pavimento flexível restaurado com espessuras de reforço analisadas mecanisticamente a partir dos módulos obtidos por diferentes métodos e softwares de retroanálise**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2015.
- PEREIRA, D. S. **Estudo do comportamento de pavimentos de concreto simples em condições de aderência entre placa de concreto e base cimentada ou asfáltica**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- PEREIRA, D. Trip-1001 **Infraestrutura de transportes: Avaliação Funcional de Pavimentos** . 04-05 de dez de 2007. 66 p. Notas de Aula. UFSM.
- PEREIRA, J. M. B. (2007). **Um Procedimento de Retroanálise de Pavimentos Flexíveis Baseado na Teoria do Ponto Inerte e em Modelagem Matemática**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- PINTO, S., PREUSSLER, E. S., **Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. Rio de Janeiro, Copiarte, Copiadora e Artes Gráficas, 2002.

- PINTO, C. S.; 2006, **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª Edição, Oficina de textos. São Paulo – SP, Brasil.
- PINTO, I. E., DOMINGUES, F. A. A. A., “A Contribuição ao Estudo de Correlação entre Equipamentos Medidores de Deflexões: Viga Benkelman e Falling Weight Deflectometer – FWD”. In: **Second International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavement and Technological Control**. Auburn, Alabama, USA, 2001.
- PREUSSLER, E.S., VALE, A.F., CARVALHO, R.L.E. et. al., “Caracterização da Condição Elástica do Subleito”. In: **32a Reunião Anual de Pavimentação**. V. 1 pp. 331-336, Brasília, DF, Brasil, 2000.
- ROCHA FILHO, N. R. **Estudo de Técnicas Pavimentos por Meio de Levantamentos para Avaliação Estrutural de Deflectométricos**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, São José dos Campos, SP, 1996.
- RODRIGUES, R. M., (1995). “Aplicações da Mecânica dos Pavimentos ao projeto e à avaliação estrutural dos pavimentos asfálticos”. In: **29º Reunião de Pavimentação**, V.2, p.p 323-345, Cuiabá, MT.
- RODRIGUES, R. M., 1996. “Projeto e Gerência de Pavimentos”. Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica, São José dos Campos, SP.
- RODRIGUES, R.M., 1998, **Notas de Aula do curso de pavimentação**. Parte III, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Infra-estrutura Aeronáutica, S. José dos Campos, SP.
- ROHDE, G.T., SCULLION, T. **MODULUS 4.0: Expansion and Validation of the MODULUS Backcalculation System**, Research Report No. 1123-3, Texas Transportation Institute, Texas A&M. University System, College Station, Texas, November 1990.

- ROMANOSCHI, S. A.; METCALF, J.B. “Errors in pavement layer moduli backcalculation due to improper modeling of layer interface condition”. In: **Proceedings Of the 82nd TRB Annual Meeting**. Washington (EUA), 2003.
- SHAAT, A. A.; KAMAL, M. A.; MATTER, M. S. “Relations ships between climatic onditions and the structural parameters of flexible pavements”. **Proceedings of the 7th International Conference on Asphalt Pavements**, v. 3, University of Nottingham, UK, 1992.
- SCHERER, C. **Influência do comportamento resiliente do subleito no desempenho de pavimentos flexíveis**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 30 jun. 2016.
- SILVA, C. F. S. C., (2014). **Análise de tensões em pavimentos a partir de modelo físico instrumentado**. Dissertação de M.Sc., COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- SILVA, S. A. T.; BASTOS, J. B. S; SOARES, J. B. “Influência da Aderência na Análise de Pavimentos Asfálticos”. In: **44ª Reunião Anual de Pavimentação, 180 Encontro Nacional de Conservação Rodoviária**. Foz do Iguaçu, 2015.
- SILVA, L. S, *et al.*, 2018. “Análise comparativa entre as técnicas construtivas de pavimentação empregadas no sistema Bus Rapid Transit (BRT) - Belém - PA versus Fortaleza – CE”. **Revista de tecnologia**. v. 4, n. 6 (2018). UFRR.
- SIVANESWARAN, N.; KRAMER, S.L.; MAHONEY, J.P.;. “Advanced Backcalculation Using a Nonlinear Least Squares Optimization Technique”. **Transportation Research** (1991) Record, nº 1293, p. 93-102. Disponível em: <https://trid.trb.org/view/359589>. Acesso em: 02 de novembro de 2018.

SOLOCAP EQUIPAMENTOS – Viga Benkelman. Disponível em:
<<http://www.solocap.com.br/detalhe.asp?idcod=VIGA%20BENKELMAN%20LINEAR%20ANAL%20D3GICA>>. Acesso em: nov. 2018.

SOUZA JUNIOR, J G. **Aplicação do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos a trechos de uma rodovia federal**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. UFRJ/COPPE, 2018.

SOUZA, P. R. B. **Considerações sobre a utilização de parâmetros de curvatura da bacia de deformação para avaliação estrutural de pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM – SHRP. **Procedure for Temperature Correction of Maximum Deflections**. SHRP-P-654, Washington, D.C., 1993.

SUTANO, M. H. **Assessment Of Bond Between Asphalt Layers**. Doctor Thesis Nottingham Transportation Engineering Center, University of Nottingham. Nottingham, 2009.

TIMOSHENKO, S. P; GOODIER, J. N., “**Theory of Elasticity**”, 3rd Edition, McGraw Hill, New York, 1970.

TREJOS, C. (2015). **Herramienta de cálculo complementaria a la Nueva Metodología de Diseño Mecánico Empírico de Pavimentos Flexibles de Costa Rica**. Tesis de Licenciatura. San Pedro: EIC UCR.

ULLIDTZ, P.; COETZEE, N. F.; (1995). “Analytical Procedures in Nondestructive Testing Pavement Evaluation”. **Transportation Research Record**, n° 1482, p. 61-66.

UNIVERSIDADE DA COSTA RICA - Unidad de Materiales y Pavimentos / Centro de Descarga – **Pitra** - **Back**. Disponível em<
<http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/centro-de-descarga/i-modin/70-unidades/materiales-y-pavimentos/centro-de-descarga-mp/403-inicio-centro-de-descarga.html>>. Acesso em: 10 de julho de 2018.

UNIDAD DE GESTIÓN MUNICIPAL PITRA-LANAMMEUCR. (2015). **Propuesta Guía Mecánica Empírica para el Diseño de Pavimentos Flexibles en Costa Rica versión 1.0. San José.** LanammeUCR.

UZAN, J., 1978, *JULEA - Jacob Uzan Layered Elastic Analysis Program*. U.S.A.

VELLASCO, B. Q (2018). **Análise crítica do controle construtivo de pavimentos com a viga de Benkelman: aplicação ao caso da ampliação do Aeroporto Internacional Tom Jobim no Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, Brasil.

VER, Vectra Esteio Rodovias S/A. Joint-venture entre a empresa francesa VECTRA e a empresa brasileira Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S/A. Curitiba, PR, Brasil, 2012. Disponível em < <http://www.vectra-esteio.com.br/lacroix.html>>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

Washington State Department of Transportation – WSDT (2005). **EVERSERIES© USER’S GUIDE.** Pavement Analysis Computer Software and Case Studies. Environmental and Engineering Programs Materials Laboratory - Pavements Division, Washington, DC.

Segmento			Construção										Restauração 1			Restauração 2			Restauração 3		Localização		Restauração 4				Estrutura Atual									
km Inicial	km Final	Ext. (km)	Pista			Local (km)	Base			Sub-base			Subleito	Pista			Empresa	Pista			Empresa	Pista			Estaca Inicial	Estaca Final	Pista			Sub-base	Base		Camada Final de Revestimento	Esp. (cm)		
			Ano	Revest.	Esp. (cm)		Material	Esp. (cm)	CBR	Material	Esp. (cm)	CBR		Ano	Material	Esp. (cm)		Ano	Material	Esp. (cm)		Material	Esp. (cm)	Ano			Material	Esp. (cm)	Material		Esp. (cm)	Material			Esp. (cm)	Material
740	803,6	63,6	CBPO	1973	TD	2,5	741,4	MC	20	80	SL	20	40	12	DNER	1986	LA	0,5				CA	4,0	9065	9150	ARG	2005	MR	SL	20	MC	20	CA	7,0		
								SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,5																		
			CR Almeida	1974	TD	2,5	753,4	SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,3				CA	4,0	9235	9665	ARG	2005	MR	SL	20	SL	20	CA	7,0		
								SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,3																		
			CR Almeida	1974	TD	2,5	765,4	SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,3				CA	5,0	9835	10052	ARG	2005	MR	SL	20	SL	20	CA	8,0		
								SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,3			REP	2,0	10052	10215	ARG	2005	MR	SL	20	SL	20	CA	5,0			
			CR Almeida	1974	TD	2,5	777,4	SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,3				CA	4,0	10215	10250	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20	CA	4,5	
								SL	20	86	SL	20	76	18	DNER	1986	LA	0,3							CA	3,0	10250	10435	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20
			CR Almeida	1974	TD	2,5	789,4	SL	20	86	SL	20	55	17								CA	6,0	10435	10780	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20	CA	6,0	
								SL	20	86	SL	20	34	17											CA	6,5	10780	10850	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20
			CR Almeida	1974	TD	2,5	801,4	SL	20	86	SL	20	50	17								CA	9,0	10850	10965	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20	CA	9,0	
								SL	20	99	SL	20	50	17											CA	8,0	10965	11035	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20
			CR Almeida	1974	TD	2,5	811,4	SL	20	99	SL	20	50	17								CA	4,0	11035	11450	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20	CA	4,5	
								SL	20	99	SL	20	50	17											CA	6,5	11450	11635	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20
			CR Almeida	1974	TD	2,5	821,4	SL	20	99	SL	20	50	17								CA	6,5	11635	12040	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20	CA	6,5	
								SL	20	99	SL	20	50	18											CA	6,5	12040	12139	ARG	2005	PS + LA	3,0	SL	20	SL	20

LEGENDA:
BG Brita Graduada
LA Lama Asfáltica
TS Tratamento Superficial Simples
TD Tratamento Superficial Duplo
SL Solo Laterítico
MC Solo Melhorado com Cimento
PQ Pré-misturado à Quente
CA Concreto Asfáltico
SE Solo Estabilizado
MR Manutenção de Rotina
BC Base Cementada
REC Reconstrução

ANEXO II – BACIAS DE DEFLEXÃO MEDIDAS EM CAMPO PELO FWD EM CADA SEGMENTO DESTA PESQUISA

Segmento 1							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	298	197	180	137	100	57	19
B2	348	236	183	151	109	54	23
B3	430	285	230	161	118	54	25
B4	477	317	249	182	122	55	25
B5	494	355	294	185	130	55	25
B6	468	314	262	175	126	55	26
B7	358	248	204	150	111	66	27
B8	326	240	186	150	105	65	28
B9	314	214	184	133	104	56	28
B10	244	182	162	124	102	56	36
B11	235	167	162	116	102	56	36
B12	249	178	176	128	106	57	31
B13	479	313	236	162	109	57	28
B14	391	240	232	146	120	69	38
B15	347	236	197	145	120	69	38
B16	354	236	202	145	119	64	35
B17	365	251	214	154	118	62	25
B18	354	248	211	151	117	56	20
B19	349	238	208	145	105	54	15
B20	325	218	185	121	105	50	21
B21	311	214	172	121	104	47	21
B22	310	180	168	120	98	47	19
B23	270	178	167	119	82	49	17
B24	276	190	167	119	82	46	15
B25	313	194	166	118	80	44	15
B26	498	363	287	171	105	50	30

Segmento 2							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	481	232	165	81	50	14	6
B2	447	228	110	69	49	17	6
B3	308	162	105	63	41	18	7
B4	308	159	105	76	53	20	8
B5	308	159	106	83	54	25	9
B6	306	164	110	85	62	24	9
B7	301	164	147	97	70	24	9
B8	281	151	135	86	65	29	12
B9	262	151	126	85	64	29	13
B10	304	155	138	85	58	22	14
B11	316	163	140	84	58	22	14
B12	274	151	135	67	48	21	12
B13	235	141	98	66	46	16	7
B14	230	139	97	64	38	19	5
B15	198	136	68	61	34	19	4
B16	195	139	83	63	36	19	2
B17	184	140	104	83	37	6	1
B18	216	141	116	88	66	16	8
B19	260	151	141	97	73	27	12
B20	265	176	147	96	69	28	5
B21	303	261	147	96	67	28	4
B22	272	215	131	90	56	25	4
B23	223	145	106	83	52	18	4
B24	230	150	110	80	50	18	3
B25	230	151	122	79	49	20	1
B26	265	151	114	81	56	17	1

Segmento 3							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	298	197	180	137	100	57	19
B2	348	236	183	151	109	54	23
B3	430	285	230	161	118	54	25
B4	477	317	249	182	122	55	25
B5	494	355	294	185	130	55	25
B6	468	314	262	175	126	55	26
B7	358	248	204	150	111	66	27
B8	326	240	186	150	105	65	28
B9	314	214	184	133	104	56	28
B10	244	182	162	124	102	56	36
B11	235	167	162	116	102	56	36
B12	249	178	176	128	106	57	31
B13	479	313	236	162	109	57	28
B14	391	240	232	146	120	69	38
B15	347	236	197	145	120	69	38
B16	354	236	202	145	119	64	35
B17	365	251	214	154	118	62	25
B18	354	248	211	151	117	56	20
B19	349	238	208	145	105	54	15
B20	325	218	185	121	105	50	21
B21	311	214	172	121	104	47	21
B22	310	180	168	120	98	47	19
B23	270	178	167	119	82	49	17
B24	276	190	167	119	82	46	15
B25	313	194	166	118	80	44	15
B26	498	363	287	171	105	50	30

Segmento 4							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	481	232	165	81	50	14	6
B2	447	228	110	69	49	17	6
B3	308	162	105	63	41	18	7
B4	308	159	105	76	53	20	8
B5	308	159	106	83	54	25	9
B6	306	164	110	85	62	24	9
B7	301	164	147	97	70	24	9
B8	281	151	135	86	65	29	12
B9	262	151	126	85	64	29	13
B10	304	155	138	85	58	22	14
B11	316	163	140	84	58	22	14
B12	274	151	135	67	48	21	12
B13	235	141	98	66	46	16	7
B14	230	139	97	64	38	19	5
B15	198	136	68	61	34	19	4
B16	195	139	83	63	36	19	2
B17	184	140	104	83	37	6	1
B18	216	141	116	88	66	16	8
B19	260	151	141	97	73	27	12
B20	265	176	147	96	69	28	5
B21	303	261	147	96	67	28	4
B22	272	215	131	90	56	25	4
B23	223	145	106	83	52	18	4
B24	230	150	110	80	50	18	3
B25	230	151	122	79	49	20	1
B26	265	151	114	81	56	17	1
B27	446	297	208	135	105	53	26
B28	471	326	217	175	130	63	33
B29	532	370	267	196	147	79	34

Segmento 5							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	436	280	199	120	90	38	20
B2	438	283	200	124	91	38	18
B3	444	282	185	118	91	30	15
B4	449	266	179	107	74	30	7
B5	473	269	179	98	72	27	2
B6	482	296	181	81	46	20	1
B7	414	252	167	91	61	24	7
B8	391	229	158	94	67	31	7
B9	453	251	168	114	68	33	6
B10	476	309	225	153	102	39	6
B11	388	301	160	70	94	32	6
B12	306	186	115	64	42	18	6
B13	314	220	139	97	42	16	6
B14	364	230	156	101	67	16	4
B15	404	240	180	101	64	23	4
B16	570	337	225	119	63	29	4
B17	397	267	179	109	60	28	2
B18	379	223	152	95	57	27	1
B19	394	306	159	91	57	25	4
B20	500	317	189	90	56	22	10
B21	504	320	195	101	56	32	13
B22	520	331	199	112	78	43	18
B23	483	304	169	112	67	36	15
B24	440	255	163	97	58	14	7
B25	460	300	172	94	38	15	3
B26	525	312	179	75	36	16	2

Segmento 6							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	598	405	220	152	81	33	15
B2	394	272	187	110	79	29	5
B3	401	276	190	115	78	19	5
B4	403	287	198	119	74	14	4
B5	403	306	202	125	94	34	4
B6	489	318	226	144	109	42	17
B7	387	302	226	128	102	34	11
B8	383	263	184	123	85	30	4
B9	420	327	192	151	99	34	8
B10	497	331	247	156	108	45	11
B11	512	344	268	187	138	45	15
B12	517	369	296	187	146	45	15
B13	488	329	216	120	67	18	6
B14	451	275	161	107	41	9	1
B15	553	343	243	194	106	12	1
B16	603	477	406	233	150	53	2
B17	493	334	361	208	129	47	8
B18	478	326	254	140	96	21	14
B19	457	331	254	157	101	30	14
B20	453	341	243	170	102	34	14
B21	426	327	246	167	92	26	7
B22	422	325	267	155	70	24	7
B23	754	382	302	187	72	27	7
B24	757	519	367	207	133	41	11
B25	494	454	252	192	135	38	13
B26	435	321	246	183	138	33	1

Segmento 7							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	256	187	157	86	54	14	1
B2	397	237	164	80	59	12	1
B3	391	237	164	86	63	13	2
B4	340	232	164	108	68	32	2
B5	316	231	165	111	74	40	7
B6	302	215	182	147	95	51	38
B7	359	221	184	156	96	50	36
B8	368	278	188	172	106	33	1
B9	211	145	167	110	105	16	1
B10	157	114	87	60	56	15	4
B11	255	163	110	67	73	12	5
B12	295	201	155	106	91	12	8
B13	261	200	155	106	91	33	8
B14	240	166	152	132	87	42	13
B15	245	166	148	122	83	28	13
B16	248	177	135	100	82	28	5
B17	278	176	119	93	77	28	7
B18	278	172	108	87	63	23	9
B19	280	185	120	99	74	23	15
B20	280	210	142	106	75	26	18
B21	240	197	136	106	68	29	6
B22	197	150	112	104	57	34	2
B23	199	155	120	110	60	34	8
B24	217	157	135	110	92	44	8
B25	216	156	131	108	65	23	3
B26	212	150	111	86	62	20	1
B27	264	151	115	101	51	20	1

Segmento 8							
	d0	d20	d30	d45	d65	d90	d120
B1	531	232	123	60	46	23	14
B2	531	233	126	60	50	27	14
B3	538	239	129	60	50	27	16
B4	400	195	123	59	44	22	14
B5	386	187	110	58	43	22	11
B6	425	192	123	60	45	24	11
B7	425	207	125	64	46	24	13
B8	383	178	94	47	41	24	14
B9	321	169	85	45	41	22	15
B10	320	172	115	63	51	25	15
B11	319	184	124	72	54	27	15
B12	329	182	122	73	57	29	15
B13	329	177	120	73	57	29	15
B14	328	170	117	68	46	22	10
B15	327	170	99	49	35	18	10
B16	323	160	101	49	37	21	10
B17	318	159	102	52	37	21	12
B18	304	174	115	55	39	21	14
B19	300	174	119	75	58	27	14
B20	445	208	128	77	59	31	19
B21	491	231	142	80	60	32	19
B22	376	225	117	69	60	32	19
B23	349	179	113	67	52	30	18
B24	311	165	100	55	35	27	16
B25	304	149	71	44	32	20	12
B26	299	148	71	46	33	20	12

ANEXO III – RETROANÁLISE PONTUAL NOS PROGRAMAS BACKMEDINA, PITRA-PAVE E ELMOD.

- BACKMEDINA (camadas aderidas)**

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento:	1
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
1540	1033	1359	52	297	8.66	298	205	172	134	94	61	37
1542	941	997	47	297	8.15	345	232	190	144	99	61	37
1544	666	755	38	297	7.49	432	279	225	166	109	64	36
1546	574	755	29	297	9.34	480	313	255	190	125	72	39
1548	694	610	25	327	15.16	509	339	273	200	129	72	37
1550	574	755	29	323	9.53	474	307	249	185	120	68	36
1552	1085	947	36	327	4.56	358	247	204	155	105	64	36
1554	1217	1117	34	376	5.22	328	231	192	148	102	62	34
1556	1014	1232	44	327	5.13	315	216	180	138	96	60	35
1558	1308	1721	57	297	7.43	258	183	156	124	90	60	38
1560	1439	1893	68	272	8.32	242	174	149	120	89	61	41
1562	1439	1893	45	312	9.16	255	186	160	129	95	63	39
1564	682	560	33	376	4.50	482	305	238	169	104	56	28
1566	472	1454	34	298	11.37	391	248	210	164	114	70	40
1568	758	1359	38	297	5.93	344	233	197	154	108	68	40
1570	644	1450	34	327	5.97	354	235	199	155	108	67	38
1572	1013	996	31	360	6.14	365	253	209	160	108	65	35
1574	1264	891	35	327	8.75	357	250	205	156	106	64	37
1576	1197	876	40	327	9.37	351	242	197	148	100	61	35
1578	1155	934	51	327	9.25	326	219	178	133	90	55	33
1580	1417	876	57	327	8.78	312	212	171	127	86	53	32
1582	526	1893	45	414	8.03	309	188	159	123	85	51	29
1584	1125	1406	63	327	8.53	272	184	153	119	83	53	33
1586	1439	1114	63	327	8.25	280	192	157	120	83	53	33
1588	769	1080	72	327	6.99	314	197	159	118	80	50	31
1590	811	501	25	420	16.41	517	340	267	190	117	61	28

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	971.38	1131.69	43.27	328.08	8.32	356.46	238.85	196.31	148.81	100.96	61.35	35.27
DESVIO PAD.	314.97	410.07	13.45	35.54	2.79	73.68	44.56	33.02	21.86	11.99	5.99	3.86
MÉD. MÍN	656.42	721.62	29.82	292.53	5.53	282.78	194.29	163.29	126.95	88.98	55.36	31.41
MÉD.MÁX	1286.35	1541.77	56.72	363.62	11.12	430.15	283.40	229.32	170.67	112.95	67.34	39.12
C.V	0.32	0.36	0.31	0.11	0.34	0.21	0.19	0.17	0.15	0.12	0.10	0.11

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	970.00	1130.00	45.00	320.00	326.25	223.17	184.43	141.08	96.90	59.98	35.31

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento: 2

Bacias: 26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2220	2087	143	230	394	14.66	473	256	150	73	41	29	22
2222	966	189	504	329	14.36	453	208	120	71	51	38	28
2224	2021	320	736	295	15.80	304	167	112	76	57	43	32
2226	2120	305	669	325	11.13	304	165	108	71	52	38	29
2228	2087	354	557	306	11.73	300	168	114	76	55	41	31
2230	2573	317	678	282	13.26	300	173	118	80	59	44	33
2232	2969	426	336	287	15.91	296	183	130	87	60	43	32
2234	3178	465	362	306	12.84	274	170	121	82	56	40	30
2236	4718	458	376	306	10.68	256	166	121	82	56	40	30
2238	2778	388	376	306	14.18	296	178	123	81	56	40	30
2240	2408	388	286	337	12.53	312	183	124	79	51	36	27
2242	3088	427	459	306	14.49	271	165	116	79	56	41	30
2244	5550	374	690	337	11.70	230	146	104	69	49	37	28
2246	4008	625	536	295	17.23	226	146	109	79	57	43	32
2248	4202	579	746	378	13.68	199	122	87	61	44	33	25
2250	7389	592	443	295	23.00	215	150	114	81	58	42	32
2252	5067	963	241	436	14.38	198	133	99	67	44	29	20
2254	7389	601	333	341	12.96	214	148	111	76	52	36	27
2256	5104	625	235	307	14.12	254	173	130	89	59	41	29
2258	6333	507	300	253	14.90	263	184	140	99	69	49	36
2260	4598	460	154	278	22.36	323	219	162	107	67	44	32
2262	2644	533	265	301	18.64	288	180	130	88	59	41	30
2264	6333	592	443	295	14.60	221	151	114	81	58	42	32
2266	4433	631	384	325	12.47	231	150	111	77	54	38	28
2268	6966	460	319	371	11.06	231	155	112	73	47	33	24
2270	4718	482	418	278	18.36	255	168	124	86	61	45	33

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.50
MÉDIA	4066.42	469.38	426.00	318.04	14.65	276.42	169.50	119.38	79.62	54.92	39.46	29.31
DESVIO PAD.	1826.08	165.00	168.69	40.25	3.14	37.73	21.32	15.35	10.08	6.44	4.64	3.59
MÉD. MÍN	2240.35	304.39	257.31	277.79	11.52	238.69	148.18	104.03	69.53	48.48	34.82	25.72
MÉD.MÁX	5892.50	634.38	594.69	358.29	17.79	314.15	190.82	134.74	89.70	61.36	44.10	32.89
C.V	0.45	0.35	0.40	0.13	0.21	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA A EMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.50
MÉDIA	4060.00	470.00	430.00	320.00	248.76	158.37	113.67	77.21	54.09	39.30	29.32

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento:	3
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00		0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2480	5067	567	216	220	17.70	300	212	164	117	81	57	42
2482	2038	253	197	251	13.48	437	260	176	109	70	49	36
2484	2006	120	221	326	20.61	534	294	175	87	49	35	27
2486	1667	222	247	253	24.71	457	256	166	102	67	48	36
2488	1449	164	607	282	15.20	450	227	136	81	59	44	33
2490	1739	140	272	373	18.21	490	255	146	72	43	31	24
2492	1739	137	330	299	16.48	499	265	157	85	54	40	30
2494	2006	158	407	256	18.00	458	254	160	94	64	48	36
2496	1256	211	370	253	21.20	454	237	150	95	67	49	37
2498	1391	214	283	253	18.73	464	251	161	99	67	48	36
2500	1739	207	248	253	20.59	461	260	168	102	67	48	36
2502	3056	147	239	306	17.72	445	265	170	93	54	38	29
2504	3179	140	243	352	21.11	438	257	161	83	46	33	25
2506	2963	151	331	295	19.67	424	249	159	89	56	41	31
2508	1565	190	465	337	11.64	412	209	124	71	49	36	27
2510	2454	173	299	306	11.80	425	242	152	86	54	39	30
2512	934	229	289	253	17.07	489	247	156	98	67	49	36
2514	1114	230	159	277	17.18	515	277	176	102	62	42	32
2516	2408	179	169	220	17.19	507	311	210	126	78	54	41
2518	1359	372	155	231	21.57	441	265	187	123	80	54	39
2520	2408	218	242	253	17.35	426	254	169	103	67	48	36
2522	1028	239	189	225	22.02	521	285	188	119	78	55	41
2524	1739	163	157	213	20.99	574	337	220	129	80	56	42
2526	2683	234	79	235	14.81	543	357	253	154	87	52	37
2528	4182	183	95	206	22.86	520	358	260	162	95	59	43
2530	2842	142	105	239	18.11	577	368	249	141	78	49	36

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00		0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2154.27	207.04	254.38	267.96	18.31	471.58	271.23	176.65	104.69	66.12	46.23	34.54
DESVIO PAD.	975.19	90.23	117.69	44.48	3.24	48.98	43.89	37.50	25.18	13.93	7.88	5.50
MÉD. MÍN	1179.08	116.81	136.70	223.48	15.06	422.60	227.34	139.15	79.51	52.19	38.35	29.04
MÉD. MÁX	3129.46	297.26	372.07	312.44	21.55	520.56	315.12	214.16	129.87	80.04	54.11	40.04
C.V	0.45	0.44	0.46	0.17	0.18	0.10	0.16	0.21	0.24	0.21	0.17	0.16

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					BACIA AEMC					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2155.00	210.00	255.00	260.00	432.36	253.73	166.98	101.40	66.44	47.50	35.50

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	4
Bacias:	29

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3376	2871	267	70	296	8.40	350	249	191	128	77	45	29
3378	3474	386	63	530	21.21	267	188	143	94	54	28	15
3380	2895	562	116	811	4.53	200	128	92	57	31	16	10
3382	1869	310	155	530	13.96	287	174	119	70	38	22	15
3384	1869	166	131	400	10.87	391	248	171	97	50	28	20
3386	838	318	122	355	9.34	397	219	150	93	55	34	24
3388	2871	272	98	413	9.23	304	207	153	96	54	30	20
3390	1819	627	68	394	4.35	274	181	139	97	62	37	23
3392	2760	545	96	293	7.31	266	188	148	106	71	46	31
3394	1527	403	126	266	11.27	332	214	160	110	73	48	33
3396	2090	459	46	301	6.15	339	239	187	132	85	51	31
3398	2325	330	46	308	7.06	371	263	203	139	85	48	28
3400	2129	313	52	284	8.34	383	268	206	140	86	50	31
3402	1116	384	94	271	9.51	380	235	174	117	75	48	32
3404	2413	450	91	381	9.82	276	186	141	95	59	35	23
3406	2823	409	90	356	7.84	280	194	148	100	62	38	24
3408	2100	520	68	337	5.12	294	201	156	109	70	42	27
3410	2156	380	89	332	6.28	312	210	158	106	65	40	26
3412	2488	355	79	338	7.40	314	216	164	110	67	40	25
3414	2871	495	100	278	9.77	275	195	154	110	74	48	33
3416	3587	620	42	364	11.19	264	197	159	117	78	47	28
3418	3576	610	37	440	9.93	263	195	157	114	74	43	24
3420	2692	630	49	427	10.15	263	186	147	105	67	39	22
3422	1514	600	55	361	8.81	308	203	157	110	71	42	25
3424	1404	149	95	362	11.22	476	296	202	113	56	31	21
3426	1620	165	98	274	12.46	460	300	214	130	73	43	30
3428	1976	153	116	251	11.49	443	298	217	135	78	47	33
3430	1844	179	131	173	16.11	466	321	243	164	106	71	51
3432	1599	215	43	191	13.48	529	372	285	194	120	72	45

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2245.38	388.69	85.03	355.76	9.74	336.69	226.59	170.28	113.38	69.52	41.69	26.86
DESVIO PAD.	711.06	157.13	31.97	120.46	3.55	79.78	52.29	38.47	26.19	17.85	11.96	8.24
MÉD. MÍN	1534.32	231.56	53.07	235.30	6.20	256.91	174.30	131.80	87.19	51.67	29.73	18.63
MÉD. MÁX	2956.44	545.82	117.00	476.21	13.29	416.47	278.88	208.75	139.57	87.37	53.65	35.10
C.V	0.32	0.40	0.38	0.34	0.36	0.24	0.23	0.23	0.23	0.26	0.29	0.31

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2245.00	390.00	85.00	355.00	303.25	205.70	154.79	103.26	63.14	37.67	24.28

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento:	5
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00		0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20	
3650	1838	127	267	240	9.984	434	282	200	122	73	49	36	
3652	1591	180	129	252	9.535	438	282	201	125	73	47	34	
3654	1335	238	72	316	11.704	441	279	198	121	67	38	25	
3656	1105	171	205	282	11.299	451	263	176	103	61	41	31	
3658	1021	183	112	352	11.053	470	271	179	100	53	31	23	
3660	1341	98	228	392	9.944	486	287	184	92	43	27	21	
3662	1310	159	227	336	9.472	419	246	162	91	51	34	25	
3664	1561	153	339	319	9.868	390	235	158	91	53	36	27	
3666	958	198	179	287	11.224	452	256	171	102	61	41	30	
3668	1953	155	72	269	14.388	469	319	233	143	78	44	30	
3670	2382	87	511	345	27.459	400	262	182	102	52	32	25	
3672	1705	177	720	451	7.571	313	178	114	62	36	26	20	
3674	2848	159	211	405	9.77	318	210	149	87	46	28	20	
3676	1889	152	323	330	13.061	368	228	156	91	52	35	26	
3678	1446	228	102	346	9.787	402	249	173	103	57	33	23	
3680	1123	99	146	290	9.963	568	340	224	119	60	37	29	
3682	1838	164	125	346	9.673	404	258	180	104	55	32	23	
3684	1550	174	242	352	10.118	379	227	152	87	49	32	24	
3686	2421	81	426	373	20.331	407	268	186	103	50	29	22	
3688	1284	96	188	386	9.872	508	300	193	96	44	27	21	
3690	1348	94	200	345	7.538	510	307	201	104	50	31	24	
3692	1284	97	263	268	10.567	523	317	211	116	63	42	32	
3694	1164	142	148	309	12.146	486	288	191	106	57	36	27	
3696	1263	145	189	373	9.933	439	255	166	89	46	29	22	
3698	1536	95	158	514	9.851	469	283	182	88	35	18	15	
3700	1038	88	244	481	9.676	535	295	177	79	32	20	17	

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1543.54	143.85	231.77	344.58	11.38	441.50	268.65	180.73	101.00	53.73	33.65	25.08
DESVIO PAD.	466.85	44.57	142.70	67.02	4.08	62.35	35.84	24.89	16.62	11.48	7.53	5.06
MÉD. MÍN	1076.69	99.28	89.07	277.55	7.30	379.15	232.82	155.84	84.38	42.25	26.12	20.02
MÉD.MÁX	2010.38	188.42	374.47	411.60	15.46	503.85	304.49	205.62	117.62	65.21	41.18	30.14
C.V	0.30	0.31	0.62	0.19	0.36	0.14	0.13	0.14	0.16	0.21	0.22	0.20

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1550.00	145.00	230.00	344.00	446.14526	256.56834	165.57907	89.72327	49.24918	32.77277	24.85651

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento:	6
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
5334	959	75	159	261	20.02	604	375	257	143	72	42	31
5336	1659	189	64	403	9.67	395	264	194	119	62	31	18
5338	1716	134	98	376	10.75	405	269	194	116	59	30	20
5340	1716	161	56	473	9.66	410	276	201	121	59	26	14
5342	2045	140	66	350	14.63	409	286	215	135	72	36	21
5344	1035	210	61	254	11.11	488	315	232	149	87	50	32
5346	1560	206	91	243	19.53	409	278	210	139	84	52	35
5348	1794	209	62	366	10.25	382	261	195	124	68	35	21
5350	1819	121	109	267	20.94	431	297	221	139	78	45	30
5352	1404	141	68	248	11.30	494	335	249	158	89	49	32
5354	1560	219	25	308	14.94	497	357	279	189	110	56	28
5356	1690	188	25	287	14.62	514	374	294	199	116	58	29
5358	1316	80	145	383	9.82	497	317	219	119	54	27	20
5360	1080	144	75	677	9.72	451	269	179	93	37	14	9
5362	1176	158	35	374	22.00	539	360	265	163	83	36	18
5364	2274	60	25	268	18.08	619	475	378	255	139	62	26
5366	3065	88	29	284	28.44	489	381	309	214	124	60	28
5368	1591	154	38	402	10.37	477	329	246	153	78	34	17
5370	2048	99	73	277	9.77	461	329	250	159	86	45	28
5372	2291	85	97	240	12.06	456	332	255	167	94	52	34
5374	2663	112	43	348	8.70	431	320	250	164	89	42	21
5376	2201	135	37	428	13.29	440	318	243	156	81	34	16
5378	315	266	22	439	14.03	752	402	284	176	90	38	16
5380	990	59	59	207	15.31	762	512	370	219	108	54	36
5382	2586	55	61	263	35.28	511	386	304	201	110	53	28
5384	2207	197	33	293	19.22	436	323	255	175	103	54	29

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1721.54	141.73	63.69	335.35	15.13	490.73	336.15	251.85	159.42	85.85	42.88	24.50
DESVIO PAD.	612.36	57.14	35.84	100.00	6.42	97.83	61.84	50.24	37.20	23.25	12.15	7.27
MÉD. MÍN	1109.18	84.59	27.85	235.35	8.71	392.90	274.32	201.60	122.22	62.59	30.73	17.23
MÉD.MÁX	2333.90	198.87	99.53	435.34	21.56	588.57	397.99	302.09	196.63	109.10	55.03	31.77
C.V	0.36	0.40	0.56	0.30	0.42	0.20	0.18	0.20	0.23	0.27	0.28	0.30

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1720.00	140.00	60.00	335.00	445.09587	307.85557	228.88108	142.33916	74.86441	37.16987	22.39194

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	7
Bacias:	27

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
6758	2408	109	348	337	14.46	261	185	144	98	60	36	25
6760	1256	68	263	393	16.06	387	249	179	106	53	28	20
6762	1338	61	348	427	13.48	374	242	175	103	50	25	18
6764	1739	139	180	256	16.51	326	227	177	122	76	48	33
6766	2608	108	173	247	17.21	298	223	181	130	84	53	35
6768	2593	160	138	220	6.90	297	225	185	136	92	60	40
6770	1338	220	167	200	12.75	354	242	190	136	92	63	45
6772	2006	70	194	222	22.10	368	271	216	152	95	58	39
6774	5444	103	136	325	23.16	212	171	145	110	74	46	28
6776	4838	422	536	325	14.39	149	113	95	73	53	39	28
6778	2006	250	487	278	20.61	237	161	126	90	62	44	33
6780	2408	145	167	278	18.31	281	205	164	116	74	46	31
6782	2824	148	174	278	12.59	262	196	158	114	74	47	31
6784	4248	160	126	278	12.69	232	183	154	116	79	50	33
6786	2917	260	145	278	13.30	241	180	147	108	73	47	32
6788	2454	160	285	306	12.57	249	177	140	98	63	41	28
6790	2408	145	388	278	17.87	256	183	145	102	67	44	32
6792	2006	145	473	325	15.17	258	175	133	90	56	37	27
6794	2408	126	330	306	15.24	261	186	146	101	64	40	28
6796	2408	145	203	278	12.04	274	199	159	112	72	45	31
6798	2778	131	276	306	12.33	249	182	145	102	65	41	28
6800	3276	285	291	306	12.78	200	147	120	88	61	41	29
6802	3789	205	285	306	11.14	202	153	125	93	63	42	29
6804	3667	329	126	292	12.42	215	165	137	104	72	47	31
6806	3222	170	247	337	12.25	219	162	130	93	60	38	26
6808	2778	247	307	337	12.12	210	149	118	84	56	37	26
6810	1809	172	488	337	15.21	254	167	125	83	53	35	26

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2702.74	173.44	269.67	298.37	14.65	263.93	189.56	150.33	105.93	68.26	43.63	30.07
DESVIO PAD.	1014.53	82.72	122.45	49.19	3.53	57.78	36.23	26.72	18.13	12.50	8.65	8.65
MÉD. MÍN	1688.21	90.73	147.22	249.18	11.12	206.15	153.32	123.62	87.80	55.76	34.98	21.42
MÉD.MÁX	3717.27	256.16	392.11	347.56	18.19	321.70	225.79	177.05	124.05	80.76	52.28	38.73
C.V	0.38	0.48	0.45	0.16	0.24	0.22	0.19	0.18	0.17	0.18	0.20	0.29

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2700.00	175.00	270.00	300.00	238.95	173.83	138.71	98.69	64.55	41.99	29.40

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento:	8
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
10004	814	169	246	373	4.81	530	233	122	61	39	29	22
10006	758	180	231	361	5.34	531	234	125	64	40	30	23
10008	1132	138	287	356	6.15	535	247	129	61	40	31	24
10010	1819	177	364	412	7.26	403	200	110	54	35	27	21
10012	1637	215	347	401	5.14	386	190	108	57	37	28	21
10014	1161	215	336	363	7.39	425	200	113	63	42	31	24
10016	1359	211	290	357	5.42	425	209	121	65	42	31	24
10018	1819	177	364	519	6.59	386	184	96	42	26	21	16
10020	2925	163	1075	451	5.00	322	164	91	45	32	26	20
10022	1583	418	225	384	4.88	320	173	113	69	43	29	22
10024	2529	363	223	355	4.85	319	185	123	74	46	32	24
10026	1231	509	166	363	5.04	329	181	123	77	47	31	23
10028	1302	468	201	355	5.12	328	178	120	75	47	32	24
10030	2306	334	217	413	6.62	324	180	114	65	38	26	20
10032	2441	251	276	516	3.59	327	170	99	49	28	20	16
10034	2296	238	453	450	4.95	322	164	95	51	33	25	19
10036	2413	251	406	450	4.41	317	165	97	52	33	25	19
10038	2998	292	279	429	4.52	307	172	108	60	36	25	19
10040	1328	663	131	384	5.28	300	173	122	78	47	30	21
10042	1118	211	358	307	6.00	443	213	125	73	51	37	28
10044	854	215	249	296	5.55	493	234	138	80	53	38	29
10046	2569	190	381	323	9.47	380	210	129	72	47	35	27
10048	2229	228	468	347	4.73	349	185	112	65	45	33	25
10050	2569	247	406	465	3.22	312	163	95	50	32	24	18
10052	2140	259	418	579	5.00	303	147	80	40	25	19	15
10054	2305	245	542	533	4.94	299	146	81	41	28	21	16

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1832.12	270.27	343.81	405.46	5.43	373.65	188.46	111.12	60.88	38.92	28.31	21.54
DESVIO PAD.	680.22	122.90	179.47	72.41	1.26	77.13	27.28	15.30	12.05	7.81	5.00	3.72
MÉD. MÍN	1151.89	147.37	164.33	333.05	4.17	296.52	161.18	95.81	48.83	31.12	23.31	17.82
MÉD.MÁX	2512.34	393.17	523.28	477.87	6.70	450.79	215.74	126.42	72.94	46.73	33.31	25.26
C.V	0.37	0.45	0.52	0.18	0.23	0.21	0.14	0.14	0.20	0.20	0.18	0.17

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1830.00	270.00	345.00	405.00	345.93	181.44	109.67	61.70	39.34	28.21	21.28

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	1
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00		0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20	
1540	500	1552	51	380	11.30	306	195	169	126	82	43	67	
1542	3314	500	42	380	-6.50	348	242	190	143	90	49	46	
1544	1996	500	34	380	5.10	423	283	225	158	102	57	43	
1546	500	500	30	380	-2.30	490	322	251	180	110	55	31	
1548	500	500	30	373	12.90	504	349	281	182	113	56	33	
1550	640	532	30	380	5.90	475	315	256	175	111	58	33	
1552	2274	604	34	380	-1.60	360	253	206	151	100	54	43	
1554	2851	662	35	380	-5.60	329	242	192	147	97	54	42	
1556	546	1549	39	380	3.80	321	213	180	136	93	55	38	
1558	4281	1230	36	380	1.20	244	186	161	125	91	62	36	
1560	3663	1356	42	355	5.30	235	175	157	120	88	61	37	
1562	1597	1553	39	380	8.00	254	185	168	127	91	58	40	
1564	6651	500	30	380	8.30	450	298	228	160	106	67	49	
1566	5465	568	30	331	6.20	379	250	226	157	112	67	39	
1568	845	1424	30	341	-1.70	344	236	199	153	112	68	39	
1570	8898	545	30	374	-2.90	343	242	205	152	107	64	37	
1572	2234	500	30	380	-7.40	377	267	221	161	108	59	51	
1574	644	718	41	380	4.90	370	251	206	147	95	46	54	
1576	2834	500	56	380	15.00	345	235	193	130	79	38	91	
1578	786	810	51	380	5.00	334	221	180	126	83	44	47	
1580	4520	500	56	380	-0.60	310	218	173	122	79	45	49	
1582	2384	569	66	380	3.90	311	197	164	115	72	39	55	
1584	4203	500	77	380	7.50	277	192	160	109	65	33	66	
1586	703	790	78	380	9.40	297	194	158	109	65	34	79	
1588	3902	500	79	380	7.20	306	198	159	108	65	37	84	
1590	509	500	32	352	12.90	505	353	274	174	106	61	24	

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2586.15	767.77	43.38	374.08	4.05	355.20	242.68	199.18	141.95	93.13	52.34	48.10
DESVIO PAD.	2171.90	392.34	16.07	13.42	6.15	77.47	50.87	36.90	22.66	15.62	10.70	16.79
MÉD. MÍN	414.25	375.43	27.32	360.65	-2.10	277.73	191.80	162.28	119.29	77.52	41.65	31.31
MÉD.MÁX	4758.05	1160.11	59.45	387.50	10.19	432.67	293.55	236.09	164.61	108.75	63.04	64.88
C.V	0.84	0.51	0.37	0.04	1.52	0.22	0.21	0.19	0.16	0.17	0.20	0.35

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2590.00	770.00	45.00	375.00	304.79	219.34	176.43	130.90	88.03	53.54	30.93

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	2
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2220	5089	100	66	380	100.50	496	296	226	160	75	110	222
2222	5174	187	92	380	106.40	442	254	192	134	63	92	255
2224	5048	299	163	380	91.60	312	191	144	101	61	90	229
2226	5145	353	154	380	74.40	308	187	142	92	49	77	190
2228	5153	417	154	380	60.10	303	182	138	88	49	53	160
2230	5183	398	141	380	60.20	306	188	143	91	46	57	158
2232	5289	365	105	380	58.40	313	204	160	102	50	58	152
2234	5029	543	142	380	36.10	280	176	137	89	47	42	101
2236	5092	613	153	380	30.90	262	169	131	87	47	43	89
2238	5046	396	170	380	30.80	300	179	137	84	44	66	76
2240	9082	234	185	380	29.60	307	186	144	89	44	62	74
2242	4983	364	223	380	40.90	276	171	129	83	47	71	104
2244	6679	339	196	380	95.40	253	174	134	91	52	112	233
2246	5125	331	128	380	138.80	274	198	159	112	77	84	348
2248	5182	378	140	380	185.50	254	188	185	110	87	86	464
2250	5201	73	35	380	325.80	462	411	436	303	185	73	627
2252	4430	45	30	380	489.00	567	499	451	295	210	351	1042
2254	5185	418	166	380	81.90	249	176	133	85	42	115	192
2256	5054	590	131	380	37.50	266	176	140	91	48	50	101
2258	5149	204	57	380	122.30	346	266	211	144	68	41	294
2260	5278	88	38	380	139.20	424	346	285	205	95	35	291
2262	9134	69	54	380	147.00	363	296	255	187	104	55	334
2264	5097	222	68	380	171.60	323	257	214	138	74	92	408
2266	5242	110	42	380	218.30	397	341	297	206	108	85	462
2268	4761	45	30	380	448.80	506	468	399	308	161	60	1045
2270	4741	45	30	380	446.30	492	469	417	301	141	82	1045

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	5445.04	277.92	111.27	380.00	144.90	349.30	255.70	213.02	145.11	79.78	82.33	334.52
DESVIO PAD.	1138.05	172.98	59.76	0.00	135.01	92.88	104.44	104.32	77.30	46.38	59.12	294.67
MÉD. MÍN	4306.99	104.95	51.51	380.00	9.89	256.42	151.26	108.71	67.81	33.40	23.22	39.84
MÉD.MÁX	6583.08	450.90	171.03	380.00	279.91	442.19	360.13	317.34	222.40	126.16	141.45	629.19
C.V	0.21	0.62	0.54	0.00	0.93	0.27	0.41	0.49	0.53	0.58	0.72	0.88

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	5450.00	280.00	110.00	380.00	357.91	241.57	170.49	99.85	52.56	30.02	21.53

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	3
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0,00	0,20	0,30	0,45	0,65	0,90	1,20
2480	5022	855	49	472	12.70	293	236	171	124	73	32	25
2482	5003	579	48	475	14.80	423	252	190	129	71	28	31
2484	4648	203	64	475	28.40	535	277	207	121	55	22	74
2486	4806	288	85	475	17.60	465	231	174	102	48	23	47
2488	500	573	106	475	9.80	450	213	150	88	37	22	30
2490	4902	244	115	475	15.90	480	224	158	92	37	19	35
2492	4776	214	68	475	49.10	502	263	190	120	57	20	124
2494	4661	235	80	475	40.50	455	251	177	111	52	20	106
2496	5050	208	142	475	15.70	442	217	152	87	33	21	38
2498	2215	331	99	475	11.80	459	233	159	92	39	24	34
2500	4782	251	100	475	14.10	456	236	166	97	38	26	32
2502	2746	208	120	475	11.30	431	282	160	87	31	22	29
2504	4817	136	190	475	14.20	411	279	149	82	26	19	27
2506	4887	131	155	475	25.00	413	268	158	88	32	63	46
2508	4729	185	136	475	35.60	403	222	153	88	40	67	82
2510	5019	184	118	475	22.50	416	244	164	95	41	34	64
2512	666	350	106	475	7.50	489	243	156	86	34	25	23
2514	4920	215	74	462	8.60	502	269	204	113	50	26	16
2516	5062	509	37	475	11.50	498	291	222	148	84	37	19
2518	5055	714	41	452	12.10	434	241	207	140	83	43	21
2520	5211	656	55	412	12.70	419	232	182	126	72	35	25
2522	5037	528	42	431	11.70	500	265	221	145	82	38	21
2524	5074	415	37	430	12.50	565	308	240	155	87	38	20
2526	5051	490	30	442	12.70	522	366	244	169	100	40	24
2528	5052	526	30	385	13.30	499	378	243	173	109	48	27
2530	5127	333	40	387	14.50	553	378	240	157	88	36	23

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0,00	0,20	0,30	0,45	0,65	0,90	1,20
MÉDIA	4416.08	367.73	83.35	459.54	17.54	462.03	265.30	185.96	115.85	57.55	31.86	40.13
DESVIO PAD.	1320.58	197.27	43.42	27.82	10.24	57.00	46.63	32.37	28.45	24.27	12.81	27.69
MÉD. MÍN	3095.50	170.46	39.93	431.71	7.31	405.02	218.66	153.59	87.40	33.28	19.05	12.44
MÉD.MÁX	5736.65	565.00	126.76	487.36	27.78	519.03	311.93	218.32	144.31	81.82	44.67	67.82
C.V	0.30	0.54	0.52	0.06	0.58	0.12	0.18	0.17	0.25	0.42	0.40	0.69

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO	0,00	0,20	0,30	0,45	0,65	0,90	1,20
MÉDIA	4415.00	365.00	85.00	460.00	365.91	245.96	174.64	103.33	53.01	27.17	17.53

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	4
Bacias:	29

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Rádias (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3376	4540	171	38	475	10.10	351.10	256.00	200.40	139.10	74.50	28.00	29.10
3378	3329	78	68	475	153.10	329.90	256.80	213.20	157.90	77.00	87.70	205.90
3380	5238	140	153	475	154.50	235.00	181.70	155.80	111.50	121.60	103.90	297.30
3382	4830	133	176	475	79.00	292.20	185.70	149.70	92.20	48.30	99.00	132.80
3384	4774	168	66	467	14.30	379.00	233.80	171.20	114.70	56.50	27.60	16.80
3386	4759	207	65	475	13.60	371.50	210.90	163.60	109.70	54.30	28.00	18.50
3388	4798	230	93	426	8.30	302.60	197.90	148.30	100.50	50.70	29.60	19.80
3390	5060	390	86	354	5.90	263.70	191.90	141.90	102.00	63.10	30.60	29.30
3392	4848	445	125	261	5.20	260.50	183.20	145.30	108.40	72.30	48.30	36.80
3394	5043	281	106	273	8.70	313.60	219.60	159.40	117.00	74.10	44.70	35.40
3396	5157	297	35	373	7.20	330.50	240.90	190.80	136.00	85.20	45.90	25.70
3398	5196	240	32	389	10.00	361.50	263.50	201.90	144.10	88.60	43.90	25.00
3400	5122	242	30	396	9.40	373.60	268.30	206.20	146.40	91.10	44.60	24.90
3402	4928	334	33	415	7.00	361.30	225.80	186.20	132.00	82.00	40.80	25.10
3404	5053	594	42	427	20.10	264.10	178.90	143.60	107.60	67.90	39.90	25.50
3406	4940	454	41	475	12.40	273.10	189.60	152.70	110.30	65.80	32.00	28.70
3408	5186	358	41	475	11.70	285.60	204.00	159.40	114.10	66.70	35.80	22.00
3410	4924	322	42	475	14.50	303.60	208.90	163.90	116.10	66.50	27.90	28.60
3412	5029	284	43	475	20.70	308.20	217.40	166.80	118.20	66.50	25.20	31.10
3414	8320	221	44	475	23.50	270.30	203.10	161.60	119.70	70.50	24.20	35.10
3416	5482	113	68	475	63.40	289.40	221.20	176.60	124.40	62.80	7.50	85.80
3418	5993	104	74	475	62.80	286.30	217.20	174.20	122.70	62.10	9.20	88.20
3420	4740	147	73	475	60.80	287.10	208.50	166.70	113.00	54.40	7.80	90.90
3422	4693	115	66	475	62.50	320.90	225.70	182.80	123.90	59.90	9.70	80.90
3424	3906	84	58	475	46.90	465.90	294.50	213.80	140.40	67.20	22.00	45.20
3426	5120	177	30	467	14.80	448.60	285.70	210.10	148.20	86.50	31.30	21.80
3428	2526	307	31	333	6.50	433.60	293.00	215.40	149.50	93.90	48.10	28.90
3430	5370	49	261	231	8.10	459.00	325.90	237.50	178.20	111.90	55.20	40.70
3432	4934	110	30	233	13.50	518.20	369.10	279.40	205.80	136.10	66.90	41.00

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	4959.93	234.31	70.69	419.66	32.02	335.86	233.06	180.63	127.71	75.10	39.49	55.75
DESVIO PAD.	910.81	130.29	52.09	80.88	40.08	71.52	46.31	32.04	24.50	20.68	24.43	62.04
MÉD. MÍN	4049.13	104.02	18.60	338.78	-8.06	264.33	186.75	148.59	103.21	54.42	15.06	-6.28
MÉD. MÁX	5870.74	364.60	122.78	500.53	72.09	407.38	279.37	212.68	152.21	95.79	63.92	117.79
C.V	0.18	0.56	0.74	0.19	1.25	0.21	0.20	0.18	0.19	0.28	0.62	1.11

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	4960.00	235.00	70.00	420.00	287.40	214.50	167.05	111.11	63.41	33.22	19.13

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	5
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3650	4919	115	62	359	10.40	418	277	206	137	76	36	22
3652	5178	125	47	395	7.70	419	279	208	141	78	36	20
3654	4713	123	50	449	13.90	424	277	197	133	69	34	15
3656	4704	73	65	475	60.10	435	276	205	142	71	25	89
3658	1740	45	30	475	325.00	537	373	302	230	97	5	155
3660	1391	45	30	475	681.50	558	393	310	259	127	6	383
3662	4503	85	80	475	60.70	402	259	190	132	65	33	98
3664	4545	91	72	475	60.40	384	247	188	132	63	17	98
3666	4583	69	61	475	75.90	442	272	208	146	77	21	112
3668	3389	55	39	475	78.70	487	337	259	177	90	16	65
3670	4790	88	78	475	79.80	379	289	187	153	62	16	131
3672	5075	128	134	475	82.00	299	198	152	118	63	56	162
3674	4818	94	107	475	90.60	319	231	172	116	79	75	144
3676	2494	65	47	475	148.20	415	300	240	167	74	59	151
3678	2617	61	43	475	133.30	442	308	246	176	84	28	138
3680	2105	53	35	475	148.20	586	377	279	188	95	8	86
3682	1788	45	30	475	322.10	490	371	301	218	112	5	157
3684	1477	45	30	475	643.40	498	381	322	233	106	-6	386
3686	3368	60	51	475	145.40	419	325	232	176	94	32	166
3688	1314	148	60	475	47.60	499	314	199	115	46	21	48
3690	3539	61	246	466	28.90	483	309	202	122	55	4	25
3692	5134	82	84	374	23.20	490	314	207	138	75	25	24
3694	2451	234	41	459	11.40	461	291	186	124	66	22	21
3696	2578	84	80	475	72.70	443	278	201	128	53	66	90
3698	1575	54	37	475	208.30	518	366	277	199	131	37	152
3700	1287	47	30	475	306.30	590	400	310	269	158	17	156

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3310.58	83.65	64.19	461.62	148.68	455.24	309.32	230.18	164.05	83.29	26.69	118.97
DESVIO PAD.	1446.51	42.59	45.15	32.50	177.39	71.62	52.69	49.08	45.50	26.26	19.85	94.11
MÉD. MÍN	1864.06	41.06	19.04	429.11	-28.71	383.62	256.63	181.10	118.55	57.03	6.85	24.86
MÉD.MÁX	4757.09	126.25	109.34	494.12	326.07	526.86	362.01	279.26	209.55	109.56	46.54	213.08
C.V	0.44	0.51	0.70	0.07	1.19	0.16	0.17	0.21	0.28	0.32	0.74	0.79

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3310.00	85.00	65.00	460.00	437.24	316.41	235.95	141.67	66.02	25.72	13.34

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: **BR-153**

Multicamada Elástica

Segmento:	6
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
5334	1474	90	60	377	13.20	584	391	234	148	65	21	30
5336	1783	90	60	450	65.70	413	290	212	135	59	14	171
5338	1579	90	60	450	65.70	423	296	215	134	57	44	170
5340	1377	90	60	450	92.10	431	306	220	134	54	76	235
5342	1607	90	60	450	89.90	424	314	220	135	60	4	235
5344	2524	90	60	354	14.20	476	315	231	149	82	28	32
5346	2821	90	60	450	17.40	388	296	222	136	70	20	39
5348	1667	90	60	450	90.30	408	287	213	135	58	11	236
5350	2184	90	60	450	31.30	423	320	210	143	66	12	78
5352	2350	90	60	446	24.30	481	322	238	145	71	6	37
5354	2101	90	60	355	23.70	501	338	259	168	93	21	42
5356	1925	90	60	350	25.50	508	359	280	168	98	20	44
5358	1000	90	60	450	48.40	507	340	231	131	49	34	128
5360	1309	90	60	450	466.60	468	301	212	134	84	158	1224
5362	1379	90	60	450	463.70	546	343	243	164	62	102	1224
5364	1397	90	60	450	215.90	588	448	366	192	90	-4	563
5366	1872	90	60	450	40.80	486	329	326	174	79	0	75
5368	1625	90	60	445	14.90	479	327	248	139	61	37	10
5370	2115	90	60	406	13.50	454	326	246	149	70	28	27
5372	2247	90	60	396	15.00	449	332	239	155	73	25	32
5374	1792	90	60	450	37.00	435	325	241	150	61	21	97
5376	1681	90	60	450	35.10	435	325	255	144	59	25	97
5378	1294	90	60	450	39.10	724	373	283	160	53	10	96
5380	1203	90	60	417	37.30	729	488	335	174	79	0	46
5382	2009	90	60	437	29.60	485	423	244	165	84	8	39
5384	2429	90	60	415	22.00	431	315	239	161	90	24	32

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1797.85	90.00	60.00	428.77	78.16	487.44	339.56	248.48	150.79	70.10	28.69	193.82
DESVIO PAD.	453.15	0.00	0.00	34.19	121.46	89.46	89.46	50.34	41.37	16.11	13.91	36.75
MÉD. MÍN	1344.70	90.00	60.00	394.58	-43.30	397.98	250.10	198.14	109.42	53.98	14.78	157.07
MÉD.MÁX	2250.99	90.00	60.00	462.96	199.63	576.91	429.02	298.82	192.16	86.21	42.60	230.56
C.V	0.25	0.00	0.00	0.08	1.55	0.18	0.26	0.20	0.27	0.23	0.48	0.19

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1800.00	90.00	60.00	425.00	477.18	331.06	242.83	143.74	66.83	26.86	14.65

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	7
Bacias:	27

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
6758	500	45	30	380	338.90	504	388	310	244	120	86	804
6760	500	45	30	380	325.80	521	375	306	258	111	113	804
6762	500	45	30	380	174.40	519	375	306	244	105	99	353
6764	530	45	30	380	170.00	495	371	304	214	102	10	358
6766	1483	64	64	380	60.60	352	262	205	145	78	24	150
6768	3169	53	474	241	5.60	299	221	185	140	89	60	34
6770	2677	47	563	246	8.20	348	231	191	147	89	58	33
6772	500	45	30	380	313.80	510	381	299	201	90	6	804
6774	500	45	30	380	351.20	533	433	305	212	90	67	804
6776	1702	105	117	380	170.40	267	213	184	144	64	124	395
6778	1248	80	99	380	127.90	316	231	193	151	58	158	271
6780	958	72	107	380	76.40	354	249	192	122	55	139	134
6782	1719	82	82	380	55.50	301	229	183	128	67	34	139
6784	2989	100	96	380	27.10	253	188	160	119	66	30	74
6786	2447	109	125	380	27.20	258	187	154	110	58	48	71
6788	1370	64	63	380	103.70	328	253	210	150	75	45	239
6790	1571	97	93	380	71.70	307	217	176	122	60	41	177
6792	1700	133	145	380	53.40	287	191	151	101	52	58	136
6794	1863	131	182	380	23.70	281	189	141	95	47	58	54
6796	1920	115	141	380	13.70	287	209	153	103	53	48	31
6798	1476	74	73	380	83.50	310	241	195	136	73	41	200
6800	510	47	30	380	239.80	539	418	360	215	113	7	371
6802	2295	118	128	380	63.00	240	184	150	105	61	31	164
6804	2272	100	100	380	62.50	256	196	162	115	64	22	157
6806	906	45	40	380	168.90	411	335	278	191	105	59	316
6808	500	45	30	380	361.80	532	425	369	244	106	41	804
6810	500	45	30	380	349.60	501	424	360	221	126	41	804

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1418.70	73.93	109.70	369.89	141.79	374.44	282.06	228.89	162.15	80.68	57.23	321.39
DESVIO PAD.	841.82	30.50	126.39	36.44	122.85	109.17	90.41	75.07	52.46	23.56	39.36	282.86
MÉD. MÍN	576.88	43.43	-16.69	333.45	18.94	265.27	191.65	153.83	109.68	57.13	17.87	38.53
MÉD.MÁX	2260.52	104.43	236.10	406.32	264.63	483.61	372.48	303.96	214.61	104.24	96.58	604.26
C.V	0.59	0.41	1.15	0.10	0.87	0.29	0.32	0.33	0.32	0.29	0.69	0.88

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1420.00	75.00	110.00	370.00	397.11	271.35	203.30	127.03	65.87	32.00	19.70

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Multicamada Elástica

Segmento:	8
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
10004	4924	175	164	380	26.10	499	229	143	89	31	34	60
10006	536	246	139	380	20.70	529	233	131	76	28	24	61
10008	501	232	150	380	15.00	538	236	130	73	27	25	45
10010	2016	261	160	380	22.30	397	205	131	80	35	44	62
10012	4880	260	144	380	37.60	371	198	138	94	41	43	95
10014	1699	312	115	380	34.40	418	208	138	91	39	34	93
10016	5178	236	130	380	25.30	405	212	143	91	38	32	66
10018	992	227	380	380	25.50	390	182	103	70	37	46	72
10020	1208	288	380	380	26.70	331	170	103	78	40	56	63
10022	3019	388	169	380	18.30	315	179	122	79	36	38	55
10024	4946	397	116	380	15.90	312	189	134	86	40	30	49
10026	5040	442	105	380	16.70	317	187	134	88	41	27	49
10028	3729	484	108	380	16.70	318	184	131	86	40	28	50
10030	4943	332	98	380	40.60	327	195	144	95	47	44	105
10032	4861	243	196	380	51.60	323	186	131	98	51	69	120
10034	2508	305	203	380	48.20	327	179	122	90	48	54	122
10036	2052	314	240	380	35.60	323	174	115	79	48	57	92
10038	4896	238	242	380	25.90	304	183	123	82	42	53	67
10040	4736	481	102	380	19.50	295	182	132	87	41	34	58
10042	500	504	107	363	10.50	438	206	135	85	39	25	32
10044	500	434	90	353	10.90	484	229	147	90	40	23	33
10046	4929	252	194	362	16.20	360	214	132	80	32	23	36
10048	756	536	161	380	9.70	347	177	117	76	37	26	35
10050	2484	245	380	380	16.80	316	172	108	65	48	35	55
10052	1058	332	380	380	44.10	316	158	110	81	60	68	98
10054	1050	356	380	380	43.10	310	155	109	78	58	69	98

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2843.88	327.69	193.58	377.62	25.92	369.53	193.12	127.07	83.37	40.88	39.91	68.01
DESVIO PAD.	1856.14	100.62	101.29	6.91	12.22	50.63	50.63	18.48	13.57	8.05	7.20	15.87
MÉD. MÍN	987.74	227.08	92.28	370.70	13.70	318.90	142.48	108.59	69.79	32.83	32.71	52.14
MÉD.MÁX	4700.03	428.31	294.87	384.53	38.14	420.16	243.75	145.54	96.94	48.93	47.11	83.88
C.V	0.65	0.31	0.52	0.02	0.47	0.14	0.26	0.15	0.16	0.20	0.18	0.23

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2840.00	330.00	195.00	375.00	333.75	193.27	125.49	72.60	43.26	29.17	22.02

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Espessura Equivalente

Segmento:	1
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90
1540	1303	1312	55	380	29.80	303	208	177	127	76	35	61
1542	963	1251	42	380	24.20	351	240	191	143	88	45	48
1544	3550	500	34	380	18.90	424	291	231	160	99	52	44
1546	817	685	30	380	18.70	480	321	252	177	105	53	43
1548	1142	500	30	380	19.60	500	355	285	181	107	50	39
1550	984	662	30	380	19.40	471	319	259	174	107	53	40
1552	952	1364	33	380	22.60	359	251	207	152	99	51	46
1554	2000	1231	34	380	20.30	327	243	194	149	96	52	44
1556	873	1928	38	380	18.00	315	217	184	136	90	51	40
1558	1314	3439	34	380	12.70	244	184	162	127	91	61	37
1560	1047	4304	35	380	14.00	235	171	157	122	89	60	38
1562	2643	2160	37	380	18.30	251	189	172	130	91	56	41
1564	958	715	31	380	14.60	477	315	241	167	101	52	34
1566	500	2117	30	322	14.50	387	245	224	157	111	65	42
1568	510	2629	30	330	13.20	347	234	199	152	109	65	43
1570	543	2213	30	359	15.10	354	237	202	151	106	62	40
1572	2007	838	34	380	24.20	368	261	216	154	99	49	47
1574	1438	841	43	380	25.90	362	255	209	145	89	40	58
1576	1553	636	59	380	29.60	361	248	202	131	73	29	82
1578	1149	1220	52	380	23.90	328	223	183	126	79	39	50
1580	1245	1215	56	380	23.40	315	219	175	123	76	40	48
1582	664	1720	65	380	26.80	312	192	165	115	70	36	57
1584	1546	1313	78	380	28.20	276	189	160	109	63	30	67
1586	3280	719	89	380	29.30	285	203	163	107	58	27	79
1588	1129	968	85	380	26.90	319	204	163	108	58	28	78
1590	1213	500	31	362	12.00	502	360	280	174	101	56	28

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1358.58	1422.31	44.04	374.35	20.93	355.86	245.15	202.06	142.13	89.60	47.55	48.86
DESVIO PAD.	776.95	941.78	17.96	15.23	5.69	77.99	52.57	37.35	22.28	15.93	11.69	14.09
MÉD. MÍN	581.63	480.53	26.08	359.12	15.23	277.87	192.58	164.71	119.86	73.67	35.87	34.77
MÉD.MÁX	2135.53	2364.08	62.00	389.57	26.62	433.85	297.71	239.40	164.41	105.54	59.24	62.95
C.V	0.57	0.66	0.41	0.04	0.27	0.22	0.21	0.18	0.16	0.18	0.25	0.29

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1360.00	1420.00	45.00	375.00	260.58	181.94	150.93	115.83	79.70	49.19	28.65

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Espeçsura Equivalente

Segmento:	2
Bacias:	26

Es taca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90
2220	2603	60	205	380	108.40	518	300	193	95	40	118	260
2222	1981	88	272	380	108.10	480	266	159	80	36	89	273
2224	3725	177	436	380	92.30	326	193	125	75	49	90	237
2226	1678	491	246	380	75.90	321	180	122	72	39	77	198
2228	1189	701	230	380	61.70	317	176	123	72	39	51	167
2230	1239	794	205	380	62.30	314	180	126	75	38	56	167
2232	1568	855	148	380	62.70	312	191	144	84	41	58	165
2234	3380	855	189	380	38.30	280	173	131	79	40	40	107
2236	4638	855	203	380	32.80	261	168	126	78	40	41	93
2238	1627	855	208	380	32.20	305	175	130	76	40	67	80
2240	1357	855	193	380	31.70	318	181	133	77	40	66	80
2242	7684	218	523	380	41.60	275	173	124	73	42	71	107
2244	7243	223	543	380	96.90	252	170	118	73	44	113	241
2246	7492	173	421	380	141.80	264	188	133	81	58	83	367
2248	6317	207	481	380	188.30	249	177	148	78	66	84	486
2250	3853	53	143	380	383.80	429	344	280	139	76	72	943
2252	939	45	30	380	707.70	902	650	434	191	98	337	1581
2254	9500	240	436	380	83.60	238	171	121	71	35	113	200
2256	5099	855	170	380	40.10	262	174	135	83	42	48	107
2258	8959	93	207	380	134.80	314	237	173	97	43	39	351
2260	4703	53	129	380	168.50	408	322	220	119	46	34	426
2262	5673	68	164	380	173.20	364	281	198	107	47	46	442
2264	8238	113	269	380	182.70	288	222	161	89	45	90	468
2266	5542	72	180	380	248.20	351	279	200	107	50	85	625
2268	763	45	30	380	665.40	824	625	383	188	64	45	1564
2270	602	45	30	380	655.40	807	631	393	175	51	58	1548

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	4138.15	349.58	241.96	380.00	177.63	383.69	262.49	182.03	97.54	47.99	79.64	433.90
DESVIO PAD.	2818.47	339.70	145.46	0.00	200.08	183.64	146.97	90.33	36.07	14.18	57.67	459.98
MÉD. MÍN	1319.68	9.87	96.50	380.00	-22.45	200.05	115.53	91.69	61.46	33.81	21.97	-26.08
MÉD.MÁX	6956.63	689.28	387.42	380.00	377.71	567.33	409.46	272.36	133.61	62.17	137.31	893.88
C.V	0.68	0.97	0.60	0.00	1.13	0.48	0.56	0.50	0.37	0.30	0.72	1.06

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	4140.00	350.00	240.00	380.00	294.44	185.51	127.48	77.67	47.74	32.22	23.78

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Espessura Equivalente

Segmento:	3
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90
2480	9499	855	49	475	15.10	287	236	170	120	69	32	40
2482	2452	855	50	475	18.80	429	256	190	121	62	23	44
2484	4930	45	460	475	35.60	541	285	200	97	35	25	95
2486	1705	450	86	475	20.80	478	236	169	88	38	28	59
2488	500	855	104	475	11.00	450	217	151	82	33	26	34
2490	500	680	100	475	12.90	501	226	154	81	33	25	40
2492	4739	62	258	475	55.90	513	274	177	86	30	19	147
2494	5417	71	267	475	44.90	464	262	168	83	31	20	122
2496	500	681	114	475	12.80	463	217	147	78	32	27	41
2498	500	773	94	475	12.30	470	233	156	84	35	30	40
2500	500	774	89	475	13.80	474	237	161	86	34	34	40
2502	4366	152	138	475	9.80	434	289	159	80	30	27	31
2504	4095	155	163	475	10.20	422	287	147	75	28	24	25
2506	3871	92	293	475	26.10	426	275	148	69	27	71	47
2508	4099	101	354	475	37.50	413	228	139	65	30	73	86
2510	5430	86	283	475	24.00	425	253	159	76	32	39	69
2512	500	604	98	475	7.80	491	244	157	82	34	31	26
2514	500	812	62	475	8.80	516	268	200	106	48	37	26
2516	1650	855	38	475	14.00	506	296	224	142	75	32	35
2518	4915	855	39	475	14.10	435	246	209	137	77	39	30
2520	6001	855	46	475	14.30	417	235	185	125	69	33	27
2522	2650	855	38	475	13.00	503	269	223	142	75	35	29
2524	1251	855	34	475	13.30	573	314	242	151	79	33	30
2526	4357	428	30	475	14.30	528	372	246	162	89	32	34
2528	6063	418	30	418	14.70	502	382	243	166	100	41	34
2530	3999	370	33	475	14.10	559	384	242	153	83	34	26

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3268.81	522.85	128.85	472.81	18.84	469.90	269.99	183.19	105.24	50.33	33.37	48.21
DESVIO PAD.	2362.30	326.74	116.89	11.18	11.92	58.73	47.50	34.88	32.04	23.43	12.67	31.23
MÉD. MÍN	906.51	196.11	11.96	461.63	6.92	411.16	222.48	148.31	73.20	26.91	20.70	16.98
MÉD.MÁX	5631.11	849.59	245.73	483.99	30.76	528.63	317.49	218.06	137.27	73.76	46.04	79.44
C.V	0.72	0.62	0.91	0.02	0.63	0.12	0.18	0.19	0.30	0.47	0.38	0.65

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3270.00	522.00	128.00	472.00	302.51	193.72	136.06	82.56	45.83	26.43	18.12

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Espessura Equivalente

Segmento:	4
Bacias:	29

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3376	7498	78	78	475	19.60	347	260	201	132	64	24	53
3378	2030	115	134	475	122.40	332	244	186	92	32	79	303
3380	2089	218	321	475	132.60	257	180	124	65	68	93	333
3382	1595	252	215	475	64.90	314	188	125	64	24	92	150
3384	804	521	54	475	11.50	404	237	166	103	49	31	34
3386	726	613	59	475	12.20	397	214	159	99	47	30	34
3388	1329	727	63	475	7.30	316	199	145	96	49	31	22
3390	2555	855	82	362	8.60	270	195	143	100	59	29	30
3392	1981	855	272	242	7.50	270	184	142	103	68	48	43
3394	1256	855	122	263	11.30	328	221	157	111	69	43	40
3396	1637	720	30	448	6.60	340	240	187	131	82	45	30
3398	2782	365	30	475	8.30	369	267	198	135	80	38	27
3400	1479	534	30	437	9.20	387	270	201	137	83	41	33
3402	1916	595	30	475	8.70	372	230	185	128	78	39	30
3404	3812	855	40	475	9.30	268	183	145	107	66	38	26
3406	2072	855	45	475	11.40	282	191	151	106	61	30	37
3408	1596	821	45	475	8.80	297	204	155	108	61	35	34
3410	3276	416	47	475	14.10	312	215	163	109	59	26	42
3412	1444	658	46	475	16.40	321	217	161	108	59	24	47
3414	1864	771	46	475	21.60	283	201	153	107	61	22	54
3416	6031	123	132	475	51.60	281	216	162	103	45	3	122
3418	5993	127	135	475	50.50	280	213	160	100	43	3	122
3420	6061	142	147	475	49.60	276	202	153	92	40	5	122
3422	5074	119	125	475	47.80	315	222	170	101	42	6	119
3424	2595	90	80	475	32.90	479	307	212	117	45	16	83
3426	1306	302	30	475	15.50	474	299	213	140	76	28	42
3428	738	715	30	367	8.20	445	291	212	146	91	46	33
3430	698	769	30	274	9.60	471	320	229	172	111	60	43
3432	9500	55	30	304	12.60	513	371	283	207	134	65	41

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2818.52	486.93	87.17	436.97	27.26	344.68	233.76	173.84	114.31	63.68	36.87	73.25
DESVIO PAD.	2238.26	300.06	74.99	74.05	32.35	73.40	47.13	34.47	28.73	23.11	23.34	76.62
MÉD. MÍN	580.26	186.87	12.18	362.92	-5.09	271.28	186.64	139.38	85.59	40.57	13.53	-3.37
MÉD.MÁX	5056.78	786.99	162.16	511.01	59.61	418.07	280.89	208.31	143.04	86.80	60.21	149.87
C.V	0.79	0.62	0.86	0.17	1.19	0.21	0.20	0.20	0.25	0.36	0.63	1.05

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2820.00	490.00	90.00	435.00	250.50	171.97	130.50	87.82	53.79	31.67	19.93

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK

Espeçura Equivalente

Rodovia: BR-153

Segmento:	5
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3650	1658	346	31	475	11.30	432	282	204	132	74	41	24	
3652	3501	187	35	475	11.10	428	288	209	132	71	35	29	
3654	975	351	40	475	13.50	448	282	192	119	60	36	35	
3656	2077	94	87	475	35.60	460	294	201	107	38	9	128	
3658	500	45	30	475	101.30	638	446	316	176	52	1	439	
3660	500	45	30	475	175.80	642	448	316	197	71	20	975	
3662	1933	111	103	475	39.30	428	277	185	96	32	21	132	
3664	2414	120	107	475	39.90	400	257	177	95	33	8	136	
3666	1785	94	86	475	45.80	469	291	199	107	36	4	161	
3668	1803	62	65	475	31.20	507	350	250	142	56	2	148	
3670	1498	109	108	475	59.50	420	309	182	101	38	2	165	
3672	1718	194	181	475	66.20	329	210	137	75	30	46	184	
3674	2066	128	144	475	60.20	348	246	163	84	38	60	175	
3676	1284	81	86	475	77.70	434	301	207	106	32	53	273	
3678	1215	71	74	475	69.90	470	319	223	115	36	18	263	
3680	758	49	49	475	50.40	640	415	279	140	43	-1	213	
3682	500	45	30	475	102.50	613	446	316	169	56	-1	439	
3684	500	45	30	475	184.50	610	457	331	179	58	1	975	
3686	1090	70	74	475	76.60	473	350	222	116	35	11	259	
3688	1487	113	86	475	18.10	505	323	198	98	33	26	65	
3690	1033	215	51	475	16.70	506	318	198	108	50	16	39	
3692	593	456	32	475	18.20	517	319	205	130	70	27	25	
3694	649	420	41	475	13.40	483	294	183	116	58	23	34	
3696	1321	105	113	475	42.60	462	285	183	89	27	72	128	
3698	584	49	53	475	93.30	589	404	267	134	55	40	310	
3700	500	45	35	475	122.70	658	441	302	188	80	35	452	

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1305.46	140.38	69.27	475.00	60.67	496.47	332.79	224.84	125.05	48.45	23.23	238.68
DESVIO PAD.	740.27	120.90	39.65	0.00	47.12	92.51	71.09	54.26	33.13	15.93	20.27	251.39
MÉD. MÍN	565.19	19.49	29.62	475.00	13.55	403.96	261.70	170.59	91.92	32.51	2.96	-12.72
MÉD.MÁX	2045.73	261.28	108.92	475.00	107.78	588.99	403.88	279.10	158.17	64.38	43.50	490.07
C.V	0.57	0.86	0.57	0.00	0.78	0.19	0.21	0.24	0.26	0.33	0.87	1.05

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1305.00	140.00	70.00	475.00	498.13	305.80	203.35	106.22	45.19	20.07	13.94

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK

Rodovia: BR-153

Espessura Equivalente

Segmento:	6
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
5334	1630	90	60	60	423	13.20	584	391	234	148	65	21	30
5336	1000	90	75	450	65.70	413	290	212	135	59	14	171	
5338	1000	90	73	450	65.70	423	296	215	134	57	44	170	
5340	1000	90	68	450	92.10	431	306	220	134	54	76	235	
5342	1000	90	60	450	89.90	424	314	220	135	60	4	235	
5344	3092	90	60	400	14.20	476	315	231	149	82	28	32	
5346	2638	90	64	450	17.40	388	296	222	136	70	20	39	
5348	1000	90	64	450	90.30	408	287	213	135	58	11	236	
5350	1656	90	66	450	31.30	423	320	210	143	66	12	78	
5352	1998	90	60	450	24.30	481	322	238	145	71	6	37	
5354	2405	90	60	404	23.70	501	338	259	168	93	21	42	
5356	2147	90	60	395	25.50	508	359	280	168	98	20	44	
5358	1000	90	66	450	48.40	507	340	231	131	49	34	128	
5360	1000	90	60	450	466.60	468	301	212	134	84	158	1224	
5362	1000	90	60	450	463.70	546	343	243	164	62	102	1224	
5364	1000	90	60	450	215.90	588	448	366	192	90	-4	563	
5366	1304	90	60	450	40.80	486	329	326	174	79	0	75	
5368	1668	90	62	450	14.90	479	327	248	139	61	37	10	
5370	2399	90	60	450	13.50	454	326	246	149	70	28	27	
5372	2589	90	60	450	15.00	449	332	239	155	73	25	32	
5374	1230	90	60	450	37.00	435	325	241	150	61	21	97	
5376	1016	90	60	450	35.10	435	325	255	144	59	25	97	
5378	1000	90	60	450	39.10	724	373	283	160	53	10	96	
5380	1000	90	60	450	37.30	729	488	335	174	79	0	46	
5382	1679	90	60	450	29.60	485	423	244	165	84	8	39	
5384	2620	90	60	450	22.00	431	315	239	161	90	24	32	

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1579.65	90.00	62.23	443.15	78.16	487.44	339.56	248.48	150.79	70.10	28.69	193.82
DESVIO PAD.	681.05	0.00	4.18	16.91	121.46	89.46	89.46	50.34	41.37	16.11	13.91	36.75
MÉD. MÍN	898.60	90.00	58.05	426.24	-43.30	397.98	250.10	198.14	109.42	53.98	14.78	157.07
MÉD. MÁX	2260.71	90.00	66.41	460.07	199.63	576.91	429.02	298.82	192.16	86.21	42.60	230.56
C.V	0.43	0.00	0.07	0.04	1.55	0.18	0.26	0.20	0.27	0.23	0.48	0.19

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1580.00	90.00	60.00	440.00	494.68	334.32	239.81	136.50	59.71	22.73	13.28

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK
Rodovia: BR-153

Espessura Equivalente

Segmento:	7
Bacias:	27

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
6758	500	45	44	380	651.00	503	386	288	191	84	126	1605	
6760	500	45	44	380	651.40	521	374	287	202	79	160	1604	
6762	500	45	52	380	308.70	513	365	275	179	67	133	758	
6764	500	45	49	380	306.50	497	367	279	165	67	22	756	
6766	1236	84	142	380	65.10	353	258	187	110	48	16	199	
6768	1816	855	51	267	5.50	302	219	183	139	90	62	34	
6770	1189	855	46	282	7.30	355	230	189	145	90	59	32	
6772	500	45	42	380	650.50	512	382	285	177	74	24	1603	
6774	500	45	45	380	651.80	531	430	283	169	71	101	1605	
6776	1834	197	351	380	144.60	230	175	136	91	39	117	453	
6778	899	123	247	380	111.90	320	217	157	95	36	153	324	
6780	926	110	218	380	69.90	342	232	166	91	43	153	168	
6782	1860	110	176	380	55.10	290	220	166	101	50	28	174	
6784	4266	116	150	380	29.20	243	186	156	111	56	25	87	
6786	3360	134	190	380	26.90	249	185	150	101	49	45	83	
6788	1245	98	171	380	104.10	312	230	172	101	45	35	319	
6790	1503	133	233	380	65.00	299	205	151	89	40	36	212	
6792	1520	178	320	380	43.50	287	187	135	79	37	54	151	
6794	2053	167	278	380	20.30	280	191	137	84	40	56	60	
6796	2650	126	188	380	17.50	281	211	154	98	47	50	39	
6798	1511	109	184	380	81.30	292	224	164	99	44	34	257	
6800	521	45	77	380	309.30	504	376	288	144	61	15	784	
6802	2861	171	266	380	55.00	223	173	134	88	44	26	184	
6804	2732	146	223	380	58.50	239	183	144	93	49	16	182	
6806	797	65	116	380	195.10	380	289	212	119	49	49	550	
6808	500	45	46	380	651.10	528	419	334	188	73	67	1606	
6810	500	45	45	380	650.50	499	420	329	174	87	67	1605	

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1436.26	154.89	147.93	372.19	221.73	366.09	271.57	205.19	126.82	57.67	64.04	571.64	
DESVIO PAD.	1013.66	207.41	96.99	28.23	249.37	111.50	90.53	67.46	39.65	17.65	46.45	602.08	
MÉD. MÍN	422.59	-52.53	50.94	343.95	-27.64	254.59	181.04	137.73	87.17	40.03	17.58	-30.45	
MÉD. MÁX	2449.92	362.30	244.91	400.42	471.09	477.59	362.11	272.66	166.47	75.32	110.49	1173.72	
C.V	0.71	1.34	0.66	0.08	1.12	0.30	0.33	0.33	0.31	0.31	0.73	1.05	

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLETO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1440.00	155.00	150.00	370.00	319.16	209.54	155.60	99.13	56.11	32.18	21.86

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

PITRABACK

Espeçura Equivalente

Rodovia: BR-153

Segmento:	8
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro (%)	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO			0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90
10004	955	191	180	380	20.50	535.30	238.00	128.10	67.60	29.20	40.20	61.10
10006	803	225	160	380	20.20	533.70	236.30	129.60	70.50	27.90	27.40	61.30
10008	835	220	164	380	14.30	539.10	239.80	129.80	70.00	27.70	27.40	44.90
10010	2273	208	285	380	23.00	404.00	206.60	122.20	68.90	34.20	49.00	65.20
10012	2117	209	297	380	37.60	394.40	201.90	119.20	68.60	35.10	49.20	103.90
10014	1170	283	172	380	35.90	432.50	208.00	127.30	73.60	34.70	39.80	101.30
10016	1417	281	168	380	24.70	429.70	216.00	129.60	72.40	34.40	39.90	73.70
10018	945	269	380	380	25.20	393.50	179.70	104.50	75.90	38.10	43.40	68.80
10020	1057	380	380	380	27.10	333.30	167.30	105.00	82.60	40.60	54.60	61.10
10022	1841	491	223	380	19.40	322.20	177.40	116.20	71.80	34.10	41.40	59.20
10024	2238	570	152	380	17.90	320.10	189.30	128.20	77.40	36.70	35.60	57.40
10026	2167	570	150	380	18.40	327.80	189.00	128.30	77.20	35.40	30.00	57.30
10028	2417	565	157	380	18.70	325.50	185.50	126.70	76.30	35.20	30.20	57.70
10030	2020	418	166	380	45.10	337.80	189.90	126.90	74.90	39.20	52.50	122.20
10032	2139	223	380	380	51.20	346.70	187.10	113.10	77.00	48.80	75.80	124.80
10034	2002	263	380	380	48.30	338.00	177.30	109.20	76.70	45.80	57.60	126.50
10036	1962	305	380	380	35.60	328.60	171.60	106.90	72.60	46.90	58.80	93.40
10038	3713	258	380	380	26.30	312.70	183.10	114.20	72.90	43.80	58.10	68.50
10040	3316	570	155	380	22.60	300.10	183.00	126.80	76.90	36.00	36.60	67.30
10042	507	570	132	368	11.20	442.70	209.90	135.10	77.40	34.70	26.20	33.50
10044	500	566	101	366	10.90	484.90	231.80	149.10	85.60	37.80	24.60	32.10
10046	1896	377	184	367	13.40	375.60	216.80	126.70	74.00	32.60	24.70	35.10
10048	1053	570	205	380	10.50	348.10	180.00	116.80	70.10	33.70	26.90	37.90
10050	1820	371	380	380	16.90	317.30	167.60	104.40	69.30	52.40	35.20	52.90
10052	792	439	380	380	44.20	322.10	156.20	112.40	84.90	60.40	66.60	95.30
10054	569	426	380	380	43.50	328.60	155.50	111.00	79.60	56.90	66.20	95.10

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1635.54	377.62	248.88	378.50	26.25	379.78	194.02	121.05	74.80	38.93	43.00	71.44
DESVIO PAD.	848.35	132.96	109.80	4.58	13.05	50.36	19.76	11.51	4.54	7.99	15.14	29.71
MÉD. MÍN	787.19	244.65	139.08	373.92	13.21	329.42	174.26	109.54	70.26	30.94	27.85	41.73
MÉD.MÁX	2483.89	510.58	358.69	383.08	39.30	430.14	213.79	132.56	79.33	46.93	58.14	101.15
C.V	0.52	0.35	0.44	0.01	0.50	0.13	0.10	0.10	0.06	0.21	0.35	0.42

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1635.00	380.00	250.00	380.00	325.12	177.46	114.87	69.52	43.80	30.09	22.42

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	1
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
1540	518	2607	54	99	4.00	299	199	176	140	95	55	28
1542	959	766	28	829	6.00	349	232	193	147	99	58	30
1544	1132	471	30	631	6.00	430	286	228	166	106	59	31
1546	1133	390	27	629	5.00	477	317	250	180	114	62	32
1548	3066	217	28	499	11.00	495	364	277	192	120	67	36
1550	1381	377	28	555	8.00	468	319	251	181	115	64	34
1552	1335	670	30	601	4.00	358	248	205	156	105	62	34
1554	2354	639	51	372	6.00	325	236	194	146	99	62	39
1556	1354	960	156	117	6.00	312	218	181	137	92	58	35
1558	2497	1416	195	114	5.00	243	185	160	127	92	61	39
1560	2578	1284	104	293	8.00	235	177	152	122	90	62	44
1562	1538	1538	36	472	8.00	251	186	163	133	98	65	40
1564	1243	347	41	449	4.00	477	313	239	165	100	56	32
1566	613	846	59	288	12.00	391	254	213	162	110	70	46
1568	1573	671	94	252	8.00	344	241	198	150	104	70	49
1570	1090	776	73	284	8.00	351	240	199	151	103	67	45
1572	1141	696	28	623	6.00	366	251	209	160	108	64	35
1574	1794	601	31	566	8.00	354	251	206	156	105	62	35
1576	1558	627	35	567	8.00	351	244	199	149	99	58	32
1578	2524	560	217	113	10.00	323	227	178	129	86	54	33
1580	2152	652	193	130	9.00	312	217	173	126	84	53	33
1582	377	2412	127	92	7.00	310	185	163	127	85	51	27
1584	704	2280	70	119	5.00	270	183	159	123	82	46	23
1586	1458	1320	117	108	4.00	274	195	164	122	78	43	23
1588	569	1455	157	92	3.00	313	195	164	120	76	42	21
1590	4427	140	41	476	7.00	495	375	275	175	100	54	30

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1579.54	950.69	78.85	360.38	6.77	352.81	243.77	198.81	147.77	97.88	58.65	34.08
DESVIO PAD	912.44	663.51	60.31	224.82	2.27	78.22	55.33	35.99	20.76	11.49	7.47	7.03
MÉD. MÍN	667.10	287.18	18.54	135.56	4.50	274.59	188.44	162.81	127.01	86.39	51.19	27.05
MÉD.MÁX	2491.98	1614.21	139.15	585.21	9.04	431.02	299.10	234.80	168.53	109.37	66.12	41.10
C.V	0.58	0.70	0.76	0.62	0.34	0.22	0.23	0.18	0.14	0.12	0.13	0.21

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1580.00	950.00	80.00	360.00	262.47	174.38	137.72	100.78	67.18	41.73	26.17

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	2
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2220	452	457	326	70	5.00	480	235	157	88	43	17	8
2222	1646	385	734	179	7.00	446	229	114	61	38	24	16
2224	596	214	740	179	6.00	308	169	95	68	36	24	7
2226	8858	474	531	207	6.00	308	154	115	69	49	18	15
2228	9744	236	195	135	15.00	318	134	128	88	42	23	19
2230	1935	214	763	113	7.00	304	169	110	80	52	32	21
2232	1553	151	428	286	8.00	302	158	159	92	57	29	17
2234	1755	363	571	185	3.00	281	152	135	86	61	31	17
2236	1144	471	709	144	5.00	262	151	132	81	56	33	19
2238	1201	423	908	142	5.00	304	155	144	79	53	26	22
2240	3281	484	359	176	14.00	304	189	130	77	45	32	26
2242	1637	362	791	105	6.00	273	157	125	71	41	26	19
2244	1584	742	710	142	6.00	234	147	92	66	38	21	15
2246	508	748	727	91	6.00	230	147	85	67	33	26	6
2248	2131	638	391	179	9.00	194	150	50	68	30	22	6
2250	2918	610	583	183	4.00	194	140	85	61	29	24	7
2252	2747	683	560	170	2.00	184	140	105	80	35	6	6
2254	6588	427	643	305	9.00	216	132	133	79	64	16	16
2256	12320	432	171	108	6.00	259	152	147	85	72	36	16
2258	3501	521	391	163	10.00	260	185	148	90	54	42	15
2260	2344	857	439	166	12.00	297	279	136	90	54	39	16
2262	2749	858	303	120	8.00	269	223	126	90	45	29	17
2264	8053	356	238	147	9.00	228	132	119	81	44	17	13
2266	3537	857	526	147	7.00	228	152	114	71	43	25	13
2268	3920	868	327	167	6.00	228	156	126	72	41	24	10
2270	3941	855	351	121	5.00	262	158	112	80	51	19	11

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3486.27	526.38	515.96	158.85	7.15	275.88	167.12	120.08	77.69	46.38	25.42	14.35
DESVIO PAD	3086.91	224.31	204.61	51.98	3.06	67.86	36.15	24.72	9.44	10.66	7.80	5.40
MÉD. MÍN	399.36	302.07	311.35	106.87	4.10	208.03	130.96	95.35	68.25	35.72	17.62	8.95
MÉD.MÁX	6573.18	750.70	720.57	210.83	10.21	343.74	203.27	144.80	87.14	57.05	33.23	19.74
C.V	0.89	0.43	0.40	0.33	0.43	0.25	0.22	0.21	0.12	0.23	0.31	0.38

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3500.00	525.00	515.00	190.00	280.14	193.18	152.28	116.30	88.08	66.10	49.55

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	3
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2480	8053	446	197	174	14.00	290	223	173	120	77	49	32
2482	1207	331	180	326	12.00	441	256	175	110	70	48	35
2484	172	853	65	755	5.00	552	257	187	107	52	25	15
2486	200	900	323	79	5.00	488	219	160	98	53	24	12
2488	450	419	327	141	6.00	456	213	142	85	47	26	15
2490	436	304	374	126	6.00	508	222	143	84	47	25	14
2492	473	319	319	108	3.00	516	238	154	88	47	23	13
2494	826	311	262	142	3.00	466	237	151	84	44	23	13
2496	391	448	294	143	7.00	465	213	141	81	44	23	13
2498	519	377	272	149	4.00	473	228	149	86	47	25	15
2500	681	313	313	130	5.00	476	234	152	88	49	26	15
2502	4034	84	311	424	8.00	437	280	165	78	39	23	16
2504	4065	83	297	548	14.00	429	274	159	74	36	21	15
2506	3704	110	365	207	10.00	421	260	152	73	34	17	10
2508	944	339	382	117	2.00	411	206	131	74	38	18	9
2510	1818	258	227	168	3.00	424	242	150	80	40	20	12
2512	932	244	235	198	5.00	491	246	150	82	44	25	15
2514	191	1018	56	783	5.00	519	259	195	117	58	27	15
2516	577	436	114	308	12.00	518	298	212	131	79	52	37
2518	675	461	208	267	19.00	447	253	184	124	84	59	44
2520	713	381	252	296	12.00	441	235	164	110	74	53	39
2522	139	2011	45	573	6.00	525	254	211	146	84	44	24
2524	158	1080	57	425	8.00	592	302	235	149	82	45	28
2526	2865	157	105	291	13.00	538	364	246	146	86	55	39
2528	3501	157	105	264	20.00	522	368	256	157	94	61	44
2530	2836	114	115	320	15.00	573	380	244	136	77	49	35

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1560.00	459.77	223.08	287.00	8.54	477.65	260.04	176.19	104.15	58.69	34.08	22.08
DESVIO PAD	1862.86	418.63	108.77	193.39	5.06	61.88	47.53	36.40	26.89	18.89	14.62	11.74
MÉD. MÍN	-302.86	41.14	114.30	93.61	3.48	415.77	212.51	139.79	77.26	39.81	19.46	10.33
MÉD.MÁX	3422.86	878.40	331.85	480.39	13.60	539.54	307.57	212.59	131.05	77.58	48.69	33.82
C.V	1.19	0.91	0.49	0.67	0.59	0.13	0.18	0.21	0.26	0.32	0.43	0.53

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1560.00	460.00	225.00	290.00	344.76	203.94	142.71	93.36	60.91	41.64	30.39

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	4
Bacias:	29

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3376	1964	263	28	1051	6.00	351	250	190	132	83	46	23
3378	4010	328	177	133	21.00	258	194	145	92	50	24	12
3380	3094	549	324	176	3.00	197	132	93	56	29	13	6
3382	834	570	414	152	10.00	298	159	114	74	43	24	13
3384	927	304	258	130	5.00	402	236	164	102	60	32	19
3386	549	505	261	122	6.00	398	209	154	102	60	34	19
3388	1483	322	364	177	4.00	318	200	141	91	56	34	21
3390	1889	403	361	204	3.00	277	184	136	94	62	41	27
3392	1942	438	457	213	4.00	270	183	140	103	74	53	38
3394	1640	260	541	182	10.00	333	219	159	110	76	53	37
3396	2014	314	73	369	7.00	338	243	186	129	82	52	34
3398	1688	285	34	641	6.00	372	262	199	138	87	49	27
3400	1542	279	65	365	8.00	388	269	202	137	86	53	34
3402	642	580	39	600	5.00	380	222	176	128	82	47	27
3404	1271	596	415	162	5.00	281	177	137	100	69	46	30
3406	1342	671	236	154	6.00	284	185	146	105	69	43	27
3408	1817	500	245	124	4.00	294	202	155	108	68	40	23
3410	1334	523	246	124	4.00	315	205	157	109	69	41	24
3412	1656	408	333	109	6.00	317	213	160	110	70	41	24
3414	2672	422	324	139	10.00	273	199	155	111	74	48	31
3416	2398	588	264	122	12.00	268	196	157	115	78	50	31
3418	1937	710	214	120	10.00	270	191	154	113	74	45	27
3420	1271	859	345	103	8.00	271	177	142	105	69	42	24
3422	817	1114	152	93	6.00	310	194	159	115	71	39	20
3424	790	226	47	715	7.00	481	286	199	122	67	34	19
3426	834	239	92	341	9.00	474	289	204	130	79	50	34
3428	1211	210	122	284	9.00	446	294	211	137	87	58	41
3430	1144	230	104	232	15.00	472	318	236	161	106	71	51
3432	1087	207	80	200	14.00	532	368	277	191	126	84	60

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1579.28	444.93	228.10	259.90	7.69	340.28	222.62	167.17	114.48	72.62	44.38	27.69
DESVIO PAD	765.38	213.76	143.37	223.88	4.02	81.08	51.80	37.09	25.41	17.97	13.68	11.11
MÉD. MÍN	813.90	231.17	84.73	36.01	3.67	259.19	170.82	130.08	89.07	54.65	30.70	16.58
MÉD.MÁX	2344.65	658.69	371.48	483.78	11.71	421.36	274.42	204.26	139.89	90.59	58.06	38.80
C.V	0.48	0.48	0.63	0.86	0.52	0.24	0.23	0.22	0.22	0.25	0.31	0.40

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1580.00	445.00	230.00	260.00	294.14	187.96	141.13	99.36	68.90	48.39	35.11

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	5
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3650	1144	219	85	383	8.00	437	281	198	125	74	46	31
3652	1025	253	41	594	7.00	439	280	203	132	77	42	24
3654	1201	171	163	344	12.00	442	281	190	114	70	46	33
3656	826	238	46	851	7.00	450	264	182	111	60	30	16
3658	727	225	53	810	8.00	473	268	180	107	56	28	15
3660	1195	97	160	744	6.00	483	298	179	83	37	20	14
3662	1054	269	229	99	5.00	414	250	169	98	52	23	11
3664	989	294	303	128	6.00	391	230	158	98	57	31	17
3666	620	301	40	984	5.00	452	249	177	113	63	31	15
3668	1009	223	26	811	9.00	477	310	228	152	91	48	24
3670	1743	127	189	467	25.00	402	270	179	99	54	34	24
3672	1530	270	285	284	4.00	306	184	119	66	35	19	11
3674	2391	263	195	121	6.00	316	217	150	86	43	18	8
3676	1207	382	163	106	7.00	364	227	162	98	53	24	11
3678	878	427	193	72	6.00	403	242	174	107	55	25	11
3680	771	141	42	923	4.00	569	339	222	123	60	27	14
3682	1549	174	43	1296	4.00	397	264	182	108	57	26	12
3684	976	347	310	96	5.00	379	223	155	95	52	26	13
3686	2088	93	189	621	16.00	402	280	185	96	46	25	17
3688	1158	102	135	623	6.00	501	313	192	94	44	25	17
3690	1201	98	167	508	4.00	504	319	199	100	50	30	21
3692	1029	117	173	368	8.00	522	324	207	114	65	42	30
3694	1029	140	153	420	10.00	484	295	189	104	58	37	27
3696	927	237	291	92	5.00	440	255	168	94	49	22	11
3698	1398	95	132	887	6.00	461	295	181	85	36	18	11
3700	968	97	109	1092	4.00	525	309	179	79	31	14	9

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1178.19	207.69	150.58	527.85	7.42	439.73	271.81	181.04	103.12	54.81	29.12	17.19
DESVIO PAD	406.06	95.72	87.33	355.62	4.51	62.40	37.54	22.55	17.80	13.69	9.39	7.24
MÉD. MÍN	772.13	111.98	63.24	172.23	2.91	377.33	234.27	158.49	85.31	41.11	19.72	9.95
MÉD.MÁX	1584.25	303.41	237.91	883.47	11.93	502.14	309.35	203.59	120.92	68.50	38.51	24.44
C.V	0.34	0.46	0.58	0.67	0.61	0.14	0.14	0.12	0.17	0.25	0.32	0.42

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1180.00	210.00	150.00	530.00	378.38	211.59	134.38	69.88	34.15	20.03	15.06

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	6
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
5334	834	75	136	371	18.00	601	389	254	135	70	42	30
5336	1483	141	97	508	10.00	392	272	191	112	61	35	23
5338	1302	157	42	1202	8.00	402	273	194	117	62	29	13
5340	1538	125	49	991	8.00	403	285	203	120	61	28	14
5342	1804	108	89	485	14.00	403	296	214	127	68	38	24
5344	929	168	93	309	13.00	488	320	228	143	86	54	38
5346	2320	103	50	609	12.00	387	300	227	143	78	40	22
5348	1271	217	38	901	9.00	384	260	191	124	71	37	19
5350	1726	114	84	416	20.00	418	308	225	137	76	43	28
5352	1087	132	103	295	14.00	495	339	241	149	88	56	39
5354	863	213	20	689	13.00	515	348	267	187	117	65	33
5356	1183	151	22	598	16.00	516	374	286	195	119	65	34
5358	1201	79	111	612	8.00	486	330	220	114	53	27	17
5360	834	152	63	1214	9.00	452	269	175	94	43	19	10
5362	635	201	26	758	20.00	556	345	253	167	97	49	24
5364	2229	26	39	644	16.00	594	493	393	254	130	56	24
5366	2780	55	41	408	32.00	472	392	314	210	118	62	34
5368	1258	125	36	766	12.00	474	334	242	149	80	39	20
5370	1531	117	33	733	8.00	457	336	250	158	88	44	22
5372	1899	88	69	411	12.00	448	342	255	157	85	47	29
5374	2204	79	37	898	8.00	424	331	252	158	83	39	18
5376	2653	38	73	1311	6.00	419	336	258	156	72	28	10
5378	307	184	27	710	16.00	757	394	278	174	93	44	21
5380	724	77	28	491	12.00	757	519	365	215	111	53	27
5382	1880	68	55	371	33.00	509	399	303	188	102	55	33
5384	1468	193	27	523	18.00	436	322	249	173	109	62	34

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1459.35	122.54	57.23	662.46	14.04	486.35	342.54	251.08	156.00	85.42	44.46	24.62
DESVIO PAD	631.77	53.44	31.78	282.61	6.72	99.63	62.34	50.97	36.72	22.42	12.71	8.29
MÉD. MÍN	827.58	69.10	25.45	379.85	7.32	386.72	280.20	200.11	119.28	63.00	31.75	16.33
MÉD. MÁX	2091.12	175.98	89.01	945.07	20.76	585.97	404.88	302.05	192.72	107.84	57.17	32.90
C.V	0.43	0.44	0.56	0.43	0.48	0.20	0.18	0.20	0.24	0.26	0.29	0.34

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1460.00	120.00	60.00	660.00	449.93	292.88	204.96	112.48	46.13	15.17	7.81

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento:	7
Bacias:	27

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
6758	2631	213	136	107	6.00	255	193	149	93	47	19	7
6760	834	108	151	761	10.00	395	241	162	86	41	22	14
6762	834	125	129	727	10.00	391	239	162	89	44	23	15
6764	1104	189	49	1041	6.00	341	227	169	108	61	31	16
6766	1569	127	133	473	9.00	315	228	173	110	63	37	25
6768	1412	430	50	373	6.00	304	220	181	137	94	61	39
6770	750	642	45	383	7.00	357	224	185	141	97	61	38
6772	1476	125	35	755	19.00	367	275	217	147	88	47	25
6774	5283	83	72	706	22.00	203	174	150	112	72	41	23
6776	3281	539	343	240	8.00	156	115	91	63	39	22	13
6778	1271	466	300	163	13.00	253	158	117	76	44	24	13
6780	1412	253	52	769	14.00	294	205	159	108	66	37	20
6782	2368	171	99	477	12.00	258	199	160	110	68	41	26
6784	1918	553	43	531	12.00	240	178	149	115	81	53	33
6786	1743	457	43	706	11.00	245	176	144	107	73	45	26
6788	1743	347	47	854	10.00	249	177	141	101	65	38	21
6790	1087	392	140	501	12.00	277	172	129	87	55	35	24
6792	1029	440	465	136	9.00	278	165	123	82	51	29	16
6794	1144	370	132	482	11.00	280	178	135	91	58	37	25
6796	1743	157	173	456	10.00	280	202	154	100	60	37	26
6798	2762	127	80	779	9.00	240	188	151	102	59	32	18
6800	2952	639	122	163	9.00	196	149	123	90	57	32	16
6802	3609	604	85	135	8.00	197	156	130	95	60	33	16
6804	1937	758	43	584	11.00	218	159	134	106	76	50	31
6806	2923	571	76	143	8.00	213	164	134	96	60	31	15
6808	1937	884	108	143	7.00	211	147	118	83	49	25	11
6810	834	1689	94	122	7.00	263	151	122	87	51	25	11

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1910.59	424.41	120.19	470.74	10.22	269.48	187.41	146.74	100.81	62.19	35.85	20.85
DESVIO PAD	1047.23	336.82	100.93	275.17	3.69	61.28	36.02	25.79	19.13	15.35	11.39	8.20
MÉD. MÍN	863.37	87.59	19.26	195.57	6.53	208.20	151.39	120.95	81.69	46.83	24.46	12.65
MÉD. MÁX	2957.82	761.23	221.11	745.91	13.92	330.76	223.42	172.53	119.94	77.54	47.24	29.05
C.V	0.55	0.79	0.84	0.58	0.36	0.23	0.19	0.18	0.19	0.25	0.32	0.39

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1910.00	425.00	120.00	470.00	224.58	149.96	115.33	78.80	48.44	28.50	18.07

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

ELMOD6

Rodovia: BR-153

Segmento: 8

Bacias: 26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
1540	1381	234	321	376	4.00	530	237	117	65	40	25	17
1542	2402	189	785	673	5.00	531	229	132	65	40	27	16
1544	889	536	345	197	3.00	538	239	129	63	45	28	20
1546	2280	389	465	233	4.00	399	196	123	61	35	26	20
1548	2331	253	524	488	2.00	386	187	109	60	44	19	13
1550	760	168	379	284	4.00	427	189	125	66	37	24	13
1552	867	150	406	393	5.00	426	206	124	71	36	24	19
1554	910	146	310	529	5.00	384	179	92	52	31	25	19
1556	1342	234	434	357	4.00	321	169	84	48	34	23	20
1558	709	308	310	257	4.00	319	174	111	70	44	24	19
1560	1172	231	332	305	3.00	318	185	122	76	48	28	19
1562	1335	205	470	643	4.00	330	180	124	78	49	28	19
1564	1615	376	349	325	4.00	328	178	118	79	48	31	18
1566	2160	354	392	241	4.00	327	170	116	72	39	24	14
1568	1656	370	425	233	4.00	326	170	99	53	26	19	15
1570	1569	353	578	208	4.00	323	160	100	53	29	22	15
1572	2030	261	462	351	3.00	318	158	102	56	32	21	14
1574	1656	296	597	270	4.00	304	175	111	62	34	19	16
1576	1742	296	560	317	3.00	300	176	114	79	55	27	16
1578	2860	297	476	227	4.00	445	210	124	85	56	30	17
1580	1004	216	383	418	5.00	489	233	141	80	52	38	28
1582	804	219	346	251	4.00	376	225	117	73	52	34	23
1584	2610	173	411	472	8.00	352	171	126	71	38	30	23
1586	1656	260	460	472	4.00	311	166	98	56	29	30	22
1588	1974	220	430	759	4.00	305	144	78	43	27	20	15
1590	2145	215	430	745	4.00	299	144	79	43	28	20	15

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1609.96	267.27	437.69	385.54	4.08	373.54	186.54	112.12	64.62	39.54	25.62	17.88
DESVIO PAD	619.24	89.31	106.82	167.28	1.06	77.20	27.57	16.37	11.74	9.06	4.81	3.55
MÉD. MÍN	990.72	177.95	330.88	218.25	3.02	296.33	158.97	95.74	52.88	30.48	20.81	14.34
MÉD.MÁX	2229.20	356.58	544.51	552.82	5.13	450.74	214.10	128.49	76.35	48.60	30.42	21.43
C.V	0.38	0.33	0.24	0.43	0.26	0.21	0.15	0.15	0.18	0.23	0.19	0.20

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1610.00	270.00	440.00	385.00	346.87	177.15	106.68	62.15	41.69	30.39	22.79

ANEXO IV – RETROANÁLISE PONTUAL NO PROGRAMA BACKMEDINA (camadas não aderidas)

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	1
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
1540	1739	2782	133	233	13.49	287	212	180	143	104	70	46
1542	1256	1808	108	270	8.72	345	237	194	145	97	60	37
1544	2408	806	156	232	10.40	426	296	228	158	99	60	40
1546	1507	985	96	213	11.40	470	327	259	185	119	71	45
1548	1644	953	66	227	12.13	497	352	279	199	125	72	42
1550	805	1288	109	193	14.83	466	311	251	188	127	80	51
1552	1256	2177	106	209	13.19	352	253	213	167	119	78	51
1554	1449	2898	82	233	13.06	310	229	197	158	115	76	49
1556	1449	2898	134	223	13.60	294	214	183	147	107	73	48
1558	2408	3402	120	277	4.96	245	185	159	127	92	62	40
1560	2408	4815	145	240	10.23	222	172	152	126	97	69	47
1562	2408	4173	126	239	11.14	239	185	162	133	101	71	47
1564	619	1239	118	209	12.20	475	298	238	175	116	72	46
1566	1256	2009	130	194	18.57	363	260	219	171	122	81	53
1568	2006	2512	89	221	14.60	318	241	206	163	118	78	50
1570	2408	1545	137	236	9.89	343	250	204	152	103	65	42
1572	984	1933	142	209	10.84	365	250	208	161	113	74	49
1574	1256	2009	117	221	12.67	350	248	206	160	112	73	47
1576	1021	1933	212	207	15.39	349	237	197	153	108	72	48
1578	1256	1909	114	299	9.51	324	220	179	133	89	54	33
1580	1584	1793	145	295	9.18	311	214	172	128	85	52	33
1582	966	2287	157	295	11.06	302	196	161	122	84	53	34
1584	1430	2535	168	295	8.91	271	187	154	119	83	53	34
1586	2203	2040	168	295	8.39	278	198	162	122	83	52	34
1588	966	2040	168	295	8.31	312	201	162	122	82	52	33
1590	1141	851	97	213	16.91	514	344	267	187	117	69	44

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1532.04	2139.23	128.58	241.27	11.67	347.23	242.96	199.69	151.69	104.50	67.00	43.19
DESVIO PAD.	554.71	964.57	31.99	35.75	2.98	75.35	44.50	32.91	22.43	14.88	10.36	7.09
MÉD. MÍN	977.32	1174.66	96.58	205.52	8.69	271.88	198.46	166.78	129.26	89.62	56.64	36.10
MÉD.MÁX	2086.75	3103.80	160.57	277.02	14.66	422.58	287.47	232.60	174.12	119.38	77.36	50.28
C.V	0.36	0.45	0.25	0.15	0.26	0.22	0.18	0.16	0.15	0.14	0.15	0.16

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1530.00	2140.00	130.00	240.00	318.57	229.39	190.94	147.48	103.21	66.95	43.02

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA

Rodovia: BR-153

Segmento:	2
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2220	1507	321	463	358	14.19	471	252	155	87	52	34	25
2222	1190	307	557	468	10.04	451	216	123	65	39	26	19
2224	2227	523	730	520	5.29	307	165	104	59	36	24	17
2226	2413	523	752	485	9.56	307	170	109	64	39	26	19
2228	2450	523	752	476	10.83	308	172	110	65	39	26	19
2230	2450	523	752	461	12.24	311	174	113	67	41	27	20
2232	2450	523	752	415	20.20	323	185	122	74	46	30	22
2234	2858	609	878	419	14.72	291	172	116	73	46	30	22
2236	2858	609	878	450	15.69	284	165	110	68	42	28	20
2238	2695	575	827	409	13.34	305	179	120	75	47	31	22
2240	2613	575	827	388	11.87	313	184	125	79	50	33	24
2242	2450	523	752	529	17.13	298	162	102	58	35	23	17
2244	2926	625	898	589	11.64	255	141	90	52	32	21	15
2246	3103	662	953	585	9.19	246	138	89	53	32	21	15
2248	3103	662	953	737	15.51	228	122	75	42	25	17	12
2250	3413	728	1048	653	14.23	222	124	80	47	29	19	14
2252	3982	849	1222	541	19.33	215	129	88	56	36	24	17
2254	4380	934	1344	407	13.38	228	147	107	73	49	32	23
2256	3667	782	1126	357	14.62	267	170	124	84	55	37	26
2258	3804	811	1169	324	12.46	273	178	132	92	61	41	29
2260	3667	782	499	313	22.52	328	217	157	101	63	41	29
2262	4380	934	520	367	14.22	285	189	137	88	54	34	25
2264	3578	895	1353	427	10.55	233	144	103	70	46	31	22
2266	3230	801	1153	450	11.50	246	147	103	67	43	29	20
2268	4542	969	1050	411	10.41	234	152	111	74	48	32	22
2270	2634	811	1081	416	11.02	264	157	110	72	47	31	22

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3021.92	668.42	895.73	459.81	13.29	288.19	167.35	112.12	69.42	43.54	28.77	20.65
DESVIO PAD.	832.66	179.74	248.17	100.36	3.71	35.71	24.13	19.69	14.85	10.03	6.57	4.61
MÉD. MÍN	2189.26	488.69	647.57	359.45	9.59	252.48	143.22	92.43	54.57	33.51	22.20	16.05
MÉD.MÁX	3854.59	848.16	1143.90	560.17	17.00	323.90	191.48	131.80	84.28	53.56	35.34	25.26
C.V	0.28	0.27	0.28	0.22	0.28	0.12	0.14	0.18	0.21	0.23	0.23	0.22

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.50
MÉDIA	4060.00	470.00	430.00	320.00	248.76	158.37	113.67	77.21	54.09	39.30	29.32

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	3
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
2480	8047	867	464	280	15.63	299	219	169	115	73	47	33
2482	2673	345	532	285	14.08	432	265	180	109	67	44	32
2484	2141	198	287	401	21.00	536	300	179	86	44	29	22
2486	2570	234	316	451	22.92	464	263	159	77	39	26	20
2488	2570	247	366	480	17.37	437	244	146	71	37	25	19
2490	1856	212	386	493	18.91	490	255	144	67	35	24	18
2492	1856	222	351	446	15.00	503	267	155	74	39	27	20
2494	2570	235	316	480	11.12	457	257	154	73	37	24	19
2496	2778	293	380	380	23.35	432	254	162	87	48	32	24
2498	2965	256	287	436	18.33	449	264	164	82	41	27	20
2500	2570	302	316	374	18.38	455	267	170	90	49	32	24
2502	3558	285	246	411	14.63	438	269	174	91	45	28	22
2504	3617	247	271	452	19.77	431	261	166	83	40	26	20
2506	3558	285	314	411	15.71	416	253	163	86	45	29	22
2508	2317	264	629	452	8.52	405	220	132	69	40	27	20
2510	3558	285	314	411	9.70	416	253	163	86	45	29	22
2512	2570	210	300	480	12.73	477	269	160	75	36	24	19
2514	2965	238	273	344	20.98	494	300	193	102	54	34	26
2516	3558	285	267	267	20.68	494	321	221	129	72	46	33
2518	2570	390	569	254	23.80	436	273	190	121	76	50	36
2520	2317	311	649	310	17.09	430	251	165	99	61	41	29
2522	2965	292	287	284	28.43	494	310	209	119	67	43	32
2524	2141	251	303	252	22.41	568	343	226	129	74	49	36
2526	3558	285	230	227	15.09	539	360	254	152	86	54	39
2528	4382	247	294	209	22.77	521	359	260	161	95	60	43
2530	3062	182	295	241	17.94	577	368	249	141	79	51	37

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3049.69	287.23	355.46	365.81	17.94	465.00	279.42	181.04	99.00	54.77	35.69	26.42
DESVIO PAD.	1192.56	126.72	115.95	92.79	4.72	49.59	42.36	37.51	28.30	18.41	11.48	7.82
MÉD. MÍN	1857.14	160.51	239.51	273.02	13.22	415.41	237.06	143.53	70.70	36.36	24.21	18.60
MÉD.MÁX	4242.25	413.96	471.41	458.59	22.65	514.59	321.78	218.55	127.30	73.18	47.17	34.25
C.V	0.39	0.44	0.33	0.25	0.26	0.11	0.15	0.21	0.29	0.34	0.32	0.30

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	3050.00	290.00	355.00	365.00	437.25	265.67	172.25	93.50	51.00	33.10	24.71

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	4
Bacias:	29

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3376	3056	465	237	266	9.47	349	250	193	129	78	47	32
3378	4845	398	225	449	21.33	263	189	144	92	51	28	18
3380	4674	876	460	517	9.67	192	134	101	66	40	24	16
3382	1952	550	424	475	14.44	286	175	121	72	40	25	18
3384	1472	364	330	348	8.32	396	242	167	98	55	34	24
3386	1276	420	363	365	12.44	386	228	155	92	52	32	23
3388	1683	648	352	365	5.08	317	199	143	91	54	33	23
3390	3871	589	300	337	9.42	275	198	152	102	62	37	25
3392	3903	713	363	315	10.47	265	192	150	103	65	41	28
3394	1815	713	363	287	12.48	330	218	164	110	69	43	30
3396	2750	648	230	257	7.45	338	242	188	129	81	50	34
3398	2178	648	166	257	7.88	373	262	201	136	83	50	33
3400	1969	589	216	242	9.14	386	267	204	137	85	52	36
3402	1472	648	330	266	11.28	371	240	178	119	74	47	32
3404	3355	648	330	348	11.35	273	191	146	97	59	36	25
3406	3355	648	330	331	8.83	278	196	150	101	62	38	26
3408	3599	589	300	313	7.03	289	207	160	108	66	40	27
3410	2784	589	300	313	7.90	309	214	162	107	65	40	27
3412	2513	589	300	313	8.07	317	217	163	107	65	40	27
3414	4258	648	330	297	11.18	274	202	159	110	70	43	29
3416	4258	648	330	297	14.28	274	202	159	110	70	43	29
3418	4258	648	330	309	12.57	269	198	155	107	67	41	28
3420	3716	713	363	325	12.55	264	190	147	100	63	39	27
3422	2649	648	330	308	12.00	304	210	159	107	66	41	28
3424	1472	262	189	337	11.56	472	296	204	116	59	34	24
3426	1472	284	330	262	11.20	466	297	210	128	73	45	32
3428	1500	420	261	234	9.61	446	294	216	140	84	52	37
3430	1472	512	238	189	15.27	469	320	245	168	106	67	46
3432	1325	462	210	162	12.92	531	366	281	194	123	78	54

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2720.76	571.62	304.48	313.24	10.87	336.62	228.83	171.62	112.97	68.52	42.07	28.90
DESVIO PAD.	1157.90	138.57	68.76	75.55	3.15	80.47	49.43	36.67	25.82	17.26	11.23	7.77
MÉD. MÍN	1562.86	433.05	235.73	237.69	7.72	256.15	179.40	134.95	87.14	51.26	30.84	21.13
MÉD.MÁX	3878.66	710.20	373.24	388.79	14.01	417.09	278.25	208.29	138.79	85.78	53.30	36.66
C.V	0.43	0.24	0.23	0.24	0.29	0.24	0.22	0.21	0.23	0.25	0.27	0.27

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2245.00	390.00	85.00	355.00	303.25	205.70	154.79	103.26	63.14	37.67	24.28

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	5
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
3650	1306	455	590	220	11.70	436	279	205	135	85	55	39
3652	1544	367	333	255	9.40	438	283	203	126	74	46	33
3654	1327	367	350	270	12.37	445	277	194	118	69	43	32
3656	1164	330	420	298	10.19	448	266	181	106	61	39	29
3658	1038	254	660	307	11.92	473	269	177	101	58	38	28
3660	1222	184	583	338	13.64	487	284	185	99	52	34	25
3662	1280	312	561	327	9.31	416	245	165	96	55	35	26
3664	1739	289	495	352	9.78	383	237	162	94	52	33	24
3666	750	527	420	288	10.17	453	250	171	106	63	41	30
3668	1538	369	246	228	15.09	474	313	228	144	84	52	37
3670	2370	147	846	362	27.45	398	261	182	104	54	32	23
3672	1283	657	1161	359	12.69	308	178	125	81	51	34	24
3674	1819	605	722	307	15.91	320	205	150	98	61	39	28
3676	2408	448	418	278	18.35	350	238	177	115	69	43	31
3678	2408	291	418	278	18.44	384	260	190	119	69	43	30
3680	784	281	446	224	18.27	574	331	224	135	81	52	38
3682	1725	380	296	306	11.33	399	256	181	109	62	38	28
3684	2317	609	473	238	29.35	351	245	188	128	81	52	36
3686	2048	251	311	328	22.29	406	264	186	108	58	35	26
3688	1391	184	317	325	12.95	499	305	203	110	56	34	26
3690	2006	185	195	295	20.78	480	321	228	132	68	38	28
3692	1739	155	215	325	14.58	507	327	225	124	60	34	25
3694	1391	190	420	325	12.41	480	291	194	106	56	35	26
3696	1739	221	487	325	15.41	423	266	182	105	57	35	26
3698	1739	184	385	325	18.43	454	288	197	111	57	35	26
3700	1111	190	256	380	14.23	524	302	192	97	46	29	22

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1584.08	324.31	462.46	302.42	15.25	435.00	270.81	188.27	111.81	63.04	39.38	28.69
DESVIO PAD.	475.27	148.70	211.93	43.71	5.25	63.29	35.67	23.75	15.07	10.74	7.01	4.68
MÉD. MÍN	1108.81	175.61	250.53	258.71	10.00	371.71	235.14	164.51	96.74	52.30	32.38	24.01
MÉD.MÁX	2059.35	473.01	674.39	346.13	20.50	498.29	306.48	212.02	126.87	73.78	46.39	33.37
C.V	0.30	0.46	0.46	0.14	0.34	0.15	0.13	0.13	0.13	0.17	0.18	0.16

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1550.00	145.00	230.00	344.00	446.15	256.57	165.58	89.72	49.25	32.77	24.86

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	6
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA					Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))					
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00		0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
5334	1543	122	197	212	36.23	557	388	289	181	100	57	39
5336	2778	250	167	300	18.93	363	264	203	133	76	42	28
5338	2408	217	238	278	18.07	383	273	208	135	77	44	30
5340	2194	167	167	380	11.53	398	275	202	122	62	31	21
5342	2778	152	137	322	16.06	398	291	224	144	78	40	25
5344	2006	139	195	257	17.49	468	332	250	158	86	48	32
5346	2778	167	167	273	14.54	397	292	226	149	85	47	30
5348	2778	167	167	353	13.14	367	264	200	127	68	35	23
5350	2408	145	167	300	20.26	421	302	229	146	78	41	27
5352	2006	167	195	220	16.55	476	342	261	170	98	56	38
5354	1766	256	132	204	18.59	501	358	275	181	106	61	41
5356	2778	167	167	167	25.92	481	371	300	212	133	80	52
5358	2006	160	195	257	26.21	455	322	242	154	85	48	32
5360	1449	169	228	408	16.26	437	277	191	105	50	27	20
5362	1543	163	212	212	29.47	527	365	273	173	98	57	40
5364	1790	123	93	167	28.42	631	468	365	243	140	78	50
5366	2778	133	87	212	31.28	494	378	302	207	122	66	40
5368	1739	167	215	248	14.83	476	330	245	154	85	48	34
5370	2408	192	178	212	16.82	447	330	258	174	103	60	40
5372	2408	192	175	212	15.81	447	330	258	174	103	60	40
5374	2500	192	145	242	15.21	432	318	247	164	94	53	34
5376	2408	192	153	242	20.04	434	317	246	162	93	52	34
5378	857	112	118	269	31.87	715	448	307	167	77	40	30
5380	1114	103	109	177	20.48	745	513	378	232	123	67	46
5382	2161	160	121	195	37.61	517	384	300	201	117	66	43
5384	2778	192	167	212	22.70	428	322	255	175	105	61	40

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2160.00	167.92	165.08	251.19	21.32	476.73	340.54	259.00	167.04	93.92	52.50	34.96
DESVIO PAD.	554.87	37.02	39.49	62.72	7.26	95.87	62.60	47.10	32.73	21.58	13.31	8.39
MÉD. MÍN	1605.13	130.90	125.58	188.48	14.06	380.87	277.94	211.90	134.31	72.34	39.19	26.57
MÉD.MÁX	2714.87	204.94	204.57	313.91	28.58	572.60	403.14	306.10	199.77	115.50	65.81	43.35
C.V	0.26	0.22	0.24	0.25	0.34	0.20	0.18	0.18	0.20	0.23	0.25	0.24

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2160.00	170.00	165.00	250.00	456.81	329.88	251.81	162.49	90.88	50.26	33.20

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	7
Bacias:	27

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
6758	2408	445	410	358	14.46	263	181	140	95	58	36	24
6760	1256	247	228	422	15.22	373	232	166	99	51	28	19
6762	1338	263	198	464	10.09	392	236	165	95	47	25	17
6764	1739	214	198	410	8.27	339	228	171	108	58	31	20
6766	2608	247	228	358	8.55	317	220	169	112	64	36	23
6768	2593	564	301	231	6.50	299	225	185	136	91	58	39
6770	1338	564	483	231	12.41	352	239	187	132	86	55	38
6772	2006	214	198	254	20.86	369	268	212	147	90	53	34
6774	5444	794	389	291	24.59	215	167	139	106	73	47	32
6776	4838	798	626	416	12.65	145	115	97	74	51	33	22
6778	2006	542	569	378	16.87	241	164	126	86	54	33	23
6780	2408	301	446	306	16.56	289	205	161	111	69	42	28
6782	2824	439	386	278	12.90	261	195	159	116	76	48	32
6784	4248	448	329	278	12.81	234	183	153	115	78	50	33
6786	2917	482	418	278	13.67	235	181	151	113	76	49	33
6788	2454	515	418	278	16.18	233	180	150	112	76	49	33
6790	2408	543	487	325	15.19	262	182	143	99	63	39	27
6792	2006	641	487	325	17.93	257	178	140	98	63	40	27
6794	2408	488	487	325	13.80	266	185	145	100	63	39	27
6796	2408	439	418	278	13.37	273	200	161	116	75	47	32
6798	2778	580	418	278	15.12	240	183	151	112	75	49	33
6800	3276	605	460	306	14.72	186	150	128	99	70	46	31
6802	3789	539	460	306	11.84	194	154	131	100	70	46	31
6804	3667	750	691	284	12.68	217	165	137	104	72	47	32
6806	3222	363	373	371	11.14	215	161	131	94	61	37	24
6808	2778	651	487	325	16.12	197	152	127	95	65	42	28
6810	1809	445	581	394	14.34	249	167	127	85	52	32	22

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2702.74	485.96	413.85	324.00	14.03	263.44	188.74	150.07	105.89	67.67	42.11	28.30
DESVIO PAD.	1014.53	167.43	129.68	60.75	3.72	61.44	33.97	23.43	15.67	11.76	8.52	8.52
MÉD. MÍN	1688.21	318.53	284.17	263.25	10.31	202.01	154.77	126.65	90.22	55.91	33.59	19.78
MÉD.MÁX	3717.27	653.40	543.53	384.75	17.75	324.88	222.71	173.50	121.56	79.42	50.63	36.81
C.V	0.38	0.34	0.31	0.19	0.27	0.23	0.18	0.16	0.15	0.17	0.20	0.30

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2700.00	175.00	270.00	300.00	238.95	173.83	138.71	98.69	64.55	41.99	29.40

Relatório - Retroanálise de Bacias Deflectométricas

Retroanálise realizada por meio de medidas de deflexões em cada bacia levantada

BACKMEDINA
Rodovia: BR-153

Segmento:	8
Bacias:	26

Estaca	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				Erro	BACIAS CALCULADAS (Distâncias Radiais (m))						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
10004	1114	241	561	373	15.75	515	253	147	78	46	31	23
10006	1114	241	561	373	14.80	515	253	147	78	46	31	23
10008	1114	235	561	373	13.80	520	256	147	78	46	31	23
10010	1681	446	517	344	17.87	389	219	144	87	52	34	25
10012	1784	374	626	416	11.08	376	202	126	71	42	28	21
10014	1256	383	569	378	13.34	415	215	134	78	46	31	23
10016	1256	374	569	378	8.85	419	216	135	78	46	31	23
10018	1507	379	679	451	12.51	374	191	116	65	39	26	19
10020	1654	486	747	496	9.09	320	165	103	59	35	23	17
10022	3245	462	626	416	8.85	311	186	124	73	43	28	21
10024	3894	445	590	394	6.92	312	193	131	78	46	30	22
10026	2827	605	659	331	12.62	318	197	139	89	56	36	26
10028	3084	513	569	378	10.17	319	194	132	80	48	31	23
10030	3304	513	569	378	13.81	315	193	132	80	48	31	23
10032	1908	500	679	451	9.72	322	175	112	66	39	26	19
10034	1908	520	679	451	10.00	317	173	111	66	39	26	19
10036	2554	567	617	410	14.82	306	179	121	73	44	29	21
10038	3260	535	617	410	9.32	299	180	122	74	44	29	21
10040	4625	542	569	378	9.57	291	187	132	81	49	31	23
10042	1256	333	569	378	9.09	439	224	137	78	46	31	23
10044	1739	278	487	325	17.18	470	261	164	92	54	36	26
10046	2851	439	487	325	17.59	367	225	154	94	56	36	26
10048	2863	456	569	378	13.60	335	200	134	80	47	31	23
10050	2907	556	617	410	13.15	301	179	121	74	44	29	21
10052	2261	481	793	527	12.65	295	158	99	56	33	22	16
10054	2150	449	872	580	8.66	294	152	92	51	30	20	15

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				ERRO	BACIA MÉDIA CALCULADA						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO		0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	2273.69	436.65	613.77	403.92	12.11	363.62	201.00	129.08	75.27	44.77	29.54	21.73
DESVIO PAD.	949.28	105.05	88.58	60.24	3.07	74.47	30.34	17.05	10.28	6.35	4.00	2.88
MÉD. MÍN	1324.41	331.60	525.19	343.68	9.04	289.14	170.66	112.03	64.99	38.42	25.54	18.85
MÉD.MÁX	3222.97	541.70	702.35	464.16	15.18	438.09	231.34	146.12	85.55	51.12	33.54	24.61
C.V	0.42	0.24	0.14	0.15	0.25	0.20	0.15	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13

CAMADA	MÓDULOS DE RESILIÊNCIA				BACIA AEMC						
	CAPA	BASE	SUB-BASE	SUBLEITO	0.00	0.20	0.30	0.45	0.65	0.90	1.20
MÉDIA	1830.00	270.00	345.00	405.00	345.93	181.44	109.67	61.70	39.34	28.21	21.28