CAROLINE DELOLMO JURKIEWICZ
PATRICIA ZIFSSAK SOUZA

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO NA RODOVIA ESTADUAL SP-304, SUBTRECHO DISTRITO DE ARTEMIS – PIRACICABA

CURITIBA
2018

CAROLINE DELOLMO JURKIEWICZ
PATRICIA ZIFSSAK SOUZA

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO NA RODOVIA ESTADUAL SP-304, SUBTRECHO DISTRITO DE ARTEMIS – PIRACICABA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Pavimentação Rodoviária, Pós-Graduação *lato sensu*, da Faculdade IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Pavimentação Rodoviária.

Orientador**:** Prof. Mestre Paulo Sergio Peterlini.
Co-Orientadora: Profa. Mestre Mônica Sayoco Nishibe Moraes

CURITIBA

2018

AGRADECIMENTOS

Aos engenheiros M.Sc. Mônica Sayoco Nishibe Moraes e M.Sc. Paulo Sergio Peterlini pela valiosa contribuição e colaboração no direcionamento, orientação e desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto IDD pela colaboração, levando conhecimento e formando profissionais especializados e comprometidos com a verdadeira vocação de prestar bons serviços.

À Empresa Ellenco Construções Ltda pelo fornecimento dos dados necessários para o desenvolvimento do estudo.

À Deus pela oportunidade de estudar, adquirir conhecimentos e troca de experiências com professore e colegas.

Aos nossos familiares, esposos, filhos que nos apoiaram, compreenderam e incentivaram durante o período desse curso.

RESUMO

Apresenta-se no presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), os estudos relacionados à avaliação estrutural de pavimento flexível na Rodovia SP- 304, subtrecho: Distrito de Artemis – Piracicaba, sob administração do Departamento de Estradas e Rodagens de São Paulo – DER/SP. O segmento foi contemplado com serviços de conserva especial, que tem por objetivo dar sobrevida ao pavimento até que se viabilize serviços de restauração e por isso, haviam serviços sendo realizados na rodovia, que não contemplavam um projeto de restauração, desta forma considerou-se a proposta de verificar qual foi o ganho estrutural e qual a vida útil remanescente do pavimento reciclado no serviço de conserva, resultando em dados relevantes quando analisados juntamente aos custos de desembolso financeiro.

Os dados da condição inicial do pavimento existente foram coletados para elaboração de projeto de restauração, servindo como comparativo entre as metodologias dos procedimentos DNER-PRO 011/79 e DNER-PRO 269/94 para sua análise estrutural, demonstrando nos estudos aspectos a serem considerados na escolha do dimensionamento a ser empregado.

Analisou-se o tráfego de veículos em três subtrechos próximos ao objeto de estudo e o comportamento da frota de veículos, para verificação das variáveis e escolha e aplicabilidade dos dados.

As deflexões recuperáveis foram analisadas em situações que contivessem resultados utilizando correlação de deflexões *Falling Weigth Deflectometer* (FWD) para Viga Benkelman, mas também em situação mantendo a deflexão na condição ensaiada, verificando o impacto no dimensionamento das espessuras de reforço do pavimento. Por fim executaram-se avaliações objetivas do revestimento existente no sentido de se levantar dados dos defeitos de superfície, aplicando-se procedimentos próprios do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT).

Palavras Chave: Avaliação; Estrutura; Pavimento; Restauração.

ABSTRACT

The present work of Conclusion of Course (TCC), the studies related to the structural evaluation of flexible pavement on Highway SP-304, subtrecho: District of Artemis - Piracicaba, under administration of the Department of Roads and Roadworks of São Paulo - DER / SP. The segment was contemplated with special conservation services, whose objective is to increase the durability of the pavement until restoration services are feasible; So there were services being carried out on the highway, which did not include a restoration project; Thus, it was considered the proposal to verify what was the structural gain and the remaining useful life of the recycled floor in the preservation service, resulting in relevant data when analyzed together with the costs of financial disbursement.

The data of the initial condition of the existing floor were collected for the elaboration of a restoration project, serving as a comparison between the methodologies of procedures DNER-PRO 011/79 and DNER-PRO 269/94 for structural analysis, demonstrating in the studies aspects to be considered in the choice of sizing to be employed.

Vehicle traffic was analyzed in three sub-checks close to the object of study and the behavior of the vehicle fleet, to verify the variables and the choice and applicability of the data.

The recoverable deflections were analyzed in situations that contained results using correlation of Falling Weigth Deflectometer (FWD) deflections for Beam Benkelman, but also in situation maintaining the deflection in the tested condition, verifying the impact in the sizing of the reinforcement thicknesses of the pavement. Finally, objective evaluations of the existing coating were carried out in order to collect data of the surface defects, applying procedures of the National Department of Transport Infrastructure (DNIT).

Keywords: Evaluation, Structure, Pavement, Restoration.

FIGURAS

FIGURA 1– MAPA DO SUBTRECHO.....19
FIGURA 2–ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL 25
FIGURA 3 – ESTRUTURA DO PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO.....26
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS.....31
FIGURA 5 – EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO PELO MÉTODO DAS DIFERENÇAS ACUMULADAS DA AASHTO 35
FIGURA 6 – DEFORMADA E RAIO DE CURVATURA 42
FIGURA 7 – DEFLEXÃO PROVOCADA PELO CARREGAMENTO.....44
FIGURA 8– ESQUEMA DE UM DEFLECTÔMETRO DE IMPACTO 45
FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO DO DEFLECTÔMETRO DE IMPACTO 46
FIGURA 10 – ESQUEMA DA VIGA BENKELMAN.....47
FIGURA 11 – EIXO SIMPLES DE RODA SIMPLES 53
FIGURA 12 – EIXO SIMPLES DE RODAS DUPLAS.....54
FIGURA 13 – EIXO TANDEM DUPLO 54
FIGURA 14 – EIXO TANDEM TRIPLO.....55
FIGURA 15 – FLUXOGRAMA.....57
FIGURA 16 – PLACA INDICATIVA COM NOME DA RODOVIA 59
FIGURA 17 – LOCALIZAÇÃO DE SEGMENTO DA PESQUISA.....59
FIGURA 18 – SEÇÃO TRANSVERSAL DA RODOVIA 60
FIGURA 19 – INDICAÇÃO DAS FAIXAS.....61
FIGURA 20 – FAIXAS 1 E 2 DA PISTA ESQUERDA 61
FIGURA 21 – FOTOGRAFIA DO KM 176,160 AO KM 175,720 65
FIGURA 22– FOTOGRAFIA DA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO NO KM 176+360.....67
FIGURA 23 – FOTOGRAFIA DA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO DO KM 176+080.....67
FIGURA 24 – EQUIPE DE SINALIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO 67

FIGURA 25 – FECHAMENTO DA PISTA PARA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO 68
FIGURA 26 – POÇO DE INSPEÇÃO KM 175+404.....74
FIGURA 27 – VARIAÇÕES DE VDM 76
FIGURA 28– IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (DEFLEXÕES ORIGINAIS) – INICIAL 86
FIGURA 29– IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (DEFLEXÕES ORIGINAIS) - FINAL.....86
FIGURA 30 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD - DER) INICIAL 86
FIGURA 31 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD - DER) FINAL.....87
FIGURA 32 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD – DNIT) INICIAL 87
FIGURA 33 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD – DNIT) FINAL.....87
FIGURA 34 – ESPESSURA DE RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO RECICLADO.....95
FIGURA 35– ESPESSURA DE RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO ORIGINAL COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL.....97
FIGURA 36– ESPESSURAS DE REFORÇO DO SEGMENTO 1 PARA O PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 101
FIGURA 37– ESPESSURAS DE REFORÇO DO SEGMENTO 2 PARA O PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 102
FIGURA 38 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO SEGMENTO 3 PARA O PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 102
FIGURA 39 – RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA 104
FIGURA 40 – ESPESSURA DE REFORÇO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 106

FIGURA 41– ESPESSURA DE RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 PARA PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA...107
FIGURA 42– COMPARATIVO DAS DEFLEXÕES –PAVIMENTO ORIGINAL 109
FIGURA 43– COMPARATIVO DAS DEFLEXÕES –PAVIMENTO RECICLADO 110
FIGURA 44 – COMPARATIVO DO RAIO DE CURVATURA INICIAL (PAVIMENTO ORIGINAL) E FINAL (PAVIMENTO RECICLADO) 110
FIGURA 45 – COMPARATIVO DE TRÁFEGO 112
FIGURA 46 – COMPARATIVO PROJETO DE RESTAURAÇÃO – PAVIMENTO ORIGINAL COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 113
FIGURA 47 – COMPARATIVO PROJETO DE RESTAURAÇÃO – PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA 113
FIGURA 48 – COMPARATIVO PROJETO DE RESTAURAÇÃO – PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL.....114
FIGURA 49 – COMPARATIVO DE CUSTOS – RECICLAGEM X PROJETO DE RESTAURAÇÃO.....118
FIGURA 50 – COMPARATIVO DE CUSTOS – RECICLAGEM X RECONSTRUÇÃO / REFORÇO.....122

QUADROS

QUADRO 1– VALOR DE FATOR DE PONDERAÇÃO.....33
QUADRO2 – GRAU DE DEGRADAÇÃO 34
QUADRO 3– EQUAÇÕES DOS FEC 39
QUADRO 4– FATOR DE CORREÇÃO SAZONAL.....40
QUADRO 5 – LEVANTAMENTO DAS DEFLEXÃO PELO FWD –PAVIMENTO ORIGINAL 63
QUADRO 6– LEVANTAMENTO DAS DEFLEXÃO PELO FWD –PAVIMENTO RECICLADO.....64
QUADRO 7 – INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE - PAVIMENTO ORIGINAL 66
QUADRO 8– MATERIAIS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO ORIGINAL....73
QUADRO 9 –TMDA DO SUBTRECHO AMERICANA - SANTA BÁRBARA D'OESTE, SP-304, KM 131 75
QUADRO 10 – PERCENTUAL DE INCREMENTO DE TRÁFEGO.....76
QUADRO 11 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO SUB LEITO 91
QUADRO 12 – TIPOS E ESPESSURAS MÍNIMAS DE REVESTIMENTO.....94
QUADRO 13– EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL (K).....94

TABELAS

TABELA 1– INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE - PAVIMENTO RECICLADO 68
TABELA 2– CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 1, PAVIMENTOORIGINAL 69
TABELA 3 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 2, PAVIMENTO ORIGINAL 69
TABELA 4– CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 3, PAVIMENTO ORIGINAL 70
TABELA 5– CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 1, PAVIMENTO RECICLADO 71
TABELA 6 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 2, PAVIMENTO RECICLADO 71
TABELA 7 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 3, PAVIMENTORECICLADO 72
TABELA 8 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO SP-348 (VIA BANDEIRANTES) - PIRACICABA - KM 142 75
TABELA 9 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO PIRACICABA - ÁGUAS DE SÃO PEDRO - KM 171 75
TABELA 10 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO AMERICANA - SANTA BÁRBARA D'OESTE - KM 131 77
TABELA 11– VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO SP-348 (VIA BANDEIRANTES) - PIRACICABA - KM 142 77
TABELA 12 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO PIRACICABA - ÁGUAS DE SÃO PEDRO - KM 171 77
TABELA 13– TDMA VEÍCULOS COMERCIAIS –(RODOVIA PRÓXIMA) SP 147 - SENTIDO IRACEMÁPOLIS - PIRACICABA - PEDÁGIO KM 127 77
TABELA 14 – VDMA 78
TABELA 15 – FATOR DE VEÍCULO CALCULADO 79
TABELA 16 – CÁLCULO DO NÚMERO "N" 80

TABELA 17– DEFLEXÕES AJUSTADAS PARA CARGA 4.100 KGF – PAVIMENTO ORIGINAL 81
TABELA 18– DEFLEXÕES AJUSTADAS PARA CARGA 4.100 KGF – PAVIMENTO RECICLADO 82
TABELA 19 – DEFLEXÕES CONSIDERANDO AS CORRELAÇÕES DE FWD PARA VIGA – PAVIMENTO ORIGINAL 84
TABELA 20– DEFLEXÕES CONSIDERANDO AS CORRELAÇÕES DE FWD PARA VIGA – PAVIMENTO RECICLADO 85
TABELA 21– CÁLCULO PARA D FWD DO PAVIMENTO ORIGINAL.....88
TABELA 22– CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DERDO PAVIMENTO ORIGINAL 88
TABELA 23 – CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DNITDO PAVIMENTO ORIGINAL 88
TABELA 24– CÁLCULO PARA D FWD DO PAVIMENTO RECICLADO 88
TABELA 25– CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DER DO PAVIMENTO RECICLADO 89
TABELA 26 – CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DNIT DO PAVIMENTO RECICLADO 89
TABELA 27– RESULTADOS DA DEFLEXÃO DE PROJETO DO PAVIMENTO ORIGINAL 89
TABELA 28– RESULTADOS DA DEFLEXÃO DE PROJETO DO PAVIMENTO RECICLADO 90
TABELA 29– RAIO DE CURVATURA DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS – PAVIMENTO ORIGINAL 92
TABELA 30 – MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO ORIGINAL 93
TABELA 31– MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO ORIGINAL-ADOTADO 93
TABELA 32 – ESPESSURAS EFETIVAS DO PAVIMENTO ORIGINAL - CALCULADAS 96
TABELA 33– ESPESSURAS EFETIVASDO PAVIMENTO ORIGINAL - ADOTADAS 97

TABELA 34 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO PAVIMENTO ORIGINAL PARA CADA SEGMENTO 97
TABELA 35– RAIO DE CURVATURA MÉDIO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS DOPAVIMENTO RECICLADO 99
TABELA 36 – MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 100
TABELA 37– MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 100
TABELA 38 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO PAVIMENTO PARA CADA SEGMENTO NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 101
TABELA 39– MEDIDAS CORRETIVAS NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA 103
TABELA 40– MEDIDAS CORRETIVAS NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA 103
TABELA 41 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO PAVIMENTO PARA CADA SEGMENTO NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA 104
TABELA 42 – ESPESSURAS EFETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO - CALCULADAS 105
TABELA 43 – ESPESSURAS EFETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO - ADOTADAS 105
TABELA 44– ESPESSURAS DE REFORÇO PARA CADA SEGMENTO DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL 106
TABELA 45 – ESPESSURAS DE REFORÇO PARA CADA SEGMENTO DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA 107
TABELA 46 – NÚMERO “N” SUPORTADO PELO PAVIMENTO EXISTENTE PARA CADA SEGMENTO 108
TABELA 47– RESUMO CONCEITO IGG - ANTES DAS INTERVENÇÕES..111
TABELA 48– RESUMO CONCEITO IGG - DEPOIS DA INTERVENÇÕES ..111
TABELA 49 – NÚMERO “N” DE PROJETO 115

TABELA 50– NÚMERO “N” SUPORTADO PELO PAVIMENTO EXISTENTE 115
TABELA 51 – EXPECTATIVA DE VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO 115
TABELA 52 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS NO PAVIMENTO ORIGINAL.116
TABELA 53 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS DO PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO 117
TABELA 54 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS DE RECICLAGEM + RECONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO 119
TABELA 55– CUSTO PARA OS SERVIÇOS DE RECICLAGEM + REFORÇO DNER-PRO 011/79 120
TABELA 56 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS DE RECICLAGEM + REFORÇO DNER-PRO 269/94 121

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18

1.1. PROBLEMA DA PESQUISA 19

1.2. OBJETIVOS 20

1.2.1. Objetivo geral 20

1.2.2. Objetivos específicos 20

1.3 HIPÓTESE 20

1.4 JUSTIFICATIVAS 21

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 22

1.6 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO 22

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 24

2.1. PAVIMENTO 24

2.1.1. Pavimento flexível 24

2.1.2. Pavimento semirrígido 25

2.2. CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA 26

2.2.1. Conservação Especial 28

2.3. AVALIAÇÃO FUNCIONAL 28

2.3.1. Avaliação do pavimento 28

2.3.2. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos 29

2.3.3. Defeitos de superfície 30

2.3.4. Procedimento 32

2.3.5. Divisão em segmentos homogêneos 34

2.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS 35

2.4.1. Estudos para avaliação estrutural 36

2.4.2. Número N 37

2.4.3. Deflexão de projeto 39

2.4.4. Deflexão admissível 40

2.4.5. Fator de correção sazonal 40

2.4.6. Raio de curvatura 41

2.4.7. Ensaios para avaliação estrutural 43

2.4.7.1. Ensaios destrutivos 43

2.4.7.2. Ensaios não-destrutivos 44

2.4.8. Avaliações deflectométricas 45

2.4.8.1. Avaliação Deflectométrica pelo Falling Weight Deflectometer (FWD) 45

2.4.8.2. Avaliação deflectométrica com viga Benkelman 46

2.4.9. Aplicação de parâmetros deflectométricos 47

2.4.9.1. Deflexão recuperável máxima 47

2.5. RESTAURAÇÃO 48
2.5.1. Método DNER PRO 11/79 49
2.5.2. Método DNER PRO 269/94 50
2.5.3. Avaliação do tráfego 52
3. MÉTODO DE PESQUISA 56
3.1. METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO 56
3.2. INFORMAÇÕES DA RODOVIA 58
3.2.1. Histórico do pavimento existente 60
3.2.2. Serviços de Conservação Especial 60
3.3. AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA 62
3.3.1. Levantamento das deflexões recuperáveis 62
3.3.2. Avaliações objetivas de superfície 64
3.4. AVALIAÇÃO DESTRUTIVA 72
3.4.1. Estrutura do pavimento 72
3.5. ESTUDOS DE TRÁFEGO 74
3.6. PROJETO DE RESTAURAÇÃO 80
3.6.1. Correção das deflexões em função das cargas aplicadas 80
3.6.2. Correção das deflexões FWD para VB 82
3.6.3. Segmentos Homogêneos 86
3.6.4. Determinação das deflexões características e deflexões de projeto 87
3.6.5. Ensaios de solo 90
3.6.6. Dimensionamento do reforço do pavimento original - DNER-PRO 11/79 91
3.6.7. Dimensionamento do reforço do pavimento original - DNER-PRO 269/94 96
3.6.8. Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado - DNER-PRO 11/79 98
3.6.9. Dimensionamento do Reforço do pavimento reciclado - DNER-PRO 269/94 104
3.7. NÚMERO DE SOLICITAÇÕES SUPORTADAS - PAVIMENTO RECICLADO 108
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 109
4.1. ANÁLISE DAS DEFLEXÕES 109
4.2. ANÁLISE DO RAIO DE CURVATURA 110
4.3. DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS DO PAVIMENTO 111
4.4. ANÁLISE DO SOLO 111
4.5. ANÁLISE DO ESTUDO DE TRÁFEGO 112
4.6. ANÁLISE DO REFORÇO DO PAVIMENTO 113
4.7. ANÁLISE DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO 114
4.8. COMPARATIVO DE CUSTOS 115
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES 123

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 126

7. ANEXOS E APENSOS 131

7.1. ÁBACO DEFLEXÃO ADMISSÍVEL PRO 11/79 131

7.2. ESTATÍSTICA DE TRÁFEGO 132

7.2.1. VDM (2009 -2014) 132

7.2.2. VDM (2014 -2017) 132

7.3. CONTAGEM DE TRÁFEGO DO DER/SP 133

7.4. CONTAGEM DE TRÁFEGO DA CONCESSIONÁRIA 137

7.5. NÚMERO “N” COM FATOR DE VEÍCULO DA METODOLOGIA AASHTO 138

1. INTRODUÇÃO

De modo geral, a deterioração das rodovias no Brasil, sob responsabilidade direta dos órgãos públicos, está associada a fatores que envolvem a degradação dos pavimentos, tais como a escassez de recursos, idade avançada dos pavimentos, solicitação intensa do tráfego, aumento de esforços atuantes, deficiências de manutenção preventiva, estruturas subdimensionadas em razão da idade dos pavimentos e sua evolução ao longo do tempo, falta de intervenções substanciais no pavimento para sua reestruturação, no entanto, é inconteste a grande preocupação técnica com os fatores de risco envolvidos sobre a falta de conservação rodoviária (COSTA e PINTO, 2011).

Segundo referidos autores, a deterioração do pavimento é influenciada, em grande parte, por condições climáticas severas, volume intenso de tráfego e excesso de cargas, assim como pela qualidade da construção e manutenção da estrada.

FEDRIGO (2015) menciona que, nos últimos anos, o desenvolvimento econômico e a marcada predominância do modal rodoviário ocasionaram uma crescente demanda das rodovias, com aumento tanto do número de veículos que as trafegam quanto das cargas que estes transportam.

Quando isso acontece, é recomendável, para evitar ou sanar a condição falimentar da estrutura, a intervenção para reabilitação do pavimento para um novo ciclo de vida, sendo necessário, quando possível antes da degradação total do pavimento, para preservação do patrimônio público. (DER, 2013)

O diagnóstico confiável é fundamental para decisões relativas às intervenções em um determinado pavimento para que possam compreender o desempenho oferecido e permitirem medidas que possibilitem o controle dos mecanismos que estão concorrendo para a queda da serventia do pavimento (GONÇALVES, 1999).

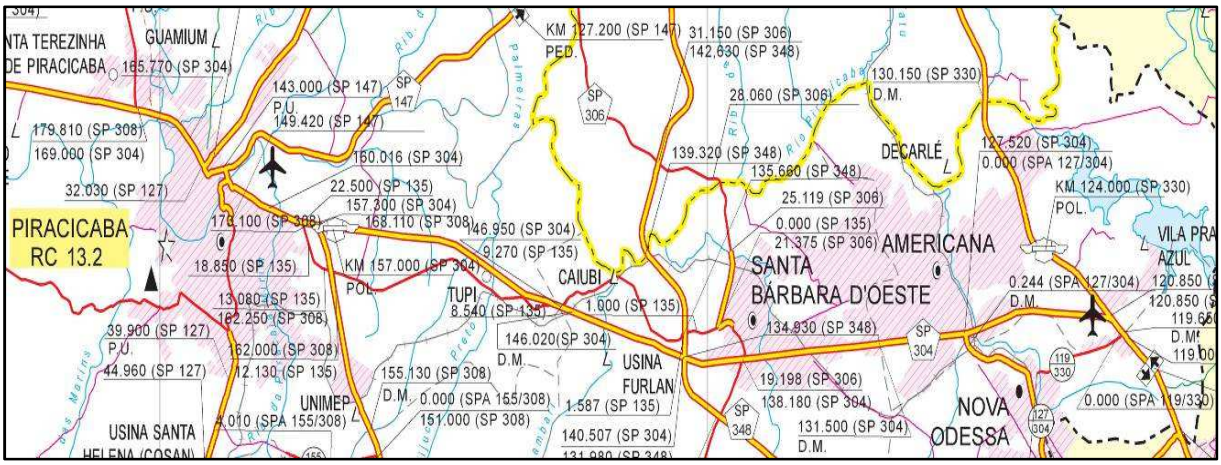
Impossibilitando-se a execução da obra em caráter definitivo, que demandam intervenções que requerem maiores investimentos, a solução alternativa consiste na intervenção parcial da rodovia, visando a impermeabilização e rejuvenescimento da camada de rolamento, prolongando sua vida útil (DER, 2013).

A rodovia estadual SP-304, subtrecho Distrito de Artemis – Piracicaba, segmento do km 176,360 ao km 175,240 administrada pelo Departamento de Estadas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP) é constituída originalmente de pavimento com estrutura flexível e considerada como sendo uma rodovia radial,

ligação com a Capital São Paulo, possui grande representatividade dentro do Estado. O segmento foi integrante de um programa de conserva especial do DER/SP, onde medidas paliativas são definidas para proporcionar sobrevida ao pavimento até que sejam realizadas as obras de restauração do pavimento. Em sendo assim o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) pretende através da escolha de um segmento de pavimento reciclado, dentro do programa de conserva especial, na SP-304, efetuar os cálculos de restauração, considerando a intervenção no pavimento original, antes da reciclagem e confrontar os resultados considerando a reciclagem efetuada. Caso esta segunda avaliação indique a necessidade de complementação de estrutura, será também determinada a sua necessidade.

O mapa da Figura 1 mostra o subtrecho em questão.

FIGURA 1– MAPA DO SUBTRECHO



FONTE: DER/SP – WEB ROTAS, 2018

1.1. PROBLEMA DA PESQUISA

A avaliação estrutural demonstrará qual a necessidade de restauração do pavimento flexível original na extensão em estudo e qual é o ganho estrutural que a reciclagem realizada nos serviços de conserva especial proporciona ao pavimento. Também verificará se esta reciclagem conseguirá atender a vida útil de 10 anos, da mesma maneira que as soluções definidas como os cálculos para a restauração do pavimento original.

1.2. OBJETIVOS

Apresentam-se a seguir os objetivos gerais e específicos do presente TCC.

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar a necessidade de recuperação do pavimento na rodovia SP - 304, subtrecho distrito de Artemis – Piracicaba.

1.2.2. Objetivos específicos

a) Verificar a condição do pavimento original;
b) Verificar a condição do pavimento após a realização da reciclagem;
c) Executar a avaliação objetiva da superfície do pavimento flexível reciclado aplicando-se DNIT 006/2003 - PRO;
d) Levantar novas deflexões recuperáveis;
e) Atualizar o número de solicitações ao eixo padrão;
f) Efetuar os dimensionamentos de reforços do pavimento aplicando-se os procedimentos DNER PRO 11/79 e DNER 269/94 para as condições de pavimento original antes da reciclagem e para o pavimento reciclado;
g) Analisar a vida útil do pavimento após a reciclagem;
h) Analisar impactos financeiros entre as estratégias de intervenção consideradas.

1.3 HIPÓTESE

A hipótese é formulada na premissa de que se a intervenção de Conserva Especial, no subtrecho da rodovia estadual SP-304, atenderá às necessidades de recuperação da estrutura e permitirá ganho estrutural com vida útil de 10 anos?

1.4 JUSTIFICATIVAS

As justificativas que motivaram a realização da presente pesquisa são:

1.4.1. Tecnológicas

A relevância do estudo sob o ponto de vista tecnológico paira sobre a questão do desempenho que as intervenções realizadas podem dar ao pavimento, como solução para a pista de rolamento.

1.4.2. Econômicas

O estudo visa à demonstração que se executada dentro dos parâmetros técnicos aceitáveis, a restauração do pavimento irá melhorar a trafegabilidade para os usuários da SP-304, sendo de grande importância para expansão do desenvolvimento da região, com reflexo econômico imediato.

1.4.3.Sociais

A presença de defeitos no pavimento gera diversos inconvenientes, entre eles a dificuldade para o tráfego dos veículos solicitantes na rodovia pondo em risco a segurança dos usuários de forma geral.

Não mais importante que a alternativa para uma reabilitação do pavimento com sua utilização, prevê-se que o estudo vai contribuir para verificar se a eficiência das técnicas de restauração do pavimento como solução para a pista de rolamento pode contribuir para um maior tempo entre manutenções periódicas, diminuindo assim os custos operacionais do trecho da rodovia estadual em questão.

1.4.4.Ecológicas

Sob o ponto de vista ecológico, procura-se neste trabalho, avaliar uma metodologia que tivesse entre outras qualidades, a eficiência quanto à contribuição de preservação ao meio ambiente, e verificar que as intervenções irão prolongar o intervalo de manutenção no pavimento, sendo viável por contribuir com a diminuição

dos resíduos gerados, menor agressão ao meio ambiente e consequentemente uma alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa utilizará como base uma revisão bibliográfica para o tema, sendo que numa primeira etapa vai se levantar informações gerais, constituindo-se na tarefa denominada de fundamentação teórica, onde vão ser utilizadas diversas fontes técnico-científicas, tais como:

a) livros técnicos;

b) artigos, dissertações e teses acadêmicas;

c) normas e manuais;

d) fotos do local e;

e) internet.

Em uma segunda etapa, será realizada a pesquisa de campo em si, ou seja, o método de pesquisa, onde vão ser coletas dados necessários para as avaliações do pavimento, antes da restauração propriamente dita, durante e após a conclusão dos trabalhos. A seguir vão ser elaboradas as devidas análises dos resultados e por fim as considerações finais onde vai ser possível concluir se a aplicação da metodologia se atendeu aos critérios estabelecidos ou não.

1.6 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente TCC encontra-se estruturado em cinco capítulos, organizados da seguinte forma:

No Capítulo 1 da Introdução, apresentação dos objetivos, hipótese, das justificativas, dos procedimentos metodológicos e por fim de como vai ser feita a apresentação do trabalho.

No Capítulo 2 da Fundamentação Teórica será realizada uma revisão bibliográfica abordando conceitos fundamentais da literatura ao qual o trabalho reporta. Além disso, serão abordados normas e procedimentos de projeto, restauração e conservação dos pavimentos flexíveis do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER/SP), e quando indicado, do Departamento

Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), do antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e outros.

No Capítulo 3 do Método de Pesquisa são apresentados os procedimentos com as etapas detalhadas para realização do trabalho.

No Capítulo 4 da Apresentação e Análise dos Resultados serão apresentados os resultados da pesquisa realizada compilados e analisados.

No Capítulo 5 das Considerações Finais serão apresentadas as conclusões da pesquisa e análise das proposições, incluindo recomendações para novos trabalhos a respeito do relevante assunto.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PAVIMENTO

Pavimento é uma estrutura de muitas camadas e de espessuras finitas, executada sobre uma superfície já alinhada e preparada após os serviços de terraplenagem, com o destino a resistir aos esforços, receber cargas de tráfego de veículos e redistribuir para solos da fundação, propiciando aos usuários melhor condição de rolamento, condições satisfatórias de velocidade, segurança, conforto no transporte de pessoas e mercadorias (BERNUCCI, L. B. et. al, 2010).

Para Balbo (2007) o pavimento é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, adequadamente para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego.

Quanto ao comportamento mecânico da estrutura do pavimento, divide-se em três tipos: rígidos, flexíveis e semirrígidos.

Devido a relevância do assunto neste trabalho de conclusão de curso, serão abordados somente o pavimento flexível e o pavimento semirrígido.

2.1.1. Pavimento flexível

Para Bernucci, L. B. et al. (2010) os pavimentos flexíveis são estruturas constituídas por uma mistura de agregados e ligantes asfálticos, camadas betuminosas e camadas inferiores de materiais granulares, consiste em uma estrutura com quatro camadas principais: revestimentos asfálticos, base, sub-base e reforço do subleito.

Ceratti e Núñez (2011) descrevem as misturas asfálticas como materiais viscoelasticos que sob carregamento repetitivo podem romper por trincamento, fadiga ou deformação permanente ou pela combinação destes.

A mistura mais utilizada no Brasil é o Concreto Asfáltico, conhecido como Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). Mistura constituída por agregados de variados tamanhos e cimento asfáltico dosados e aquecidos (BERNUCCI et. al., 2010).

A CNT (2017, p.25) descreve que todas as camadas do pavimento asfáltico sofrem deformações elásticas devido: “A carga decorrente do tráfego se distribuir de

forma aproximadamente equivalente entre elas, o que permite observar um campo de tensões muito concentrado nas proximidades do ponto de aplicação da carga".

A ilustração da Figura 2 demonstra as camadas componentes de um pavimento flexível, onde no nível inferior tem-se o subleito, acima o reforço do subleito, a sub-base, a base e a camada superior o revestimento asfáltico (BERNUCCI et. al., 2010).

FIGURA 2–ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

FONTE: BERNUCCI ET AL. 2010.

Para Freire (2004) as misturas betuminosas se comportarem de forma adequada, durante a construção e após a entrada em funcionamento do pavimento, é necessário garantir determinadas características, das quais se destacam: adequada estabilidade, elevada durabilidade, resistência à fadiga, flexibilidade que permita adaptação e impermeabilidade.

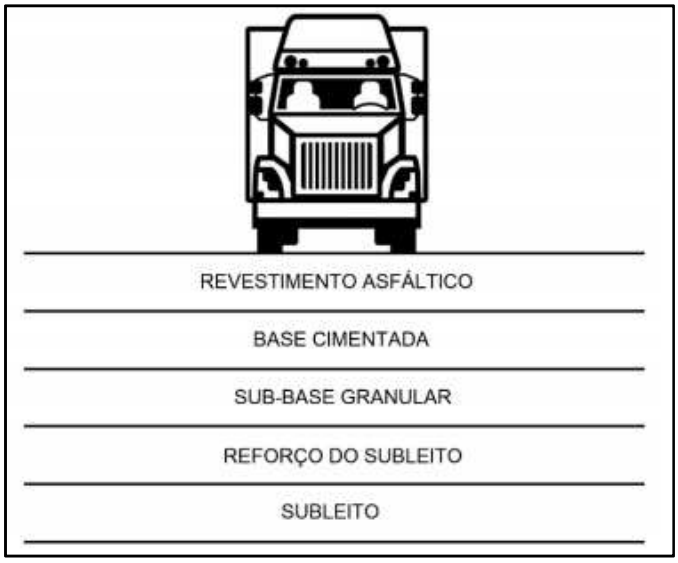
Ressalta-se ainda a importância de as misturas betuminosas apresentarem uma adequada trabalhabilidade, afim de facilitar as operações de fabrico, transporte e aplicação.

2.1.2. Pavimento semirrígido

Os pavimentos semirrígidos apresentam comportamento estrutural distinto dos pavimentos flexíveis convencionais. Compõe-se por diversas camadas, sendo seu comportamento diferenciado, com propriedades flexíveis e rígidas simultaneamente. Respondendo de forma diferenciada as tensões e deformações impostas (OLIVEIRA, 2003).

A Figura 3 ilustra a estrutura do pavimento semirrígido.

FIGURA 3 – ESTRUTURA DO PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO



FONTE: BRITO (2017)

Depois de executada uma reciclagem a frio com adição de cimento, essa estrutura tem comportamento semirrígido. Segundo Abascal (2013 apud LUVIZÃO 2014) a reciclagem com adição de cimento permite o uso de camadas danificadas, conseguindo recuperar e aumentar a capacidade de carga, fornecendo ao material obtido após a reciclagem características adequadas para a sua utilização na infraestrutura de rodovias. Esse conjunto semirrígido, é muito mais durável, com menor susceptibilidade à água e maior resistência à erosão.

2.2. CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

A manutenção de pavimentos consiste em um conjunto de medidas destinadas a recompor a serventia do pavimento e a adaptar a rodovia ás condições de tráfego atual e futuro, prolongando seu período de vida (DER-P-DE-P00/002-A).

A norma do DNER TER002 (1979, p.1) define conservação como: “conjunto de operações destinado a manter as características técnicas e operacionais da rodovia até que tais operações se tornem antieconômicas”.

Os serviços de conservação das rodovias fazem parte do conjunto de funções e atividades destinadas a proporcionar conforto e segurança aos usuários (DNIT, 2005).

A conservação rodoviária é dividida em três classificações, são elas: a conservação corretiva rotineira são as operações com objetivo de reparar ou sanar um defeito; a conservação preventiva periódica são operações com objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeito e a conservação de emergência são as operações destinadas a corrigir os defeitos surgidos de modo repentino, que ocasionem restrição ou risco aos usuários (DNER, 1979).

O Manual de Conservação Rodoviária (DNIT, 2005), referindo-se ao modelo de concessões rodoviárias e seu Programa de Exploração Rodoviária – PER, define os seguintes tópicos:

a) Conservação, intervenções que são executadas diariamente durante todo o período da concessão, de caráter rotineiro ou eventual;
b) Recuperação, intervenções que são executadas para elevar qualitativamente os componentes já existentes da rodovia, de forma a atender os parâmetros técnicos preestabelecidos, nos prazos determinados no PER;
c) Melhoramentos, intervenções necessárias a dotar a rodovia de componentes novos e/ou mais modernos, inclusive os decorrentes de avanços tecnológicos e que serão executadas durante todo o período da concessão;
d) Manutenção, intervenções periódicas de maior monta, que serão executadas para restabelecer aos parâmetros técnicos preestabelecidos quando eles atingirem os respectivos limiares mínimos, após os trabalhos de recuperação e/ou melhoramentos.

Ainda de acordo com o Manual, a estrutura dos serviços de conservação deverá estar direcionada para os aspectos físicos dos sistemas rodoviários, ou seja, aqueles relacionados às condições da pista, em termos de pavimentação, drenagem, dispositivos de segurança, sinalização horizontal, vertical e aérea, obra-de-arte especiais, além da faixa de domínio, prédios e áreas operacionais, bem como veículos e equipamentos utilizados.

Será abordado a seguir, o conceito de Conservação Especial, por se tratar de uma das soluções encontradas pelo DER/SP para restauração de seu pavimento na Rodovia SP-304.

2.2.1. Conservação Especial

Conforme diretrizes e procedimentos do documento técnico de Serviços de Conservação Especial do DER/SP(2013), define-a como sendo um conjunto de serviços ou obras que são executadas em uma rodovia em tráfego, que visam preservar o investimento inicial, adaptar a rodovias às novas condições ocorridas em seu entorno, implantar e complementar pequenas obras não executadas durante a fase de concentração, reavaliar e substituir dispositivos, propiciar condições adequadas de sinalização, manter a superfície de rolamento em condições de conforto e segurança, além de reduzir o tempo de percurso e custo de transporte.

Tem-se adotado intervenções parciais em rodovias da malha rodoviária do DER/SP, embasadas em procedimentos e conceitos de Conservação Especial. O motivo de tais intervenções, neste conceito, é de encontrar soluções quando o pavimento esteja em elevado nível de deterioração, mas existe falta de recursos financeiros, propondo o rejuvenescimento e impermeabilização do pavimento enquanto não se executam obras de caráter definitivo, como uma restauração pesada ou reconstrução (DER, 2013).

A Conservação Especial constitui-se de serviços que são executados na rodovia em tráfego, e não tem obrigatoriedade da elaboração de projeto. Propõe o rejuvenescimento e/ou regularizações da camada de rolamento com a execução de intervenções isoladas na estrutura do pavimento, com procedimentos e metodologia estabelecida no documento técnico IC-RP-000/002-A (DER-SP, 2013).

2.3. AVALIAÇÃO FUNCIONAL

Para Bernucci, L. B. et al (2006) a avaliação funcional de um pavimento está ligada com as condições da superfície e como essas influenciam no conforto durante o rolamento. Para realizar a avaliação utilizam-se parâmetros de valor de serventia, índice de irregularidade longitudinal (IRI) e defeitos da superfície do pavimento.

2.3.1. Avaliação do pavimento

A restauração do pavimento era definida apenas por avaliações subjetivas, que permitem estabelecer o estado de degradação do pavimento a partir de conceitos

qualitativos. Com a evolução dos equipamentos de medição da irregularidade longitudinal, incluiu-se as avaliações objetivas, capazes de reproduzir a percepção dos usuários, esse método expressa a degradação por quantificação numérica e por distribuição de severidade (CNT, 2017).

O procedimento da avaliação subjetiva das condições de superfície do pavimento está transcrito na Norma DNIT 009/2003-PRO, e envolve a participação de um grupo de avaliadores conhecedores da mesma e da rodovia e que são previamente orientados e preparados para a tarefa. A Avaliação Objetiva está embasada nos procedimentos da Norma DNIT 006/2003-PRO e DNIT 007/2003 PRO, sendo que é calculada analiticamente, com base no conhecimento dos valores de vários parâmetros representativos das condições de superfície do pavimento, existindo, em correspondência com tais parâmetros, uma grande variedade de Índices – os quais, de uma maneira geral, estão correlacionados entre si (DNIT, 2006).

Com base no levantamento visual contínuo, utilizado para a avaliação de superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos, conta-se com vários índices existentes, sendo eles o *Present Serviciability Rating* (PSI),o Valor de Serventia Atual (VSA) (DNIT, 2003a), o Levantamento Visual Contínuo (LVC) (DNIT,2003b),o Índice de Gravidade Global Expedito (IGGE) (DNIT, 2003b), o Índice de Estado de Superfície (IES) (DNIT, 2003b), o Índice de Condição do Pavimento Flexível (ICPF)(DNIT, 2003b) e o Índice de Irregularidade Internacional(IRI) (DNIT, 1994a, DNIT, 1994b e DNIT, 1994c).

2.3.2. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos

Segundo Bernucci, L. B. et al (2006, p.424): “A condição de superfície de um pavimento asfáltico deve ser levantada, analisados seus defeitos e causas, e atribuídos indicadores numéricos que classifiquem seu estado geral”.

No Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT,2006) a Avaliação Objetiva da Serventia é calculada com base dos valores de parâmetros representativos das condições de superfície do pavimento, existindo uma grande variedade de índices que estão correlacionados entre si.

O procedimento 006/2003-PRO (DNIT,2006a) estabelece um método de levantamento de defeitos e atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG), que pode

ser utilizado para melhor embasar o levantamento estrutural, e o procedimento 007/2003-PRO (DNIT,2006b) é utilizada para sistemas gerenciais de manutenção.

Quando efetuado o levantamento dos defeitos de superfície no pavimento, não só se avalia seu estado de conservação, mas também subsidia a definição de solução técnica do problema e indica alternativa de restauração do pavimento. As causas podem aparecer a curto, médio ou longo prazo, sendo que quando ocorrem precocemente podem ser decorrentes devido a erros de projetos, erros ou inadequações no processo dos materiais, ou nas fases construtivas e ainda na conservação a manutenção do pavimento. Na eminência de ocorrerem a médio ou longo prazo, podem ser devido ao efeito das intempéries e por uso de tráfego não previsto em projeto. (BERNUCCI et. al., 2006)

2.3.3. Defeitos de superfície

A Norma DNIT (2003e) apresenta os termos técnicos empregados para os defeitos de superfície, e os classifica em nove categorias, codificadas a seguir:

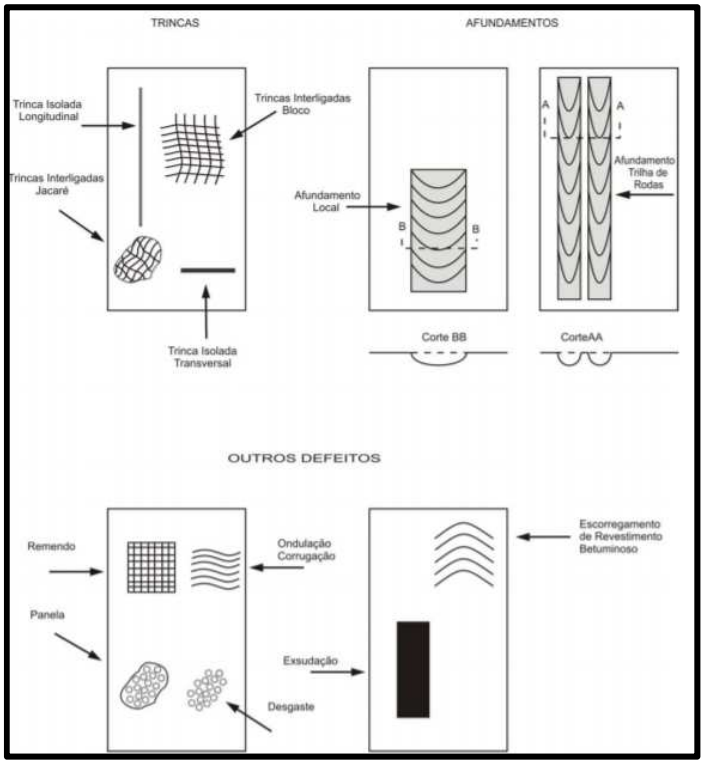
a) Fenda, descontinuidade qualquer na superfície do pavimento, conduzindo aberturas de menor ou maior porte e podem ser subdivididas em Fissuras (FI), por possuir largura capilar, é visível somente a uma distância menor que 1,50m, podendo ser encontrada longitudinalmente, transversalmente ou obliquamente, não é de natureza grave;
b) Trincas, facilmente visíveis, e largura superior à das fissuras, sendo encontradas nas formas isoladas transversais curtas (TTC) ou longas (TTL) e isoladas longitudinais curtas (TLC) ou longas (TLL), isoladas de retração (TRR) ou interligadas (tipo couro de jacaré (sem erosões (J) ou com erosões (JE), blocos sem erosões (TB) ou com erosões (TBE);
c) Afundamento, caracteriza-se por depressão na superfície, com ou sem solevamento, podendo ser encontrada com afundamento plástico ou de consolidação, podendo ser do tipo afundamento plástico causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, sendo que denomina-se afundamento plástico local se apresentar menor ou igual a 6 m, e afundamento plástico da trilha de roda, se superior a 6 m e afundamento de consolidação, causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem soerguer-se, sendo que denomina-se

afundamento de consolidação local se apresentar menor ou igual a 6 m, e afundamento consolidação da trilha de roda, se superior a 6 m;

d) Ondulação ou Corrugação, caracterizada por ondulações na superfície do pavimento;
e) Escorregamento, caracterizada pelo deslocamento do revestimento em sentido fora da faixa, e fendas em forma de meia lua;
f) Exsudação, caracterizada pelo excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento;
g) Desgaste, caracterizada pelo efeito de extração do agregado do pavimento, com aspereza superficial do revestimento;
h) Panela ou buraco, caracterizada por cavidade no revestimento;
i) Remendo, caracterizada pelo preenchimento de uma ou mais camadas de pavimento na panela, podendo ser encontrada com como remendo profundo ou remendo superficial.

Na ilustração da Figura 4, tem-se a representação gráfica dos defeitos na superfície de pavimentos.

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS DEFEITOS NA SUPERFÍCIE DOS PAVIMENTOS



FONTE: DNIT (2003e).

2.3.4. Procedimento

Todos os procedimentos dos cálculos para a avaliação objetiva da superfície de pavimentos se encontra definida norma DNIT (2003c), devendo inicialmente serem realizados a verificação das frequências absolutas e relativas de acordo com a classificação dos defeitos para prosseguimento dos demais cálculos.

Cálculo da frequência absoluta (f_a), que corresponde ao número de vezes em que houve a ocorrência do defeito, obtida pela seguinte equação:

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \tag{1}$$

Onde:

f_r– frequência relativa

f_a– frequência absoluta

n – número de estações inventariadas

O cálculo da média e da variância dos valores das flechas medidas serão obtidas através das seguintes equações:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma\, x_i}{n} \tag{2}$$

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma\, (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \tag{3}$$

Onde:

$\bar{x}$ – média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE)

x_i – valores individuais

s – desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE)

s^2 – variância

Para cada uma das ocorrências inventariadas, será calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), através da seguinte equação:

$$IGI = f_r \times f_p \tag{4}$$

Onde:

f_r– frequência relativa

f_p – fator de ponderação

O Fator de Ponderação (f_p) é obtido através da tabela de fator de ponderação do DNIT conforme Quadro 1:

QUADRO 1– VALOR DE FATOR DE PONDERAÇÃO

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia" (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA:Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da freqüência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

FONTE:DNIT (2003c)

O Índice de Gravidade Global (IGG), será calculado através da seguinte equação:

$$IGG = \Sigma\, IGI \tag{5}$$

Onde:

$\sum IGI$ – somatório dos Índices de Gravidade Individuais, devendo ser calculado para cada trecho homogêneo

Para obtenção dos resultados finais, conceituando o grau de degradação atingido, utiliza-se a seguinte tabela do grau de degradação conforme Quadro 2:

QUADRO2 – GRAU DE DEGRADAÇÃO

Conceitos	Limites
Ótimo	0 < IGG ≤ 20
Bom	20 < IGG ≤ 40
Regular	40 < IGG ≤ 80
Ruim	80 < IGG ≤ 160
Péssimo	IGG > 160

FONTE: DNIT (2003C)

2.3.5. Divisão em segmentos homogêneos

Bernucci, L. B. et al (2006) cita que para delimitação de segmentos homogêneos (SH) a partir de levantamentos defletométricos, pode-se utilizar o procedimento AASHTO (1993, apud BERNUCCI et al., p.464) e descreve como método das diferenças acumuladas, que consiste no cálculo do valor médio de deflexão para o trecho total, cálculo das diferenças entre cada valor individual e médio, cálculo das diferenças acumuladas e representação gráfica para análise da mudança do comportamento médio de um segmento para outro, delimitando as extremidades dos segmentos homogêneos.

Para o cálculo da diferença acumulada utiliza-se a seguinte equação:

$$Z_i = \Sigma A_i - \frac{\sum_{i=1}^{n} Ai}{\sum_{i=1}^{n} \Delta li} \qquad (6)$$

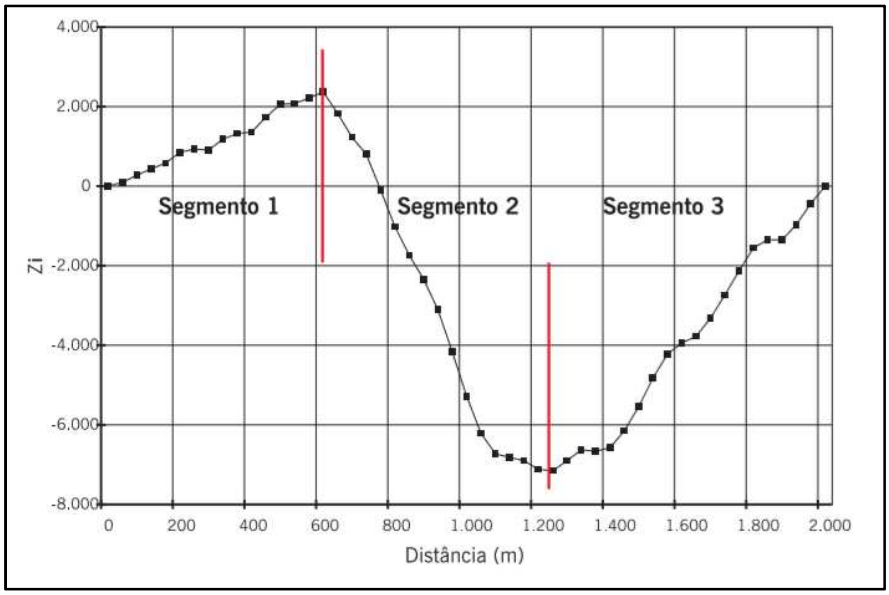
Onde:

A_i – área entre estações e curva;

Δli – distância entre estações

O gráfico da Figura 5 representa o exemplo de como delimitar os SH através das inflexões das diferenças acumuladas.

FIGURA 5 – EXEMPLO DE DELIMITAÇÃO PELO MÉTODO DAS DIFERENÇAS ACUMULADAS DA AASHTO



FONTE: BERNUCCI, L. B. ET AL(2006).

Diferentemente da Norma DNIT (2003c), as trincas no campo destinado à indicação dos defeitos, são classificadas em função da sua abertura e medidas pela determinação de seu comprimento. Calcula-se a área, arbitrando uma largura de 15 cm, e todos os demais defeitos de superfície, são medidos em cada estação pela área do retângulo que os circunscreve, demarcada a giz sobre a pista e desenhada em planilha de campo específica, obtendo-se um percentual de área afetada em um certo segmento, que representam a frequência de estações de ensaio que exibiram um determinado defeito (DNIT, 2006).

Considera-se para os segmentos homogêneos extensão mínima de 200m e máxima de 2000m (DNER, 1979).

2.4. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos flexíveis são estruturas que, normalmente, não se rompem de forma repentina, mas em função de sua deterioração funcional e estrutural, acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego (BERNUCCI et. al., 2010).

O gerenciamento de pavimentos é necessário para que, por meio de levantamentos periódicos, se quantifique as gravidade das falhas, permitindo se estimar a vida útil ainda restante e dos serviços necessários para intervenção,

repondo a estrutura em condições de atendimento a demanda do tráfego (SENÇO, 2001).

Uma estrutura de pavimento expressa seu desempenho da vida útil de projeto, quando colocada em prova, analisada e avaliada sua atuação, alcançando os objetivos pré-estabelecidos, caso contrário, deverá ser modificada até o objetivo proposto (PETERLINI, 2006).

A avaliação estrutural de pavimentos flexíveis existentes tem a finalidade de verificar as causas de suas deficiências, fornece elementos para cálculo da vida remanescente ou do reforço para um novo número “N” (DNER, 1979).

Na avaliação estrutural do pavimento, caracterizar sua estrutura, implica na determinação de seus materiais e espessuras, por meios e metodologias e engenharia, das condições de integridade dos materiais já existentes e por parâmetros estruturais, da medida de deformações (BALBO, 2007).

Tais avaliações, combinadas com a avaliação dos defeitos superficiais, definem padrões e causas patológicas que possibilitam ou não intervenções na rodovia.

2.4.1. Estudos para avaliação estrutural

Segundo o procedimento de dimensionamento de reforço de pavimento flexível DNER-PRO 011 (DNER, 1979) que trata dos procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis, os estudos recomendados compreendem os estudos preliminares e definitivos. Os preliminares são considerados informações que fornecerão uma ideia geral da constituição do trecho em análise, composto de um levantamento no pavimento existente, do histórico dele e prospecção preliminar; e os definitivos abrangem, no procedimento, a determinação, análise e avaliação das deflexões recuperáveis, inventário do estado da superfície do pavimento existente, sondagens complementares, definições dos limites dos segmentos homogêneos, determinação da deflexão admissível e estimativa de vida restante do pavimento.

Embora a avaliação estrutural de pavimentos não possuir critérios universalmente aceitos e normas rígidas que permitam maior precisão, a norma DNER-PRO-11 (DNER, 1979) vem integrar um critério para fixação de diretrizes, considerando a análise dos seguintes parâmetros: I.G.G., a deflexão de projeto (Dp) e o raio de curvatura (R).

2.4.2. Número N

O denominado número N, necessário ao dimensionamento do pavimento flexível de uma rodovia, é definido pelo número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 toneladas, durante o período de vida útil do projeto, que teria o mesmo efeito que o tráfego previsto sobre a estrutura do pavimento (DER-P00-001, 2005)".

Conforme DNIT PRO 11 (1979, p.09): "O valor de deflexão admissível depende dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, bem como do número N de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t"

No Brasil, os principais modelos e métodos de dimensionamentos de pavimento utilizam o número "N", excetuando-se o procedimento de dimensionamento de pavimento rígido da Portland Cement Association – PCA que utiliza o número acumulado de repetições dos vários tipos de eixos e cargas. (DER-P00-001, 2005)

O número N é calculado pela seguinte equação:

$$N = \sum_{i=1}^{P} N_i \tag{7}$$

Onde:

N – número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

P – período de projeto igual a 10 anos para pavimento flexível ou semirrígido e 20 anos para pavimento rígido;

i = 1 – ano de início da vida de projeto;

N_i – número equivalente de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado durante o ano "i" de acordo com a seguinte equação:

$$N_{= V_{ti} \times FV \times FR} \tag{8}$$

Onde:

V_{ti} – Volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano "i";

FV – fator de veículo da frota, que é função do método empregado;

FR – fator climático regional.

Para a determinação do volume total acumulado de veículos comerciais que trafegará pela faixa de projeto durante o ano “i” é utilizada a seguinte equação:

$$V_{ti} = VDM_a \times 365 \times D \times F_p \quad (9)$$

Onde:

V_{ti} – volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano “i”;

VDM_a – volume diário médio de veículos comerciais total durante o ano “i”;

D – distribuição direcional (%);

F_p – porcentagem de veículos comerciais na faixa de projeto (%).

O volume diário médio de veículos comerciais, VDMC, nas etapas dos projetos básicos e executivos devem ser determinadas por meio de pesquisas de contagens de tráfego realizadas de acordo com a Instrução de Projeto de Elaboração de Estudos de Tráfego (DER-P00-001, 2005).

O Fator de Veículo (FV) da frota, multiplicado pelo volume de veículos comerciais que trafega na via, fornece o número de eixos equivalentes de operações do eixo padrão (DER-P00-001, 2005).

Para a determinação do FV, é necessário inicialmente determinar o Fator Equivalente de Carga (FEC) de cada um dos veículos que trafegarão sobre o pavimento, que é o produto entre o Fator de Eixo (FE), e o Fator de Carga (FC). A determinação dos FEC pode ser efetuada por duas metodologias: a da *United States Army Corps of Engineers* – USACE preconizada pelo DNIT, e a da *American Association of State Highway and Transportation Officials* – AASHTO (DER-P00-001, 2005). As planilhas do Quadro 3 mostram as respectivas equações.

QUADRO 3– EQUAÇÕES DOS FEC

Fatores de equivalência de carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simples de rodagem simples	$FC = (P / 7{,}77)^{4{,}32}$
Simples de rodagem dupla	$FC = (P / 8{,}17)^{4{,}32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 15{,}08)^{4{,}14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = (P / 22{,}95)^{4{,}22}$

P = Peso bruto total sobre o eixo

Fatores de equivalência de carga do USACE

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

P = peso bruto total sobre o eixo

FONTE: DNIT (2006B)

Para a determinação dos fatores de carga é necessário conhecer as várias cargas por tipo de eixo que atuarão sobre o pavimento. Para tanto é necessário a realização de pesquisas de pesagem na área de influência do projeto. (DER-SP, 2005)

Para a consideração do efeito causado pelas variações de umidade dos materiais constituintes do pavimento durante as diversas estações do ano, o que se traduz em variações da capacidade de suporte dos materiais, multiplica-se o número “N” por um coeficiente denominado fator climático regional, FR. No Brasil, adota-se FR igual a 1,0, considerando os resultados de pesquisas desenvolvidas pelo DNER. (DER, 2005).

2.4.3. Deflexão de projeto

A deflexão de projeto (D_p) é obtida através das análises pontuais de cada medição efetuada sempre consoante com a norma (DNER, 1979). Para efeito de uma depuração mais significativa alguns tópicos têm que ser levados em consideração, tais como: a deflexão característica e o fator de correção sazonal.

2.4.4. Deflexão admissível

Conforme Norma DNER (1979) para impedir trincas no revestimento, deve-se manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor, que é denominado deflexão admissível, obtido através da seguinte equação:

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

2.4.5. Fator de correção sazonal

O fator de sazonal (F_s) é utilizado para corrigir as deflexões, para ser possível sua utilização em qualquer época do ano, conforme pode ser visto na planilha do Quadro 4.

QUADRO 4– FATOR DE CORREÇÃO SAZONAL

Natureza do Subleito	Fator de Correção Sazonal - F_S	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 - 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 - 1,40	1,00

FONTE: DNER (1979)

A deflexão de projeto é calculada através da deflexão característica aplicado a correção sazonal através da seguinte equação:

$$D_p = D_c \times F_s \qquad (11)$$

Onde:

D_p – deflexão de projeto, em 0,01 mm

D_c – deflexão característica obtida para a época do levantamento deflectométrico

F_s– fator de correção sazonal

Para o cálculo da deflexão característica através da seguinte equação:

$$D_c = D + \sigma \tag{12}$$

Onde:

D – média aritmética da deflexão recuperável

σ – desvio padrão da amostra

Para o cálculo da média aritmética da deflexão, utiliza-se a seguinte equação:

$$D = \frac{\Sigma D_i}{n} \tag{13}$$

Onde:

$\mathrm{D_i}$ – deflexões recuperáveis individuais

n – número de valores individuais computados

E para o desvio padrão da amostra, utiliza-se a seguinte equação:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (D_i - D)^2}{n - 1}} \tag{14}$$

2.4.6. Raio de curvatura

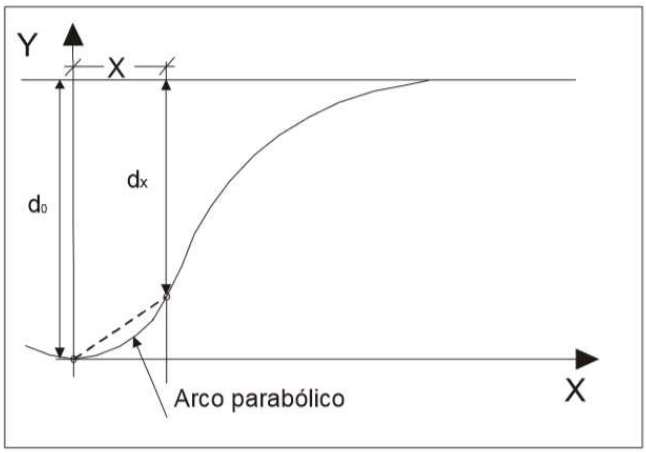
O raio de curvatura é um parâmetro indicativo da condição estrutural do pavimento em determinados pontos utilizando a deflexão, afetado principalmente pelas características elásticas dos componentes da estrutura (DNIT, 2006).

Para Bernucci, L. B. et al. (2006, p.446) o raio de curvatura é definido por: “Círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), normalmente sob a carga e a 25cm do centro da mesma (d0 e d25)”.

“Círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), normalmente sob a carga e a 25 cm do centro dela (d0 e d25)” (CNT, 2017 p. 72).

O gráfico da Figura 6 mostra o esquema deste cálculo (DNER, 1994). A partir da equação 15, indicada para cálculo do raio de curvatura R com as deflexões em centésimos de milímetro, obtém-se o raio em metros.

FIGURA 6 – DEFORMADA E RAIO DE CURVATURA



FONTE: DNIT (2006)

Conforme o IPR720 (DNIT, 2006b) a expressão de cálculo mais utilizada é a que corresponde ao ajuste de um arco parabólico que passa pelo ponto considerado, afastando genericamente do centro da carga de um valor x, e que depende da deflexão máxima e da deflexão no ponto considerado (d_x) de acordo com a seguinte equação.

$$R = \frac{10 \times x^2}{2(d_0 - d_x)} \tag{15}$$

Onde:

R – raio de curvatura, em metros;

d_0 – deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetros;

d_x – deflexão afastada do ponto, em centésimos de milímetros;

x – distância entre as medidas de deflexão, em centímetros.

Na maioria das vezes medem-se somente a deflexão máxima d0 e mais um ponto, em geral a 25cm do inicial (d25), para cálculo do chamado raio de curvatura, que representa um arco de parábola que passa pelos dois pontos. Neste caso a equação 15 passa a ter a forma de acordo com a seguinte equação.

$$R = \frac{6250}{2(d_0 - d_{25})} \tag{16}$$

Onde:

R – raio de curvatura, em metros;

d_0 – deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetros;

d_{25} – deflexão afastada do ponto, em centésimos de milímetros.

O Manual do DNIT – IPR720 (2006b, p.82) define que “O raio de curvatura baixo é indicativo de um severo arqueamento da deformada, denotando uma condição estrutural crítica”.

2.4.7. Ensaios para avaliação estrutural

Conforme o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos DNIT IPR720 (2006, p.78): “A avaliação estrutural do pavimento pode ser efetuada por meio dos elementos obtidos nos levantamentos dos defeitos de superfície, nos ensaios destrutivos e ensaios não-destrutivos”.

2.4.7.1. Ensaios destrutivos

Os ensaios destrutivos podem ser realizados para obtenção de informações de cada camada da estrutura do pavimento: teor de umidade, espessuras, tipo do material, permeabilidade, capacidade de suporte, módulo resiliente, teor de asfalto, granulometria, entre outras.

No livro Transporte Rodoviário da CNT (2017) os ensaios destrutivos podem ser realizados por meios manuais ou mecânicos, como abertura de cavas à pá e picareta; abertura de furos a trado, concha ou helicoidal; abertura de trincheiras transversais à pista; extração de amostras de revestimentos e bases com sondagens

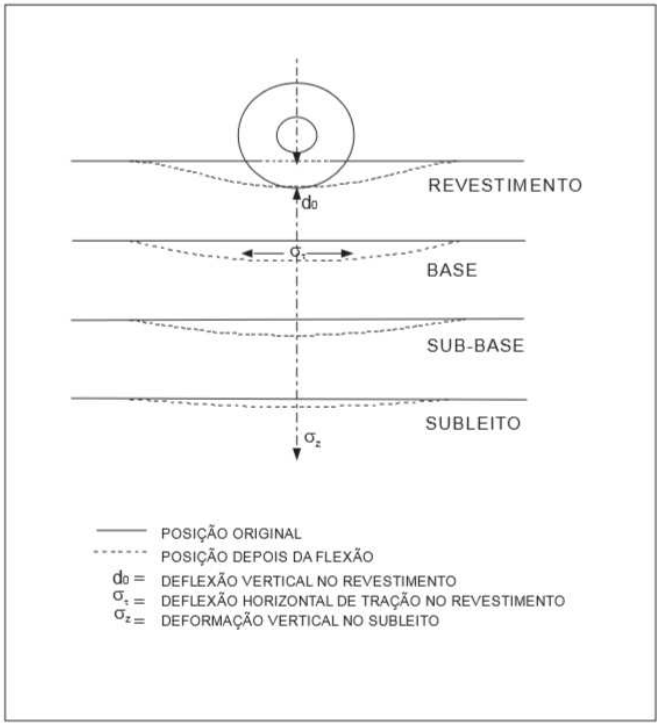
rotativas. Porém só podem ser empregados em alguns pontos devido sua característica destrutiva.

2.4.7.2. Ensaios não-destrutivos

Segundo o DNIT (2006) para determinar a capacidade estrutural do pavimento, pode-se utilizar a medição de sua deflexão (deslocamento vertical em relação à superfície do pavimento), que representa a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação de um carregamento.

A deflexão de um pavimento representa a resposta das camadas devido à aplicação de um carregamento, quando uma carga é aplicada em um ponto da superfície do pavimento, todas as camadas fletem devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento (Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos DNIT IPR720, 2006). A ilustração da Figura 7 representa a ação do pneu nas camadas do pavimento flexível.

FIGURA 7 – DEFLEXÃO PROVOCADA PELO CARREGAMENTO



FONTE: DNIT IPR720 (2006)

Os ensaios não destrutivos são recomendados quando se pretende fazer uma avaliação em grandes extensões de pista, permitindo a repetição dos ensaios em um

mesmo ponto da via e possibilitando o acompanhamento da variação da capacidade de carga com o tempo (CNT, 2017).

Seguindo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos DNIT IPR720 (2006), os ensaios não destrutivos avaliam a deflexão recuperável máxima na superfície do revestimento e são utilizados para avaliação da capacidade estrutural. Os equipamentos mais utilizados são vigas de deflexão; equipamentos dinâmicos de vibração e equipamentos dinâmicos de impacto.

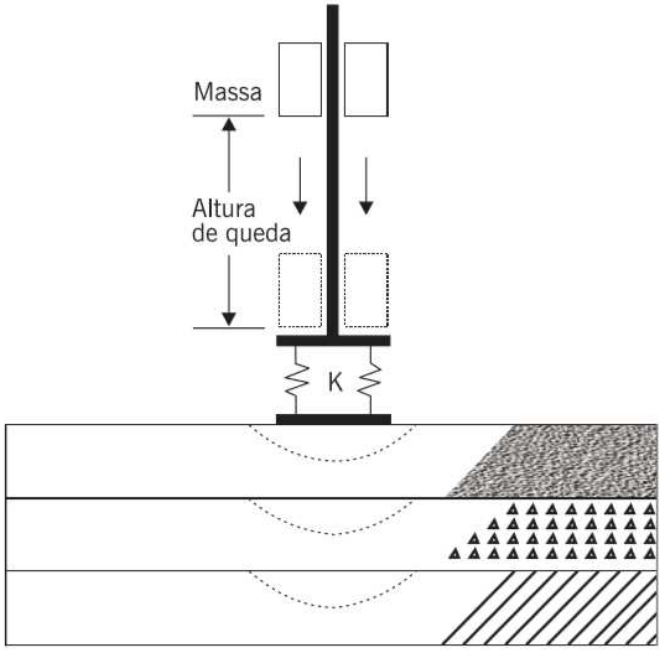
2.4.8. Avaliações deflectométricas

2.4.8.1. Avaliação Deflectométrica pelo *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Conforme descrição da CNT (2017, p. 73), “O Deflectômetro de Impacto (*Falling Weight Deflectometer - FWD*) é um equipamento que procura simular a aplicação de cargas por um par de rodas a partir de um teste dinâmico e instantâneo de aplicação de carga”.

Para Bernucci et. al.(2010) os equipamentos de FWD funcionam com o impacto por queda de um peso suspenso a certa altura, sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento no ponto de leitura da deflexão máxima, conforme ilustrado na Figura 8.

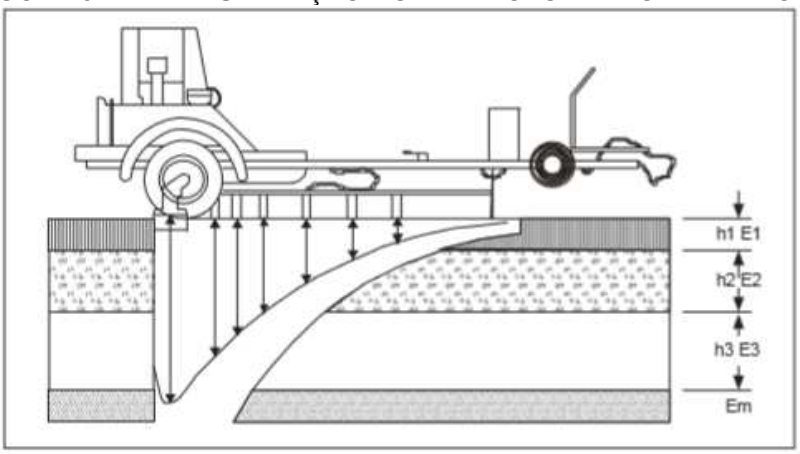
FIGURA 8– ESQUEMA DE UM DEFLECTÔMETRO DE IMPACTO



FONTE: BERNUCCI et. al. (2010)

A resposta do pavimento ao impacto é registrada por um conjunto de sensores posicionado longitudinalmente a partir do centro da placa. O equipamento é montado em um reboque e comandado automaticamente por meio de um microcomputador instalado em um veículo de apoio (DNIT IPR720, 2006). Conforme ilustrado na Figura 9.

FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO DO DEFLECTÔMETRO DE IMPACTO



FONTE: DNIT IPR720, 2006.

Conforme DNIT IPR720 (2006) a vantagem do FWB são: capacidade de simular as características de uma carga de tráfego transiente, deflexões resultantes se aproximarem das causadas por uma carga real dinâmica e o equipamento permitir a determinação precisa e rápida de deformadas completas, com aquisição automática de dados.

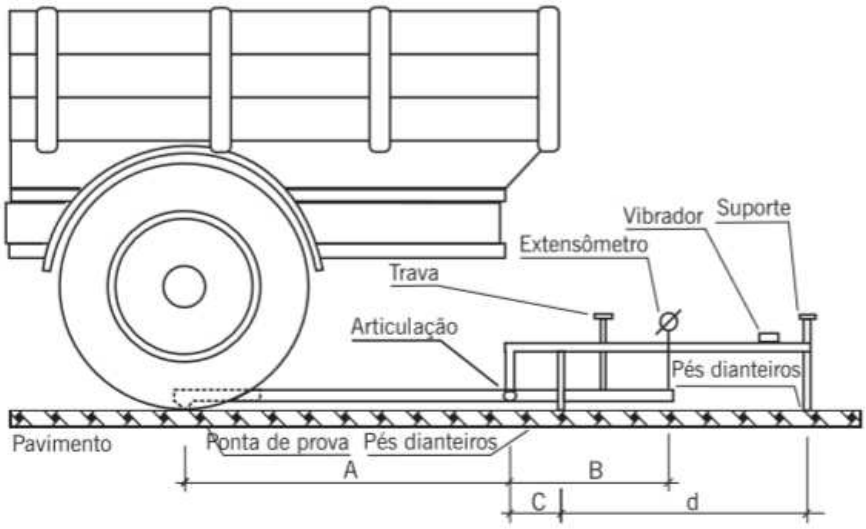
2.4.8.2. Avaliação deflectométrica com viga *Benkelman*

A viga Benkelman (VB) consiste em um equipamento muito simples que necessita de caminhão com roda dupla, carregado com material simetricamente distribuído exercendo forma de 8,2N por eixo traseiro, os pneus calibrados à pressão de 0,56Mpa, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica. (DNER, 1994d)

“As deflexões Benkelman são tomadas sob carga de eixo de 8,2 tf, ou carga de roda de 4,1 tf (DNIT IPR720, 2006 p.85). ”

Na ilustração da Figura 10, apresenta-se o esquema da Viga Benkelman.

FIGURA 10 – ESQUEMA DA VIGA BENKELMAN



FONTE: BERNUCCI ET. AL. (2010)

Para determinação da deformada completa, deve-se fazer leituras intermediárias a cada parada do veículo e a determinação das deflexões intermediárias é realizada de modo semelhante ao empregado para cálculo da deflexão máxima. Quando calculadas todas as deflexões se faz possível a análise das deformadas (CNT, 2017).

2.4.9. Aplicação de parâmetros deflectométricos

A avaliação estrutural pela aplicação dos parâmetros deflectométricos, analisa-se o emprego da deflexão máxima, do raio de curvatura e da avaliação de módulos por retroanálise (DNIT – IPR720, 2006).

2.4.9.1. Deflexão recuperável máxima

O DNIT – IPR720 (2006, p.90) insere a deflexão recuperável máxima como “Um indicativo do comportamento global da estrutura, sendo afetada pelo subleito e pelas camadas constituintes do pavimento”.

Bernucci, L. B. et al. (2006, p.446) descreve que a deflexão máxima é: “Deslocamento sob o centro da carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (VB), sendo a deflexão normalmente expressa em 10^{-2}mm (d_0)”.

Partindo da análise do perfil defletométrico, pode-se identificar com maior facilidade os locais do pavimento que estão criticamente comprometidos, utilizando-se de representação gráfica das deflexões, permite-se uma visualização geral do desempenho da estrutura, com a consequente definição de segmentos de comportamento homogêneo. (DNIT – IPR720, 2006)

Conforme DNER (1994d) a deflexão máxima d é obtida pela seguinte equação.

$$d = \left(L_i - L_f\right) \times F \tag{17}$$

Onde:

L_i – leitura de deflexão inicial

L_f – leitura de deflexão final

F – constante da viga, definida como a relação entre a parte maior e a menor do braço de prova

Para determinação de uma deformada completa, há necessidade de realizar leituras em pequenos intervalos. Calculadas todas as deflexões é possível proceder ao traçado e à análise das deformadas levantadas (DNIT – IPR720, 2006).

A deflexão máxima possibilita a determinação dos locais onde o pavimento apresenta variações nas deformações verticais reversíveis quando do carregamento imposto pelo tráfego. Porém, dependendo do tipo da estrutura do pavimento, pode-se obter um mesmo valor de deflexão máxima, mas representar inúmeros níveis de qualidade estrutural (BERNUCCI et al.,2006).

2.5. RESTAURAÇÃO

Na norma DNER (1979, p.1) define restauração como: “Conjunto de operações destinados a restabelecer o perfeito funcionamento da rodovia, mantidas as características técnicas originais de projeto, exceto quando a estrutura do pavimento que levará em conta as novas cargas incidentes”.

Para Bernucci, L. B. et al. (2010, p. 441) a restauração é definida como: “conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características técnicas originais de um pavimento (intervenções); incluem as ações de manutenção denominadas preventivas e reforço”.

A restauração deve ser planejada com base em um projeto específico para cada rodovia, partindo do estado residual do pavimento existente, considerando os parâmetros do tráfego esperado e assim definindo a solução mais adequada (IPR720 DNIT, 2006).

Segundo Bernucci, L. B. et al. (2010) o estudo é realizado por avaliações funcionais e estruturais a fim de fornecerem dados para as análises da condição da superfície do pavimento e de sua estrutura para encontrar a alternativa de restauração mais apropriada.

Quando executado recuperação do pavimento através de sua restauração é recomendado, pelo IPR 720 DNIT (2006), executar o recapeamento do pavimento existente e ainda deverá considerar a possível reconstrução do pavimento, para situações isoladas ou áreas localizadas.

Pinto e Preussler (2002), ainda orientam que estas avaliações e procedimentos para o cálculo de reforço de pavimentos flexíveis é similar para um pavimento novo, a diferença se dá no que se refere à consideração do estado atual de conservação da estrutura existente.

A análise deste trabalho de conclusão de curso abordará os seguintes procedimentos de projeto:

- IP-DE-P00/002_A (DER-SP, 2006)
- DNER – PRO 11/79 (DNER, 1979);
- DNER – PRO 269/94 (DNER, 1994).

2.5.1. Método DNER PRO 11/79

O procedimento DNER-PRO 011/79 foi desenvolvido baseado no critério de deformabilidade da estrutura do pavimento flexível, que é expresso, na prática, pelas medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento, denominado popularmente de deflexão.

Em virtude da grande variação de suporte estrutural que se observa nos pavimentos, inclusive naqueles bem construídos, usa-se critério estatístico para a interpretação das medidas.

Para o emprego do procedimento em questão, é necessário o conhecimento dos seguintes parâmetros: diagnóstico dos resultados da avaliação funcional e estrutural contendo dados dos deslocamentos verticais recuperáveis, estrutura do pavimento existente e das propriedades geotécnicas dos solos do subleito; número N, utilizando-se as equações dos FEC da USACE.

Com os dados relacionados acima, procede-se à análise global, para definição de nova segmentação homogênea devido ao diagnóstico associados de todos os parâmetros. Conhecendo-se a deflexão característica de projeto para cada segmento homogêneo e a deflexão admissível, determina-se a espessura de reforço em concreto asfáltico para cada segmento homogêneo.

De posse dos valores da deflexão característica de projeto, do raio de curvatura e da deflexão admissível, pode-se determinar o critério para cálculo do reforço, se deformabilidade ou resistência, podendo propor a medida corretiva mais adequada do ponto de vista técnico.

2.5.2. Método DNER PRO 269/94

A determinação da espessura do reforço no pavimento existente, é realizada através dos resultados dos levantamentos, como a deflexão de projeto (D_o), transformada em deflexão característica (D_c), utilizando a equação 12, obtendo a estrutura de referência constituída por três camadas para o subtrecho homogêneo uma estrutura de referência, onde a 1ª camada – camada betuminoso (h_e); 2ª camada – camada granular (H_{cg}); 3ª camada – camada de solo. A classificação do solo da 3ª camada deve ser classificada de acordo com a tabela do grupo de solos conforme a norma DNER 269 (1994), constituído por solo Tipo I ou Tipo II ou Tipo III.

Para o cálculo da espessura efetiva (hef), que é considerada a espessura equivalente ao revestimento existente e considerada no cálculo da camada de recapeamento, utiliza-se a seguinte equação.

$$\text{hef} = -5{,}737 + \frac{807{,}961}{D_C} + 0{,}972\ \mathrm{I}_1 + 4{,}101\ \mathrm{I}_2 \qquad (18)$$

Onde:

hef – Espessura efetiva(cm);

I_1 , I_2 – Constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência.

Caso 1 – Espessura da camada granular (H_{cg}) é menor ou igual a 45 cm

3ª camada Tipo I: I_1= 0 I_2= 0

3ª camada Tipo II: I_1= 1 I_2= 0

3ª camada Tipo III: I_1= 0 I_2= 1

Caso 2 – Espessura da camada granular (Hcg) é maior do que 45cm:I_1= 0 e I_2= 1

Caso 3 – A h_{ef} calculada deve estar compreendido entre os intervalos:

Se hef < 0, adotar hef = 0

0 ≤ hef ≤ he

Se hef > he, adotar hef = he

Onde:

he – espessura da camada betuminosa existente, em cm.

Caso 4 – Quando o grau de trincamento de revestimento existente for superior a 50% ou o somatório FC – 2 + FC – 3 > 80% e FC – 3 > 30% pode ser conveniente adotar o limite inferior do hef, bem como considerar a solução de recapeamento em camadas integradas de CBUQ e pré-misturado, com a finalidade de minimizar o fenômeno de reflexão de trincas no revestimento projetado.

Para definição do critério de fadiga, utiliza-se a seguinte equação.

$$\log \overline{\overline{D}} = 3{,}148 - 0{,}188 \ \log \mathrm{N_P} \tag{19}$$

Onde:

$\overline{\overline{D}}$ – Deflexão máxima admissível, 0,01mm;

$\mathrm{N_P}$ – Número cumulativo de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 80,12 KN (8,17 tf), para o período de projeto.

Para o Cálculo da espessura de reforço em concreto asfáltico, utiliza-se a seguinte equação.

$$\mathrm{HR} = -19{,}015 + \frac{238{,}14}{\sqrt{\overline{\overline{D}}}} - 1{,}357 \ \mathrm{hef} + 1{,}016 \ \mathrm{I_1} + 3{,}893 \ \mathrm{I_2} \tag{20}$$

Onde:

HR – Espessura da camada de reforço em concreto asfáltico, em cm.

2.5.3. Avaliação do tráfego

Segundo Peterlini (2017) as cargas são transmitidas aos pavimentos por rodas pneumáticas simples ou duplas arranjadas em eixos simples, eixos tandem-duplos e eixos tandem-triplos. A ação do tráfego com o passar do tempo provoca defeitos internos, muito mais difíceis de detectar e mais abrangentes em termos de efeito, pois afetam a estrutura do pavimento.

Embora as Resoluções 210/2006 e 211/2006 do CONTRAN tratem das novas configurações dos veículos e outros assuntos inerentes a questão, o DER/SP utiliza nas instruções para Projeto de Restauração de Pavimento (IP-DE-P00-002_A) e Projeto de Pavimentação (IP-DE-P00/001_A), a instrução de projeto de Elaboração de Estudos de Tráfego (IP-DE-J00/001) que não está atualizada, o que reporta as configurações antigas neste TCC, para manter uma coerência com as normas e procedimento do DER/SP.

De acordo com Moraes (2011), cada veículo possui sua configuração de eixos que são compostos pelos seguintes tipos:

• Eixo simples de rodas simples (ESRS): este tipo de eixo, geralmente é o eixo direcional (dianteiro) de todos os veículos comerciais. Alguns pequenos caminhões possuem este tipo de eixo na parte traseira do veículo. É composto de roda singela a cada lado do eixo.

• Eixo simples de rodas duplas (ESRD): este é o tipo de eixo encontrado nos caminhões médios, coloquialmente chamados de “toco” e também em vários veículos com capacidade superior de cargas. Possui duas rodas de cada lado em seu eixo.

• Eixo tandem duplo (ETD): são eixos com 4 rodas de cada lado do eixo, com suspensão unificada. São capazes de transportar cargas maiores que os eixos simples.

• Eixo tandem triplo (ETT): são eixos compostos por 3 conjuntos de rodas duplas, totalizando 6 rodas de cada lado com suspensão unificada. Os tipos de eixos descritos estão apresentados nas Figuras 11 a14.

FIGURA 11 – EIXO SIMPLES DE RODA SIMPLES

FONTE: Moraes (2011)

FIGURA 12 – EIXO SIMPLES DE RODAS DUPLAS

FONTE: Moraes (2011)

FIGURA 13 – EIXO TANDEM DUPLO

FONTE: Moraes (2011)

FIGURA 14 – EIXO TANDEM TRIPLO

FONTE: Moraes (2011)

Conforme Peterlini (2017, p. 4), “As cargas repetidas aplicadas pelos veículos são as principais causas da deterioração dos pavimentos, que devem periodicamente receber serviços de conservação, restauração ou mesmo reconstrução, dependendo da situação em que esteja”.

Para determinação do Volume Diário Médio, em projetos de Engenharia para Recuperação de Rodovias, orientado pela Instrução de Projeto IP-DE-J00/001 - DER/SP (2005): Deve-se calcular os fatores de flutuação mensal, semanal e diário, onde utilizam-se contagens volumétricas no período de um ano. Determinar os volumes de tráfego para cada segmento homogêneo. Determinaras taxas de crescimento, com base nas projeções já existentes, presentes nas séries históricas, deve-se estimar as taxas de crescimento ao longo do horizonte de estudo. Determinar as projeções de tráfego, que devem ser realizadas por intermédio de taxas de crescimento obtidas com base em dados históricos coletados em estudos econômicos consistentes.

Para determinação dos volumes de tráfego para cada segmento homogêneo, devem ser utilizadas contagens volumétricas efetuadas nas pesquisas de tráfego, devidamente corrigidas pelos fatores de sazonalidade.

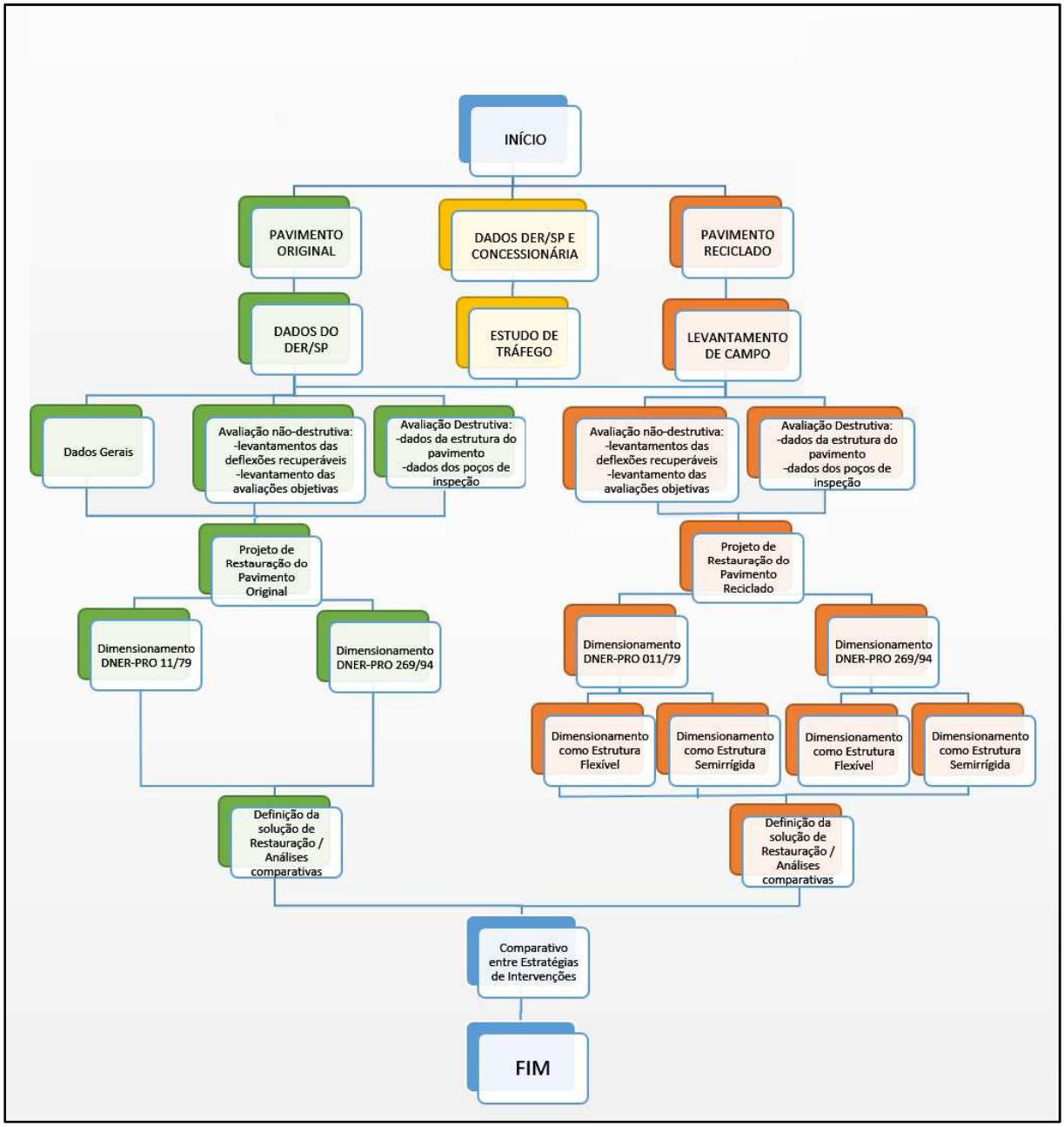
3. MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa do tipo levantamento de dados será apresentada as informações e cálculos realizados para a avaliação estrutural do pavimento. Estão incluídas as avaliações: destrutiva, não-destrutiva e de tráfego; projetos de reforços estruturais do pavimento pelas duas metodologias devidamente fundamentadas no capítulo anterior.

3.1. METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO

De maneira a atingir os objetivos geral e específicos, foi desenvolvido um fluxograma, apresentado na Figura 15, da metodologia utilizada no estudo do trabalho de conclusão de curso.

FIGURA 15 – FLUXOGRAMA



FONTE: Autoras (2019)

Este trabalho se iniciou após os serviços Conservação Especial realizada pelo DER/SP na rodovia SP-304, adotando a extensão de 1.120 metros da faixa mais solicitada, faixa 2 (externa), da pista esquerda, em sentido decrescente da rodovia SP-304.

Para a avaliação não-destrutiva, foram utilizados dados das deflexões recuperáveis e avaliações objetivas de superfície pela norma DNIT 006/2006 – PRO (IGG para PRO 11/79) e para a avaliação destrutiva, foram utilizados os dados dos

poços de sondagens para determinação dos materiais constituintes do pavimento existente.

Dividiu-se em dados do pavimento original e dados do pavimento reciclado.

Os procedimentos metodológicos utilizados para obtenção dos dados foram realizados por meio de levantamentos em campo pelas autoras, consultas e documentos fornecidos pelo DER/SP e uma Concessionária da proximidade da região, permitindo a avaliação estrutural do pavimento.

3.2. INFORMAÇÕES DA RODOVIA

A Rodovia SP-304, distante cerca de 300,0 km da capital paulista, possui diversas denominações ao longo de sua extensão, sendo considerada Rodovia Geraldo de Barros no subtrecho: Distrito Artêmis – Piracicaba (km 165,770m ao km 179,260m), conforme placa de sinalização indicativa da foto da Figura 16. Dentro desse subtrecho foi escolhido o segmento para os levantamentos de dados utilizados nesta pesquisa, iniciando-se no km 175,240m e terminando no km 176,360m conforme pode ser visto no mapa da Figura 17. Nesse segmento, a rodovia estadual possui pista dupla com canteiro central, duas faixas de rolamento para cada pista e acostamentos pavimentados.

FIGURA 16 – PLACA INDICATIVA COM NOME DA RODOVIA

FONTE: Autoras(2018).

FIGURA 17 – LOCALIZAÇÃO DE SEGMENTO DA PESQUISA

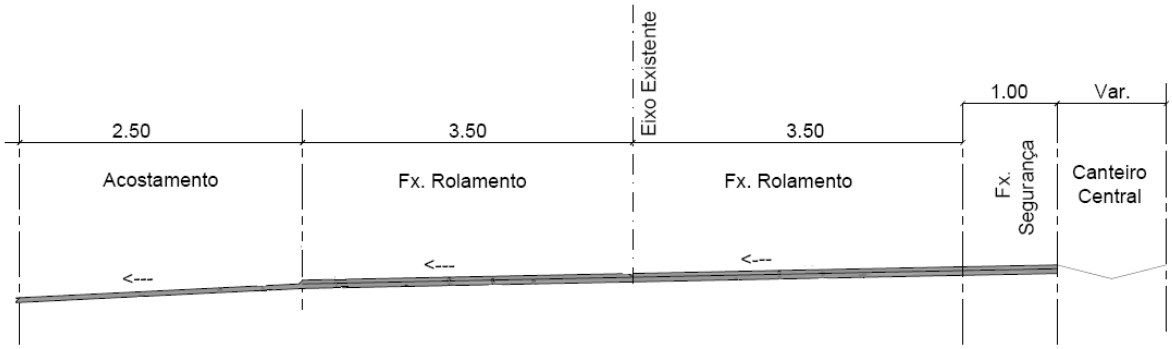
FONTE: DER/SP – WEB ROTAS (2018)

3.2.1. Histórico do pavimento existente

Nenhum relato histórico foi localizado quanto à data da construção da rodovia SP-304, sabe-se, entretanto, que no ano de 1986, o então governador do Estado de São Paulo, André Franco Montoro esteve em Santa Bárbara D'Oeste para inauguração do início da duplicação da rodovia (ROMI, 2018). Passados 28 anos do início da duplicação da rodovia, chegou a duplicação no segmento de Piracicaba – Distrito de Artemis (GLOBO, 2017).

Constituído de pavimento flexível nas pistas e acostamentos, com revestimento em concreto asfáltico e base granular do tipo solo brita, possui duas faixas de rolamento de 3,50 m de largura, contemplando acostamento externo de 2,50m, faixa de segurança interna de 1,0 m de largura e canteiro central com largura de 0,60 m a 2,5 m conforme ilustração da Figura 18. O subleito possui solo laterítico arenoso.

FIGURA 18 – SEÇÃO TRANSVERSAL DA RODOVIA



FONTE: Autoras (2018).

3.2.2. Serviços de Conservação Especial

Conforme dados do DER/SP, no ano de 2017 foram iniciadas obras de manutenção, como alternativa para restabelecer as condições de trafegabilidade e segurança, por meio de serviços de Conservação Especial.

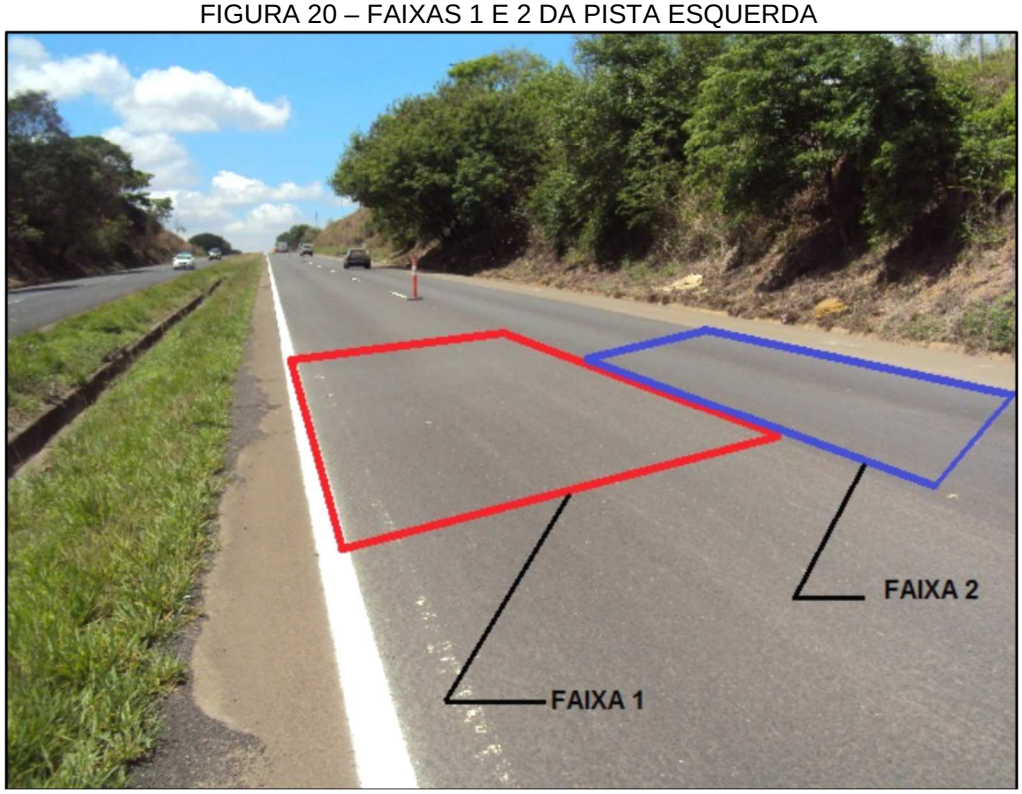
Os trabalhos inerentes a esse tipo de conservação contemplaram a realização de reparos superficiais com fresagem do pavimento e posterior revestimento com camada de cimento asfáltico usinado a quente na faixa 1 (interna) e a reconstrução parcial da estrutura existente com reciclagem de pavimento com adição de 20% de brita e 4% de cimento na faixa 2 (externa), da pista esquerda, sentido decrescente da

quilometragem, ou seja, do km 176,360 ao km 175,240. A ilustração da Figura 19demonstra a planta das duas pistas e a foto da Figura20demonstra as faixas da pista esquerda.

FIGURA 19 – INDICAÇÃO DAS FAIXAS

FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 20 – FAIXAS 1 E 2 DA PISTA ESQUERDA



FONTE: Autoras (2018)

Os levantamentos dos dados objeto do presente TCC foram iniciados após os serviços da Conservação Especial no segmento da rodovia em questão, numa extensão de 1.120,0 metros, na faixa 2 (externa) da pista esquerda.

3.3. AVALIAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA

Com o objetivo de atender as necessidades do estudo, optou-se, para os levantamentos da avaliação não-destrutiva, pelo levantamento das deflexões recuperáveis e pelas avaliações objetivas da superfície. Os dados coletados consideraram as condições do pavimento original e do pavimento reciclado.

3.3.1. Levantamento das deflexões recuperáveis

As deflexões recuperáveis foram obtidas por meio do equipamento FWD - *Falling Weight Deflectometer*, com intervalo de 317 dias (Quadros 5 e 6). Os dados dos levantamentos do pavimento original foram fornecidos pelo DER/SP, datados de 28/10/2017 e os dados do pavimento reciclado foram fornecidos pela empresa contratada datados de 10/09/2018 ~~e~~ logo após a execução dos serviços.

QUADRO 5 – LEVANTAMENTO DAS DEFLEXÃO PELO FWD –PAVIMENTO ORIGINAL

RESULTADO DAS DEFLEXÕES (FWD)

Rodovia:	SP-304	**Trecho:**	km 165.770 ao km 179.260
Sentido:	decrescente	**Pista:**	dupla
Início:	176,360	**Término:**	175,240
FWD inicial:	28/10/2017		

Estaca (km)	Força (kgf)	Deflexão (0,01 mm)							Temperatura (ºC)	
		Df1	Df2	Df3	Df4	Df5	Df6	Df7	Ar	Pavto
		0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	90 cm	120 cm		
176,360	3.921	64,30	37,30	23,30	11,80	5,90	3,70	2,80	30	31
176,320	3.964	78,90	44,90	22,10	11,70	7,00	4,20	3,10	30	31
176,280	3.820	87,40	38,60	19,50	9,20	6,80	4,40	3,80	30	30
176,240	3.935	74,20	38,70	17,50	9,00	6,90	4,60	3,50	31	30
176,200	3.799	97,50	37,10	15,50	8,90	5,50	4,10	3,00	30	30
176,160	3.784	111,00	40,50	17,80	10,80	6,90	4,80	3,90	30	30
176,120	3.871	95,70	41,60	21,70	10,50	6,20	4,30	3,80	30	30
176,080	3.827	75,20	44,10	22,90	10,40	5,50	3,80	2,60	30	30
176,040	3.935	79,90	41,30	21,70	9,40	5,40	3,10	2,30	30	31
176,000	3.871	67,70	35,70	21,00	9,40	4,70	3,00	2,10	30	31
175,960	3.741	91,40	56,60	26,60	11,60	7,30	3,90	2,90	30	31
175,920	3.892	62,40	29,40	14,90	5,40	2,50	1,70	1,40	30	31
175,880	3.914	56,90	39,50	17,10	5,30	3,20	2,00	1,50	31	30
175,840	3.820	75,40	36,50	19,70	6,20	3,00	3,00	2,20	31	31
175,800	3.791	80,90	42,10	18,70	5,80	2,80	2,30	1,50	31	31
175,760	3.878	66,60	32,20	17,30	7,40	3,40	1,80	1,20	31	32
175,720	3.791	87,50	38,50	17,60	7,00	3,30	1,90	1,20	31	32
175,680	3.820	87,20	36,20	18,30	7,30	3,80	2,50	1,90	31	32
175,640	3.878	76,00	32,80	16,70	6,20	3,40	1,90	1,40	31	32
175,600	3.878	66,10	34,60	17,40	6,40	3,20	2,30	1,10	31	32
175,560	3.885	90,10	36,60	19,30	9,10	5,20	3,20	2,20	32	32
175,520	3.892	80,50	40,20	21,70	10,20	5,70	3,80	3,00	32	31
175,480	3.806	86,30	51,30	29,70	12,50	6,10	3,60	2,90	31	30
175,440	4.173	37,10	29,00	22,90	16,90	11,30	6,00	2,40	30	29
175,400	3.770	116,80	60,10	22,40	8,70	4,30	3,00	2,30	30	30
175,360	3.914	56,20	37,60	26,20	14,30	6,80	2,70	1,80	30	30
175,320	3.748	120,00	57,50	21,60	9,70	3,40	2,30	1,60	30	31
175,280	3.827	79,70	50,80	27,90	12,00	4,30	2,30	1,60	30	31
175,240	4.000	39,30	25,80	16,50	8,60	4,70	2,30	1,70	30	31

FONTE: DER/SP (2017)

QUADRO 6– LEVANTAMENTO DAS DEFLEXÃO PELO FWD –PAVIMENTO RECICLADO

RESULTADO DAS DEFLEXÕES(FWD)

Rodovia:	SP-304	**Trecho:**	km 165.770 ao km 179.260
Sentido:	decrescente	**Pista:**	dupla
Início:	176,360	**Término:**	175,240
FWD inicial:	10/09/2018		

Estaca (km)	Força (kgf)	Deflexão (0,01 mm)							Temperatura (ºC)	
		Df1	Df2	Df3	Df4	Df5	Df6	Df7	Ar	Pavto
		0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	90 cm	120 cm		
176,360	3.989	25,50	22,00	17,90	8,50	4,60	2,20	1,90	32	30
176,320	4.050	27,20	23,50	19,20	6,40	3,40	1,70	1,40	32	29
176,280	4.024	34,60	29,90	24,40	8,10	4,40	2,10	1,80	32	29
176,240	4.083	29,40	25,40	20,70	6,90	3,70	1,80	1,60	33	29
176,200	4.050	21,40	18,50	15,00	5,00	2,70	1,30	1,10	33	29
176,160	4.038	23,20	20,10	16,30	5,40	2,90	1,40	1,20	33	30
176,120	4.001	37,90	32,80	26,70	8,90	4,80	2,30	2,00	33	29
176,080	3.976	29,80	25,80	21,00	7,00	3,80	1,80	1,60	34	30
176,040	3.984	31,60	27,40	22,30	7,40	4,00	1,90	1,70	34	30
176,000	3.997	26,80	23,20	18,90	6,30	3,40	1,60	1,40	34	30
175,960	4.040	36,20	31,30	25,50	8,50	4,60	2,20	1,90	33	30
175,920	4.022	24,70	21,30	17,40	5,80	3,10	1,50	1,30	33	30
175,880	4.004	22,50	19,50	15,90	5,30	2,80	1,40	1,20	33	30
175,840	4.073	29,80	25,80	21,00	7,00	3,80	1,80	1,60	34	30
175,800	4.059	32,10	27,70	22,60	7,50	4,00	2,00	1,70	33	30
175,760	4.055	26,40	22,80	18,60	6,20	3,30	1,60	1,40	33	31
175,720	3.978	31,70	27,40	22,30	7,40	4,00	1,90	1,70	32	31
175,680	3.933	32,50	28,10	22,90	7,60	4,10	2,00	1,70	32	31
175,640	4.081	30,10	26,00	21,20	7,10	3,80	1,80	1,60	33	31
175,600	4.004	26,20	22,60	18,40	6,10	3,30	1,60	1,40	33	32
175,560	4.047	29,70	25,70	20,90	7,00	3,70	1,80	1,60	33	32
175,520	4.035	31,90	27,50	22,40	7,50	4,00	1,90	1,70	33	31
175,480	4.057	30,20	26,10	21,30	7,10	3,80	1,80	1,60	34	31
175,440	4.040	31,70	27,40	22,30	7,40	4,00	1,90	1,70	34	31
175,400	4.080	30,30	26,20	21,30	7,10	3,80	1,90	1,60	34	31
175,360	4.036	29,20	25,30	20,60	6,90	3,70	1,80	1,60	34	31
175,320	4.050	32,50	28,00	22,90	7,60	4,10	2,00	1,70	34	31
175,280	4.058	31,60	27,30	22,20	7,40	4,00	1,90	1,70	34	31
175,240	4.043	29,60	25,50	20,80	6,90	3,70	1,80	1,60	34	31

FONTE: Ellenco Construções LTDA (2018)

3.3.2. Avaliações objetivas de superfície

Para que este estudo comparasse a condição atual do pavimento com a situação encontrada inicialmente, realizou-se uma apuração dos dados relativos aos levantamentos das condições da superfície do pavimento original da rodovia. Para isso recorreu-se aos dados fornecidos pelo DER/SP, porque, conforme citado anteriormente, o estudo iniciou-se após a execução da obra. O DER/SP utilizou a coleta de dados, baseada nos procedimentos para avaliação objetiva da superfície do pavimento(DNIT 006/2006 – PRO), utilizando-se dos termos técnicos para

identificação dos defeitos conforme terminologia do DNIT 005/2003 – TER. Cabe ressaltar que neste estudo não foi considerada a avaliação objetiva pelos procedimentos DNIT 007/2003 – PRO, pois o DER/SP não realiza tal procedimento em sua coleta de dados, sendo adotado neste TCC hipótese de cálculo sem a determinação do grau de trincamento.

As fotos da Figura 21 mostram alguns defeitos de superfície existentes na pista original:

FIGURA 21 – FOTOGRAFIA DO KM 176,160 AO KM 175,720

FONTE: DER/SP (2017)

O inventário do estado da superfície do pavimento original encontra-se demonstrado no Quadro 7:

QUADRO 7 – INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE - PAVIMENTO ORIGINAL

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

RODOVIA: SP-304 OPERADOR: FOLHA:

SITUAÇÃO: Antes da reciclagem REVESTIMENTO TIPO: Flexível - Reciclagem com cimento ESTACA OU 176,360 ESTACA OU 175,24

SUBTRECHO: Distrito de Artemis - Piracicaba DATA: 01/03/2017

Estaca	Seção Terrap.	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS RODAS	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLIDADO									
			FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC-2		FC-3		ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D	R	TRI	TRE
			1	1	1	1	1	1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8	mm	mm
176,360	535		x																				2,00	2,00
176,320	533		x																				2,00	1,00
176,280	531								x														1,00	2,00
176,240	529		x																				1,00	2,00
176,200	527								x														2,00	2,00
176,160	525		x																				3,00	4,00
176,120	523		x																				2,00	2,00
176,080	521		x																				1,00	2,00
176,040	519										x											x	2,00	4,00
176,000	517										x						x					x	5,00	5,00
175,960	515										x						x					x	4,00	5,00
175,920	513										x											x	3,00	4,00
175,880	511										x											x	3,00	5,00
175,840	509										x												2,00	2,00
175,800	507										x											x	3,00	4,00
175,760	505										x												2,00	2,00
175,720	503		x																				4,00	5,00
175,680	501										x												4,00	4,00
175,640	499										x												3,00	3,00
175,600	497								x													x	2,00	3,00
175,560	495										x												3,00	3,00
175,520	493		x																			x	2,00	2,00
175,480	491		x																				1,00	1,00
175,440	489								x														2,00	2,00
175,400	487								x														2,00	2,00
175,360	485										x												2,00	2,00
175,320	483		x																				1,00	1,00
175,280	481								x														1,00	1,00
175,240	479	OK																					1,00	1,00

FONTE: DER/SP (2017)

Para os dados relativos às condições de superfície, no pavimento reciclado, realizou-se levantamento de campo. Foram realizados os levantamentos conforme procedimentos prescritos pelo DNIT 006/2006 – PRO, utilizando-se identificação dos defeitos conforme a terminologia DNIT 005/2003 – TER. Não foram detectados nenhum defeito no pavimento, portanto, não foram levantadas as áreas de trincamento (DNIT 007/2003 – PRO).

Para a avaliação, a equipe, andando pela pista, demarcou a superfície com giz para localização das estações, numerando-as a cada 20 metros a partir da quilometragem inicial. Procedeu-se, nova marcação, agora com mais dois traços, sendo um a 3 metros avante e outro a 3 metros de ré da estação para determinação da faixa de avaliação. A partir de cada área demarcada, anotou-se os defeitos presentes na superfície.

As fotos das Figuras 22a 25 mostram os levantamentos de campo efetuados pelas autoras na data de 21 de setembro de 2018.

FIGURA 22– FOTOGRAFIA DA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO NO KM 176+360

FONTE: Autoras(2018)

FIGURA 23 – FOTOGRAFIA DA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO DO KM 176+080

FONTE: Autoras(2018)

FIGURA 24 – EQUIPE DE SINALIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO LEVANTAMENTO

FONTE: Autoras(2018)

FIGURA 25 – FECHAMENTO DA PISTA PARA EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO

FONTE: Autoras (2018)

Realizado o levantamento, elaborou-se um inventário do estado da superfície do pavimento reciclado conforme os resultados mostrados na Tabela 1, considerando-se apenas o método DNIT 006/2003 PRO.

TABELA 1– INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE - PAVIMENTO RECICLADO

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

RODOVIA:	SP-304	OPERADOR: Patrícia e Caroline	FOLHA:	
SITUAÇÃO:	Depois da reciclagem	REVESTIMENTO TIPO: Flexível - Reciclagem com cimento	ESTACA OU QUILÔMETRO	ESTACA OU QUILÔMETRO
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba	DATA: 21/09/2018	176,360	175,24

Estaca	Seção Terraep.	OK	TRINCAS										APUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS RODAS	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLÁSTICO		CONSOLIDADO									
			FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC-2		FC-3		ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX	D	R	TRI	TRE
			1	1	1	1	1	1	J 2	TB 2	JE 3	TBE 3	4	4	4	4	5	5	5	6	7	8	--	--
176,360		OK																						
176,320		OK																						
176,280		OK																						
176,240		OK																						
176,200		OK																						
176,160		OK																						
176,120		OK																						
176,080		OK																						
176,040		OK																						
176,000		OK																						
175,960		OK																						
175,920		OK																						
175,880		OK																						
175,840		OK																						
175,800		OK																						
175,760		OK																						
175,720		OK																						
175,680		OK																						
175,640		OK																						
175,600		OK																						
175,560		OK																						
175,520		OK																						
175,480		OK																						
175,440		OK																						
175,400		OK																						
175,360		OK																						
175,320		OK																						
175,280		OK																						
175,240		OK																						

FONTE: Autoras (2018)

Calculou-se as frequências relativas e absolutas a partir da natureza de seus defeitos, determinando-se o índice de gravidade individual, o índice de gravidade global e o conceito de degradação do pavimento (Tabelas 2, 3 e 4) do pavimento original.

TABELA 2– CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 1, PAVIMENTOORIGINAL

RODOVIA:	SP-304 (segmento 1)					Data: março/2017	Folha: 01/03
SITUAÇÃO:	Antes das intervenções	REVESTIMENTO TIPO:	Flexível - Reciclagem com cimento			Estaca ou Quilometro	Estaca ou Quilometro
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba					176,360	175,920
Item	**Natureza do Defeito**	**Frequência Absoluta**	**Frequência Absoluta considerada**	**Frequência Relativa**	**Fator de Ponderação**	**Índice de Gravidade Individual (I.G.I.)**	**Observações**
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	6	6	50	0,20	10,00	
2	(FC-2) J, TB	2	2	17	0,50	8,30	
3	(FC-3), JE, TBE	4	4	33	0,80	26,70	
4	ALP, ATP	0		0	0,90	-	
5	O, P, E	2		17	1,00	16,70	
6	EX	0		0	0,50	-	
7	D	0		0	0,30	-	
8	R	4		33	0,60	20,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE= 2,92	TRI = 2,33	F = 2,63	1 A (x) 1 B ( )	3,50	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 1,90	TRIv = 1,52	Fv = 1,71	2 A (X) 2 B ( )	1,70	
Nº Total de Estações Inventariadas		n = 12	$\sum IND.GRAVID.IND. = IGG$			**87,00**	**RUIM**
1A) IGI =	$\bar{F}$ x 4/3 quando $\bar{F}$ <= 30		2A) IGI =	$\overline{FV}$ quando	$\overline{FV}$ <= 50	Operador	
1B) IGI =	40 quando $\bar{F}$ > 30		2B) IGI =	50 quando	$\overline{FV}$ > 50	Cálculo	
						Visto	

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 3 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 2, PAVIMENTO ORIGINAL

RODOVIA:	SP-304 (segmento 2)					Data: março/2017	Folha: 02/03
SITUAÇÃO:	Antes das intervenções	REVESTIMENTO TIPO:	Flexível - Reciclagem com cimento			Estaca ou Quilometro	Estaca ou Quilometro
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba					175,920	175,520
Item	**Natureza do Defeito**	**Frequência Absoluta**	**Frequência Absoluta considerada**	**Frequência Relativa**	**Fator de Ponderação**	**Índice de Gravidade Individual (I.G.I.)**	**Observações**
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	2	20	0,20	4,00	
2	(FC-2) J, TB	1	1	10	0,50	5,00	
3	(FC-3), JE, TBE	7	7	70	0,80	56,00	
4	ALP, ATP	0		0	0,90	-	
5	O, P, E	0		0	1,00	-	
6	EX	0		0	0,50	-	
7	D	0		0	0,30	-	
8	R	4		40	0,60	24,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE= 3,30	TRI = 2,80	F = 3,05	1 A (x) 1 B ( )	4,10	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,62	TRIv = 0,29	Fv = 0,45	2 A (X) 2 B ( )	0,50	
Nº Total de Estações Inventariadas		n = 10	$\sum IND.GRAVID.IND. = IGG$			**94,00**	**RUIM**
1A) IGI =	$\bar{F}$ x 4/3 quando $\bar{F}$ <= 30		2A) IGI =	$\overline{FV}$ quando	$\overline{FV}$ <= 50	Operador	
1B) IGI =	40 quando $\bar{F}$ > 30		2B) IGI =	50 quando	$\overline{FV}$ > 50	Cálculo	
						Visto	

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 4– CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 3, PAVIMENTO ORIGINAL

RODOVIA:	SP-304 (segmento 3)					Data: março/2017	Folha: 03/03
SITUAÇÃO:	Antes das intervenções	REVESTIMENTO TIPO:	Flexível - Reciclagem com cimento			Estaca ou Quilometro	Estaca ou Quilometro
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba					175,520	175,240
Item	**Natureza do Defeito**	**Frequência Absoluta**	**Frequência Absoluta considerada**	**Frequência Relativa**	**Fator de Ponderação**	**Índice de Gravidade Individual (I.G.I.)**	**Observações**
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	2	2	29	0,20	5,70	
2	(FC-2) J, TB	3	3	43	0,50	21,40	
3	(FC-3), JE, TBE	1	1	14	0,80	11,40	
4	ALP, ATP	0		0	0,90	-	
5	O, P, E	0		0	1,00	-	
6	EX	0		0	0,50	-	
7	D	0		0	0,30	-	
8	R	0		0	0,60	-	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE= 1,43	TRI = 1,43	F = 1,43	1 A (x) 1 B ( )	1,90	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,29	TRIv = 0,29	Fv = 0,29	2 A (X) 2 B ( )	0,30	
Nº Total de Estações Inventariadas		n = 7	$\sum IND.GRAVID.IND. = IGG$			**41,00**	**REGULAR**
1A) IGI =	$\bar{F}$ x 4/3 quando	$\bar{F}$ <= 30	2A) IGI =	$\overline{FV}$ quando	$\overline{FV}$ <= 50	Operador	
1B) IGI =	40 quando	$\bar{F}$ > 30	2B) IGI =	50 quando	$\overline{FV}$ > 50	Cálculo	
						Visto	

FONTE: Autoras (2018)

Calculou-se as frequências relativas e absolutas a partir da natureza de seus defeitos, determinando-se o índice de gravidade individual, o índice de gravidade global e o conceito de degradação do pavimento (tabelas 5, 6 e 7) do pavimento reciclado.

TABELA 5– CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 1, PAVIMENTO RECICLADO

RODOVIA:	SP-304 (segmento 1)					Data: setembro/2018	Folha: 01/03
SITUAÇÃO:	Depois das intervenções	REVESTIMENTO TIPO:	Flexível - Reciclagem com cimento			Estaca ou Quilometro	Estaca ou Quilometro
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba					176,360	175,920
Item	**Natureza do Defeito**	**Frequência Absoluta**	**Frequência Absoluta considerada**	**Frequência Relativa**	**Fator de Ponderação**	**Índice de Gravidade Individual (I.G.I.)**	**Observações**
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0	0	0,20	-	
2	(FC-2) J, TB	0	0	0	0,50	-	
3	(FC-3), JE, TBE	0	0	0	0,80	-	
4	ALP, ATP	0		0	0,90	-	
5	O, P, E	0		0	1,00	-	
6	EX	0		0	0,50	-	
7	D	0		0	0,30	-	
8	R	0		0	0,60	-	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE= 0,00	TRI = 0,00	F = 0,00	1 A (x) 1 B ( )	-	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,00	TRIv = 0,00	Fv = 0,00	2 A (X) 2 B ( )	-	
Nº Total de Estações Inventariadas		n = 12	$\sum IND.GRAVID.IND. = IGG$			-	**ÓTIMO**
1A) IGI =	$\bar{F}$ x 4/3 quando $\bar{F}$ <= 30		2A) IGI =	$\overline{FV}$ quando	$\overline{FV}$ <= 50	Operador	
						Cálculo	
1B) IGI =	40 quando $\bar{F}$ > 30		2B) IGI =	50 quando	$\overline{FV}$ > 50	Visto	

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 6 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 2, PAVIMENTO RECICLADO

RODOVIA:	SP-304 (segmento 2)					Data: setembro/2018	Folha: 02/03
SITUAÇÃO:	Depois das intervenções	REVESTIMENTO TIPO:	Flexível - Reciclagem com cimento			Estaca ou Quilometro	Estaca ou Quilometro
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba					175,920	175,520
Item	**Natureza do Defeito**	**Frequência Absoluta**	**Frequência Absoluta considerada**	**Frequência Relativa**	**Fator de Ponderação**	**Índice de Gravidade Individual (I.G.I.)**	**Observações**
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0	0	0,20	-	
2	(FC-2) J, TB	0	0	0	0,50	-	
3	(FC-3), JE, TBE	0	0	0	0,80	-	
4	ALP, ATP	0		0	0,90	-	
5	O, P, E	0		0	1,00	-	
6	EX	0		0	0,50	-	
7	D	0		0	0,30	-	
8	R	0		0	0,60	-	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE= 0,00	TRI = 0,00	F = 0,00	1 A (x) 1 B ( )	-	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,00	TRIv = 0,00	Fv = 0,00	2 A (X) 2 B ( )	-	
Nº Total de Estações Inventariadas		n = 10	$\sum IND.GRAVID.IND. = IGG$			-	**ÓTIMO**
1A) IGI =	$\bar{F}$ x 4/3 quando $\bar{F}$ <= 30		2A) IGI =	$\overline{FV}$ quando	$\overline{FV}$ <= 50	Operador	
						Cálculo	
1B) IGI =	40 quando $\bar{F}$ > 30		2B) IGI =	50 quando	$\overline{FV}$ > 50	Visto	

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 7 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG) – SEGMENTO 3, PAVIMENTORECICLADO

RODOVIA:	SP-304 (segmento 3)					Data: setembro/2018	Folha: 03/03
SITUAÇÃO:	Depois das intervenções	REVESTIMENTO TIPO:	Flexível - Reciclagem com cimento			Estaca ou Quilometro	Estaca ou Quilometro
SUBTRECHO:	Distrito de Artemis - Piracicaba					175,520	175,240
Item	**Natureza do Defeito**	**Frequência Absoluta**	**Frequência Absoluta considerada**	**Frequência Relativa**	**Fator de Ponderação**	**Índice de Gravidade Individual (I.G.I.)**	**Observações**
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	0	0	0	0,20	-	
2	(FC-2) J, TB	0	0	0	0,50	-	
3	(FC-3), JE, TBE	0	0	0	0,80	-	
4	ALP, ATP	0		0	0,90	-	
5	O, P, E	0		0	1,00	-	
6	EX	0		0	0,50	-	
7	D	0		0	0,30	-	
8	R	0		0	0,60	-	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE= 0,00	TRI = 0,00	F = 0,00	1 A (x) 1 B ( )	-	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv = 0,00	TRIv = 0,00	Fv = 0,00	2 A (X) 2 B ( )	-	
Nº Total de Estações Inventariadas		n = 7	$\sum IND.GRAVID.IND. = IGG$			-	ÓTIMO
1A) IGI =	$\bar{F}$ x 4/3 quando $\bar{F}$ <= 30		2A) IGI =	$\overline{FV}$ quando	$\overline{FV}$ <= 50	Operador	
						Cálculo	
1B) IGI =	40 quando $\bar{F}$ > 30		2B) IGI =	50 quando	$\overline{FV}$ > 50	Visto	

FONTE: Autoras (2018)

3.4. AVALIAÇÃO DESTRUTIVA

Esses levantamentos consideraram informações do pavimento original e do pavimento reciclado, relativas aos materiais constituintes da estrutura do pavimento, obtidas por dados dos poços de sondagem.

3.4.1. Estrutura do pavimento

As informações da prospecção quanto aos materiais constituintes do revestimento e base do pavimento original foram obtidas a partir de dados fornecidos pelo DER/SP. O Quadro 8 indica a estaca 475, que está localizada na extensão em estudo.

QUADRO 8– MATERIAIS CONSTITUINTES DO PAVIMENTO ORIGINAL

POÇOS DE INSPEÇÃO

Cliente:	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
Obra:	SP 304 - Rodovia Luiz de Queiroz - km 165,770 ao km 179,260
Local:	Piracicaba - SP
Relatório:	4102.1-03

Trecho : 2º Trecho

ESTACA DO FURO (CAMPO)	ESTACA DE PROJETO	KM	POÇO (Nº)	CAMADAS	FAIXA DE ROLAMENTO ESPESSURAS (CM)	ACOSTAMENTO ESPESSURAS (CM)	OBSERVAÇÕES
25	25+10	166,270	PI - 02	C.B.U.Q.	9,0	6,0	-
				Solo Brita	7,0	7,0	-
				-	-	-	-
75	75+10	167,340	PI - 04	C.B.U.Q.	11,0	9,0	-
				Solo Brita	34,0	30,0	-
				-	-	-	-
125	125+10	168,417	PI - 06	C.B.U.Q.	9,0	10,0	-
				Solo Brita	19,0	13,0	-
				-	-	-	-
175	175+10	169,557	PI - 08	C.B.U.Q.	12,0	10,0	-
				Solo Brita	20,0	15,0	-
				-	-	-	-
225	225	170,427	PI - 10	C.B.U.Q.	13,0	7,0	-
				Solo Brita	20,0	19,0	-
				-	-	-	-
275	275	171,400	PI - 12	C.B.U.Q.	10,0	8,0	-
				Solo Brita	20,0	21,0	-
				-	-	-	-
325	325	172,440	PI - 14	C.B.U.Q.	10,0	8,0	-
				Solo Brita	20,0	17,0	-
				-	-	-	-
375	376+10	173,480	PI - 16	C.B.U.Q.	11,0	11,0	-
				Solo Brita	20,0	16,0	-
				-	-	-	-
425	424+10	174,430	PI - 18	C.B.U.Q.	11,0	9,0	-
				Solo Brita	18,0	20,0	-
				-	-	-	-
475	474	175,404	PI - 20	C.B.U.Q.	8,0	7,0	-
				Solo Brita	22,0	21,0	-
				-	-	-	-
525	524	176,412	PI - 22	C.B.U.Q.	12,0	12,0	-
				Base Estabilizada	31,0	27,0	-
				-	-	-	-

FONTE: DER/SP (2018)

Para as informações dos materiais constituintes do revestimento e base do pavimento reciclado, foi realizada uma prospecção à pá e picareta para extração de amostra o qual foi possível obter as espessuras das camadas constituintes do pavimento no segmento pesquisado conforme mostra a foto da Figura 26.

FIGURA 26 – POÇO DE INSPEÇÃO KM 175+404

FONTE: Autoras (2018)

Tem-se, dos dados dos poços de prospecção do pavimento original e do pavimento reciclado, que a estrutura do pavimento é composta por:

a) Revestimento em concreto asfáltico com 8,0 cm no pavimento original;
b) Revestimento em concreto asfáltico com 6,0 cm no pavimento reciclado;
c) Base de material granular de 22,0 cm, do tipo solo brita, no pavimento original;
d) Base de material granular de 20,0 cm, do tipo reciclagem com adição de 20% de brita e 4% de cimento no pavimento reciclado.

3.5. ESTUDOS DE TRÁFEGO

Esse estudo foi realizado para cálculo do número N, através do levantamento dos volumes de tráfego, classificação e pesagem dos veículos.

Para obtenção dos dados de Volume Diário Médio (VDM), foi necessário um estudo de tráfego da rodovia, sendo utilizado dados fornecidos pelo DER/SP e de uma empresa concessionária de rodovia próxima ao local.

O DER/SP disponibilizou dados relativos às contagens de tráfego do ano de 2013 e VDM (disponibilizadas no Anexo 7.4). Incluem-se nestes dados referente a rodovia SP-304: km 131,000 sentido Americana - Santa Bárbara D'Oeste, km 142,

sentido SP-348 (Via Bandeirantes) – Piracicaba e km 171, sentido Piracicaba - Águas de São Pedro.

Para a determinação do VMD, o DER/SP realiza contagens classificatórias/volumétricas para cálculo do Volume Médio Diário (VMD) em seus postos de contagem, baseados em tabelas provenientes de pesquisas e estudos realizados em várias rodovias do estado de São Paulo. Seu cálculo leva em consideração os fatores de correções horários, semanais e mensais sendo corrigidos, para determinação do mesmo.

O Quadro 9 mostra o TMDA do subtrecho Americana – Santa Bárbara de contagens classificatórias/volumétricas realizadas no km 131 da SP - 304 considerando somente veículos comerciais, ou seja, não se levando em consideração automóveis, utilitários e motocicletas.

QUADRO 9 –TMDA DO SUBTRECHO AMERICANA - SANTA BÁRBARA D'OESTE, SP-304, KM 131

VDMa 2013	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	TOTAL
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
	478	***18***	***340***	***966***	***796***	***103***	***40***	***170***	***340***	***109***	***292***	***4***	***21***	***11***	***64***	***324***	***18***	**4.094**

FONTE: DER/SP

TABELA 8 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO SP-348 (VIA BANDEIRANTES) - PIRACICABA - KM 142

VDMa 2013	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	TOTAL
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
	268	***14***	***364***	***882***	***952***	***90***	***21***	***128***	***615***	***40***	***478***	***11***	***18***	***18***	***29***	***132***	***48***	**4.108**

FONTE: DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

TABELA 9 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO PIRACICABA - ÁGUAS DE SÃO PEDRO - KM 171

VDMa 2013	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	TOTAL
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
	421	***26***	***276***	***488***	***457***	***32***	***8***	***89***	***164***	***34***	***133***	***9***	***4***	***6***	***19***	***52***	***19***	**2.237**

FONTE: DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

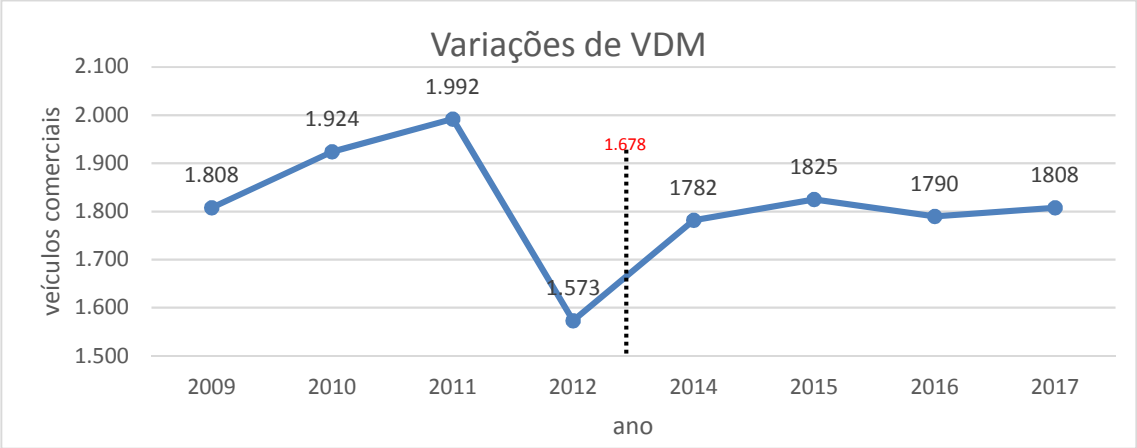
Quanto à Concessionária, foram fornecidas contagens classificatórias/volumétricas diárias referente a rodovia SP-147 para todo o ano de 2017 na Praça de Pedágio localizada no km 127, subtrecho: Iracemápolis – Piracicaba nas proximidades do subtrecho da SP-304 objeto da presente pesquisa.

Observa-se que o km 171 é mais próximo ao segmento em estudo e que os demais, km 131 e 142 da SP-304 e km 127 da SP-304, são mais distantes.

Destaca-se que os dados fornecidos pelo DER/SP são do ano de 2013 e da Concessionária do ano de 2017, portanto, para equiparação na análise de resultados, foram projetados os dados do DER/SP para o ano de 2017, adotando-se percentual de projeção pela taxa de crescimento estatística da série histórica de tráfego no trecho.

Para o ano de 2013 foi considerado a média de veículos comerciais entre os anos de 2012 e 2014, obtendo-se o volume de tráfego demonstrado no gráfico da Figura 24.

FIGURA 27 – VARIAÇÕES DE VDM



FONTE: DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

Foram estimadas as taxas de crescimento, calculadas pelo incremento de tráfego de veículos comerciais dos dados estatísticos de 2009 a 2017 do DER/SP conforme é mostrado no Quadro 10.

QUADRO 10 – PERCENTUAL DE INCREMENTO DE TRÁFEGO

ANO	VEÍCULOS COMERCIAIS	INCREMENTO (%)
2009	1.808	
2010	1.924	6,42
2011	1.992	3,53
2012	1.573	-21,03
2013	1.678	6,64
2014	1782	6,23
2015	1825	2,41
2016	1790	-1,92
2017	1808	1,01

FONTE:DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

Com os dados de TMDA disponíveis do DER/SP do ano de 2013, aplicou-se o percentual de incremento de cada ano, atualizando-se o VDMa até o ano de 2017 (Tabelas 10, 11 e 12) do km 131, km 142 e km 171.

TABELA 10 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO AMERICANA - SANTA BÁRBARA D'OESTE - KM 131

VDMa	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	Total	INCREMENTO (%)
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4			
VDMa 2013	478	18	340	966	796	103	40	170	340	109	292	4	21	11	64	324	18	4.094	
VDMa 2014	508	19	361	1.026	846	109	42	181	361	116	310	4	22	12	68	344	19	4.349	6,23
VDMa 2015	520	20	370	1.051	866	112	44	185	370	119	318	4	23	12	70	352	20	4.454	2,41
VDMa 2016	510	19	363	1.031	849	110	43	181	363	116	312	4	22	12	68	346	19	4.368	-1,92
VDMa 2017	515	19	366	1.041	858	111	43	183	366	117	315	4	23	12	69	349	19	4.412	1,01

FONTE: DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

TABELA 11– VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO SP-348 (VIA BANDEIRANTES) - PIRACICABA - KM 142

VDMa	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	Total	INCREMENTO (%)
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4			
VDMa 2013	268	14	364	882	952	90	21	128	615	40	478	11	18	18	29	132	48	4.108	
VDMa 2014	285	15	387	937	1.011	96	22	136	653	42	508	12	19	19	31	140	51	4.364	6,23
VDMa 2015	292	15	396	960	1.036	98	23	139	669	44	520	12	20	20	32	144	52	4.469	2,41
VDMa 2016	286	15	388	941	1.016	96	22	137	656	43	510	12	19	19	31	141	51	4.383	-1,92
VDMa 2017	289	15	392	951	1.026	97	23	138	663	43	515	12	19	19	31	142	52	4.428	1,01

FONTE: DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

TABELA 12 – VDMA VEÍCULOS COMERCIAIS - SENTIDO PIRACICABA - ÁGUAS DE SÃO PEDRO - KM 171

VDMa	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	TOTAL	INCREMENTO (%)
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4			
VDMa 2013	421	26	276	488	457	32	8	89	164	34	133	9	4	6	19	52	19	2.237	
VDMa 2014	447	28	293	518	485	34	8	95	174	36	141	10	4	6	20	55	20	2.376	6,23
VDMa 2015	458	28	300	531	497	35	9	97	178	37	145	10	4	7	21	57	21	2.434	2,41
VDMa 2016	449	28	294	521	488	34	9	95	175	36	142	10	4	6	20	55	20	2.387	-1,92
VDMa 2017	454	28	297	526	493	34	9	96	177	37	143	10	4	6	20	56	20	2.411	1,01

FONTE: DER/SP, adaptado pelas Autoras (2018)

Atualizados as informações do VDMa do DER/SP para o ano 2017 e considerando os dados do TDMa do ano de 2017 da Concessionária (Tabela 13), promoveu-se o comparativo de dados.

TABELA 13– TDMA VEÍCULOS COMERCIAIS –(RODOVIA PRÓXIMA) SP 147 - SENTIDO IRACEMÁPOLIS - PIRACICABA - PEDÁGIO KM 127

Ano / pista	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	TOTAL
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
TDMa 2017	154	88	23	24	29	5	1	0	6	0	2	0	0	0	0	0	0	332

FONTE: Concessionária, adaptado pelas Autoras (2018)

Adotou-se neste estudo, o VDMa de 2017 (Tabela 14) do km 171 da rodovia SP-304, para cálculo do número “N”.

TABELA 14 – VDMA

VDMa 2017	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	TOTAL
	2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
	454	28	297	526	493	34	9	96	177	37	143	10	4	6	20	56	20	**2.411**

FONTE: Autoras (2018)

Determinado o VDMa a ser considerado, e por não terem sido localizadas informações de variáveis socieconômicas para o tráfego futuro, projetou-se uma taxa de crescimento para o período de projeto, adotando-se uma taxa de 2,50%, que é a utilizada usualmente pelo DER/SP em seus cálculos, pois segundo seus estudos, tal projeção representa adequadamente o crescimento do volume de tráfego nas rodovias do Estado de São Paulo.

Para o Fator Regional (FR), adotou-se o fator 1,0, pois segundo pesquisas desenvolvidas por algumas instituições envolvidas, como por exemplo, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transpores (IPR/DNIT), ele é o usualmente adotado no Brasil.

Quanto ao Fator Direcional (FD), utilizou-se o fator 0,50, pois o estudo de tráfego contemplou o volume para o quilometro da rodovia. O fator de faixa considerado no estudo foi de 1,00, pois o DER/SP preconiza em seus projetos 100% do tráfego na faixa mais solicitada, sendo considerada a mesma concepção neste estudo.

Utilizou-se a tabela de fator de equivalência de carga – FC, de metodologia da USACE, para determinação do Fator de Veículo (FV), por se tratar da metodologia preconizada pelo corpo de engenheiros do exército americano e também utilizada nos métodos de dimensionamento adotados pelo DER/SP, entretanto, encontra-se disponibilizado no apenso, o cálculo do número “N” com os Fatores de Veículos calculados pela metodologia AASHTO.

O Fator de Veículo foi calculado através dos fatores de veículos individuais (DNER, 2006 p.145) para as diferentes categorias de veículos comerciais de interesse, no caso, os ônibus, caminhões médios e pesados, caminhões com semirreboque, do tipo Romeu e Julieta e Bi trem, descartando os automóveis e veículos leves, por serem desprezíveis no cálculo. Admitindo-se 80% da frota

carregada e 20% vazia, e utilizando-se a tabela de equivalência de carga – USACE, que é a metodologia dos engenheiros americanos, obteve-se, através da equação21, os cálculos para determinação do Fator de Veículo, que se encontram demonstrados na Tabela 15.

$$\mathrm{F.V.} = \frac{(\Sigma\ \mathrm{FVi\ X\ Pi}\ )}{100} \tag{21}$$

TABELA 15 – FATOR DE VEÍCULO CALCULADO

CÁLCULO DO FATOR DE VEÍCULOS - USACE															
Classificação dos Veículos		ni - Nº Eixos Simples (roda simples)	FCi USACE	ni - Nº Eixos Simples (roda dupla)	FCi USACE	ni - Nº de Eixos Tandem duplo (roda dupla)	FCi USACE	Nº de Eixos Tandem triplo (roda dupla)	FCi USACE	VDMa Volume Diário Médio Anual	Pi % VDMa	Fatores de Veículos - USACE			
												FVi = Σ ni x FCi		FVt = FVi x Pi	
Classe	Tipo											carregado	vazio	carregado	vazio
2C	Ônibus	1	0,28	1	3,29	0	8,55	0	9,30	454	18,82	3,57	0,00	0,67	0,00
3C		1	0,28	0	3,29	1	8,55	0	9,30	28	1,16	8,83	0,00	0,10	0,00
2C	Médios + Pesados	1	0,28	1	3,29	0	8,55	0	9,30	823	34,15	3,57	0,00	1,22	0,00
3C		1	0,28	0	3,29	1	8,55	0	9,30	493	20,43	8,83	0,00	1,80	0,00
4C		1	0,28	0	3,29	0	8,55	1	9,30	34	1,43	9,58	0,00	0,14	0,00
2S1	Caminhões com Semi Reboques	1	0,28	2	3,29	0	8,55	0	9,30	9	0,36	6,86	0,00	0,02	0,00
2S2		1	0,28	1	3,29	1	8,55	0	9,30	96	3,98	12,12	0,00	0,48	0,00
2S3		1	0,28	1	3,29	0	8,55	1	9,30	177	7,33	12,87	0,00	0,94	0,00
3S2		1	0,28	0	3,29	2	8,55	0	9,30	37	1,52	17,38	0,00	0,26	0,00
3S3		1	0,28	0	3,29	1	8,55	1	9,30	143	5,95	18,13	0,00	1,08	0,00
2C2	Romeu e Julieta	1	0,28	3	3,29	0	8,55	0	9,30	10	0,40	10,15	0,00	0,04	0,00
2C3		1	0,28	2	3,29	1	8,55	0	9,30	4	0,18	15,41	0,00	0,03	0,00
3C2		1	0,28	2	3,29	1	8,55	0	9,30	6	0,27	15,41	0,00	0,04	0,00
3C3		1	0,28	1	3,29	2	8,55	0	9,30	20	0,85	20,66	0,00	0,18	0,00
3C4		1	0,28	0	3,29	3	8,55	0	9,30	56	2,32	25,92	0,00	0,60	0,00
BiTrem		1	0,28	0	3,29	2	8,55	1	9,30	20	0,85	26,68	0,00	0,23	0,00
									VDMa Total	**2.411**	**100,0**		**FVt =**	**7,84**	**0,00**

Tipos de eixo	P (tf)	P (tf)	FEC USACE	FEC USACE
	Carregado	Vazio	Carregado	Vazio
Dianteiro simples e traseiro simples	6	0,00	0,28	0,00
	10	0,00	3,29	0,00
Tandem duplo	17	0,00	8,55	0,00
Tandem triplo (rodagem dupla)	25,5	0,00	9,30	0,00

FV = (FVt carregado X 80%) + (FVt vazio X 20%)
FV = (7,84 x 80%) + (0,00 x 20%)

FVusace = 6,27

FONTE: Autoras (2018)

Determinados o VDM, Fator de Veículo, Fator Regional, Fator Direcional e percentual de taxa de crescimento, calculou-se o número “N” (equação 22) para um período de projeto de 10 anos (Tabela 16).

$$\mathrm{N} = 365\ \times \mathrm{VDMa} \times \mathrm{FV}\ \times \mathrm{FR} \times \mathrm{FD} \tag{22}$$

TABELA 16 – CÁLCULO DO NÚMERO "N"

FD	FR	FV	TAXA CRESCIMENTO	
0,50	1,00	6,27	2,50%	
Ano	Período de Projeto	VDM projetado	USACE	
			Anual	Acumulado
2017	0º	2.411	2,76E+06	
2018	0º	2.471	2,83E+06	2,83E+06
2019	1º	2.533	2,90E+06	5,73E+06
2020	2º	2.596	2,97E+06	8,70E+06
2021	3º	2.661	3,05E+06	1,17E+07
2022	4º	2.728	3,12E+06	1,49E+07
2023	5º	2.796	3,20E+06	1,81E+07
2024	6º	2.866	3,28E+06	2,13E+07
2025	7º	2.938	3,36E+06	2,47E+07
2026	8º	3.011	3,45E+06	2,82E+07
2027	9º	3.086	3,53E+06	3,17E+07
2028	10º	3.163	3,62E+06	**3,53E+07**

FONTE: Autoras (2018)

3.6. PROJETO DE RESTAURAÇÃO

Com os dados obtidos pelos levantamentos de campo, procedeu-se o projeto de restauração, nas condições do pavimento original e pavimento reciclado.

Incluem-se no projeto de restauração, as correções das deflexões e determinação das deflexões características e de projeto, definição de segmentos com comportamento homogêneo, determinação do ISC/CBR de projeto, percentual de Silte do solo e o dimensionamento do reforço.

3.6.1. Correção das deflexões em função das cargas aplicadas

O ensaio de deflexão por meio do equipamento FWD permite a simulação através de um pulso de carga, entretanto, o mesmo é variável, portanto foi realizado o ajuste de carga ao semieixo padrão rodoviário (tabelas 17 e 18), permitindo a equalização para uma única carga.

Ressalta-se que este estudo considerou as deflexões na temperatura real. Justifica-se por estar a favor da segurança e refletir condições mais realistas, porque

a temperatura local nos horários de maior solicitação das cargas é mais alta que a temperatura padrão de 25ºC considerada para determinação do reforço do pavimento.

TABELA 17– DEFLEXÕES AJUSTADAS PARA CARGA 4.100 KGF – PAVIMENTO ORIGINAL

RESULTADO DAS DEFLEXÕES INICIAIS (FWD) - carga corrigida para 4.100 kgf

Rodovia: SP-304 **Trecho:** km 165.770 ao km 179.260

Sentido: decrescente **Pista:** Dupla

Início: 176,360 **Término:** 175,24

FWD inicial: 28/10/2017

Estaca (km)	Carga CORRIGIDA (kgf)	Deflexão (0,01 mm)							Temperatura (ºC)	
		Df1 0 cm	Df2 20 cm	Df3 30 cm	Df4 45 cm	Df5 60 cm	Df6 90 cm	Df7 120 cm	Ar	Pavto
176,360	**4.100**	67,23	39,00	24,36	12,33	6,16	3,86	2,92	30	31
176,320	**4.100**	81,60	46,44	22,85	12,10	7,24	4,34	3,20	30	31
176,280	**4.100**	93,80	41,42	20,92	9,87	7,29	4,72	4,07	30	30
176,240	**4.100**	77,31	40,32	18,23	9,37	7,18	4,79	3,64	31	30
176,200	**4.100**	105,22	40,03	16,72	9,60	5,93	4,42	3,23	30	30
176,160	**4.100**	120,26	43,88	19,28	11,70	7,47	5,20	4,22	30	30
176,120	**4.100**	101,36	44,06	22,98	11,12	6,56	4,55	4,02	30	30
176,080	**4.100**	80,56	47,24	24,53	11,14	5,89	4,07	2,78	30	30
176,040	**4.100**	83,25	43,03	22,60	9,79	5,62	3,22	2,39	30	31
176,000	**4.100**	71,70	37,81	22,24	9,95	4,97	3,17	2,22	30	31
175,960	**4.100**	100,17	62,03	29,15	12,71	8,00	4,27	3,17	30	31
175,920	**4.100**	65,73	30,97	15,69	5,68	2,63	1,79	1,47	30	31
175,880	**4.100**	59,60	41,37	17,91	5,55	3,35	2,09	1,57	31	30
175,840	**4.100**	80,92	39,17	21,14	6,65	3,21	3,21	2,36	31	31
175,800	**4.100**	87,49	45,53	20,22	6,27	3,02	2,48	1,62	31	31
175,760	**4.100**	70,41	34,04	18,29	7,82	3,59	1,90	1,26	31	32
175,720	**4.100**	94,63	41,63	19,03	7,57	3,56	2,05	1,29	31	32
175,680	**4.100**	93,59	38,85	19,64	7,83	4,07	2,68	2,03	31	32
175,640	**4.100**	80,35	34,67	17,65	6,55	3,59	2,00	1,48	31	32
175,600	**4.100**	69,88	36,58	18,39	6,76	3,38	2,43	1,16	31	32
175,560	**4.100**	95,08	38,62	20,36	9,60	5,48	3,37	2,32	32	32
175,520	**4.100**	84,80	42,34	22,85	10,74	6,00	4,00	3,16	32	31
175,480	**4.100**	92,96	55,26	31,99	13,46	6,57	3,87	3,12	31	30
175,440	**4.100**	36,45	28,49	22,49	16,60	11,10	5,89	2,35	30	29
175,400	**4.100**	127,02	65,36	24,36	9,46	4,67	3,26	2,50	30	30
175,360	**4.100**	58,87	39,38	27,44	14,97	7,12	2,82	1,88	30	30
175,320	**4.100**	131,27	62,90	23,62	10,61	3,71	2,51	1,75	30	31
175,280	**4.100**	85,38	54,42	29,89	12,85	4,60	2,46	1,71	30	31
175,240	**4.100**	40,28	26,44	16,91	8,81	4,81	2,35	1,74	30	31

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 18– DEFLEXÕES AJUSTADAS PARA CARGA 4.100 KGF –PAVIMENTO RECICLADO

RESULTADO DAS DEFLEXÕES FINAIS (FWD) - força corrigida para 4.100 kgf

Rodovia:	SP-304	**Trecho:**	km 165.770 ao km 179.260
Sentido:	decrescente	**Pista:**	Dupla
Início:	176,360	**Término:**	175,240
FWD inicial:	10/09/2018		

Estaca (km)	Força CORRIGIDA (kgf)	Deflexão (0,01 mm)							Temperatura (ºC)	
		Df1	Df2	Df3	Df4	Df5	Df6	Df7	Ar	Pavto
		0 cm	20 cm	30 cm	45 cm	60 cm	90 cm	120 cm		
176,360	**4.100**	26,20	22,61	18,39	8,73	4,72	2,26	1,95	30	31
176,320	**4.100**	27,53	23,79	19,43	6,47	3,44	1,72	1,41	30	31
176,280	**4.100**	35,25	30,46	24,86	8,25	4,48	2,13	1,83	30	30
176,240	**4.100**	29,52	25,50	20,78	6,92	3,71	1,80	1,60	31	30
176,200	**4.100**	21,66	18,72	15,18	5,06	2,73	1,31	1,11	30	30
176,160	**4.100**	23,55	20,40	16,55	5,48	2,94	1,42	1,21	30	30
176,120	**4.100**	38,83	33,61	27,36	9,12	4,91	2,35	2,04	30	30
176,080	**4.100**	30,72	26,60	21,65	7,21	3,91	1,85	1,64	30	30
176,040	**4.100**	32,52	28,19	22,94	7,61	4,11	1,95	1,74	30	31
176,000	**4.100**	27,49	23,79	19,38	6,46	3,48	1,64	1,43	30	31
175,960	**4.100**	36,73	31,76	25,87	8,62	4,66	2,23	1,92	30	31
175,920	**4.100**	25,17	21,71	17,73	5,91	3,16	1,52	1,32	30	31
175,880	**4.100**	23,03	19,96	16,28	5,42	2,86	1,43	1,22	31	30
175,840	**4.100**	29,99	25,97	21,13	7,04	3,82	1,81	1,61	31	31
175,800	**4.100**	32,42	27,97	22,82	7,57	4,04	2,02	1,71	31	31
175,760	**4.100**	26,69	23,05	18,80	6,26	3,33	1,61	1,41	31	32
175,720	**4.100**	32,67	28,24	22,98	7,62	4,12	1,95	1,75	31	32
175,680	**4.100**	33,87	29,29	23,87	7,92	4,27	2,08	1,77	31	32
175,640	**4.100**	30,24	26,12	21,29	7,13	3,81	1,80	1,60	31	32
175,600	**4.100**	26,82	23,14	18,84	6,24	3,37	1,63	1,43	31	32
175,560	**4.100**	30,08	26,03	21,17	7,09	3,74	1,82	1,62	32	32
175,520	**4.100**	32,41	27,94	22,76	7,62	4,06	1,93	1,72	32	31
175,480	**4.100**	30,52	26,37	21,52	7,17	3,84	1,81	1,61	31	30
175,440	**4.100**	32,17	27,80	22,63	7,50	4,05	1,92	1,72	30	29
175,400	**4.100**	30,44	26,32	21,40	7,13	3,81	1,90	1,60	30	30
175,360	**4.100**	29,66	25,70	20,92	7,00	3,75	1,82	1,62	30	30
175,320	**4.100**	32,90	28,34	23,18	7,69	4,15	2,02	1,72	30	31
175,280	**4.100**	31,92	27,58	22,42	7,47	4,04	1,91	1,71	30	31
175,240	**4.100**	30,01	25,85	21,09	6,99	3,75	1,82	1,62	30	31

FONTE: Autoras (2018)

3.6.2. Correção das deflexões FWD para VB

Segundo a publicação IPR-720 (Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos) do DNIT, as deflexões características Benkelman e os respectivos desvios padrões, geralmente, possuem valores superiores aos obtidos pelo FWD, sendo que este estudo analisará tais considerações apresentando: dados originais com deflexão FWD; dados considerando a correlação para deflexão de FWD para

Viga Benkelman do DNIT e do DER/SP, no pavimento original e pavimento reciclado, demonstrados nas Tabelas 19 e 20.

Para a correlação da deflexão de FWD para Viga Benkelman, foram utilizadas as equações 23, 24 e 25 para sua determinação.

DER/SP

$$D_{vb} = D_{fwd} \times 1{,}20 \tag{23}$$

Fonte: Borges(2011)

DNIT

Para deflexões características $D_{fwd} < 85\ mm$

$$D_{vb} = 20{,}645\ (D_{fwd} - 19) \tag{24}$$

Para deflexões características $D_{fwd} > 85\ mm$

$$D_{vb} = 8{,}964\ (D_{fwd} - 60) \tag{25}$$

TABELA 19 – DEFLEXÕES CONSIDERANDO AS CORRELAÇÕES DE FWD PARA VIGA – PAVIMENTO ORIGINAL

RESULTADO DAS DEFLEXÕES ANTES DAS INTERVENÇÕES
FWD para Viga Benkelman

Rodovia: SP-304 **Trecho:** km 165.770 ao km 179.260

Sentido: decrescente **Pista:** Dupla

Início: 176,360 **Término:** 175,240

FWD inicial: 28/10/2017

Estaca (km)	Carga CORRIGIDA (kgf)	Deflexão (0,01 mm)						
		D fwd 0 cm	D fwd 0 cm	correlação DER	D vb DER 0 cm	D fwd 0 cm	correlação DNIT	D vb DNIT 0 cm
176,360	4.100	**67,23**	67,23	1,20	**80,68**	67,23	<85	**80,47**
176,320	4.100	**81,60**	81,60	1,20	**97,92**	81,60	<85	**88,19**
176,280	4.100	**93,80**	93,80	1,20	**112,56**	93,80	**>85**	**111,09**
176,240	4.100	**77,31**	77,31	1,20	**92,77**	77,31	<85	**86,02**
176,200	4.100	**105,22**	105,22	1,20	**126,26**	105,22	**>85**	**136,79**
176,160	4.100	**120,26**	120,26	1,20	**144,31**	120,26	**>85**	**167,97**
176,120	4.100	**101,36**	101,36	1,20	**121,63**	101,36	**>85**	**128,34**
176,080	4.100	**80,56**	80,56	1,20	**96,67**	80,56	<85	**87,67**
176,040	4.100	**83,25**	83,25	1,20	**99,90**	83,25	<85	**89,00**
176,000	4.100	**71,70**	71,70	1,20	**86,04**	71,70	<85	**83,02**
175,960	4.100	**100,17**	100,17	1,20	**120,20**	100,17	**>85**	**125,69**
175,920	4.100	**65,73**	65,73	1,20	**78,88**	65,73	<85	**79,59**
175,880	4.100	**59,60**	59,60	1,20	**71,52**	59,60	<85	**75,75**
175,840	4.100	**80,92**	80,92	1,20	**97,10**	80,92	<85	**87,85**
175,800	4.100	**87,49**	87,49	1,20	**104,99**	87,49	**>85**	**95,83**
175,760	4.100	**70,41**	70,41	1,20	**84,49**	70,41	<85	**82,30**
175,720	4.100	**94,63**	94,63	1,20	**113,56**	94,63	**>85**	**113,03**
175,680	4.100	**93,59**	93,59	1,20	**112,31**	93,59	**>85**	**110,60**
175,640	4.100	**80,35**	80,35	1,20	**96,42**	80,35	<85	**87,57**
175,600	4.100	**69,88**	69,88	1,20	**83,86**	69,88	<85	**82,00**
175,560	4.100	**95,08**	95,08	1,20	**114,10**	95,08	**>85**	**114,08**
175,520	4.100	**84,80**	84,80	1,20	**101,76**	84,80	<85	**89,75**
175,480	4.100	**92,96**	92,96	1,20	**111,55**	92,96	**>85**	**109,11**
175,440	4.100	**36,45**	36,45	1,20	**43,74**	36,45	<85	**56,32**
175,400	4.100	**127,02**	127,02	1,20	**152,42**	127,02	**>85**	**181,23**
175,360	4.100	**58,87**	58,87	1,20	**70,64**	58,87	<85	**75,27**
175,320	4.100	**131,27**	131,27	1,20	**157,52**	131,27	**>85**	**189,38**
175,280	4.100	**85,38**	85,38	1,20	**102,46**	85,38	**>85**	**90,51**
175,240	4.100	**40,28**	40,28	1,20	**48,34**	40,28	<85	**60,39**

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 20– DEFLEXÕES CONSIDERANDO AS CORRELAÇÕES DE FWD PARA VIGA – PAVIMENTO RECICLADO

RESULTADO DAS DEFLEXÕES DEPOIS DAS INTERVENÇÕES
FWD para Viga Benkelman

Rodovia: SP-304 **Trecho:** km 165.770 ao km 179.260

Sentido: decrescente **Pista:** Dupla

Início: 176,360 **Término** 175,240

FWD inicial: 28/10/2017

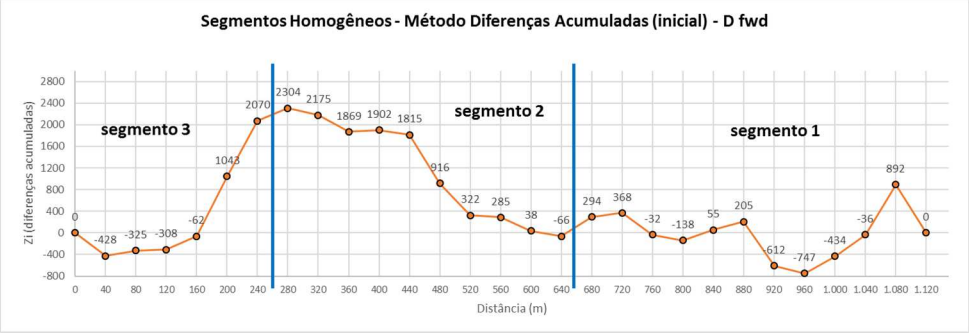
Estaca (km)	Carga CORRIGIDA (kgf)	Deflexão (0,01 mm)						
		D fwd 0 cm	D fwd 0 cm	correlação DER	D vb DER 0 cm	D fwd 0 cm	correlação DNIT	D vb DNIT 0 cm
176,360	4.100	**26,20**	26,20	1,20	**31,44**	26,20	<85	**41,28**
176,320	4.100	**27,53**	27,53	1,20	**33,04**	27,53	<85	**43,81**
176,280	4.100	**35,25**	35,25	1,20	**42,30**	35,25	<85	**54,93**
176,240	4.100	**29,52**	29,52	1,20	**35,42**	29,52	<85	**47,16**
176,200	4.100	**21,66**	21,66	1,20	**25,99**	21,66	<85	**29,10**
176,160	4.100	**23,55**	23,55	1,20	**28,26**	23,55	<85	**35,14**
176,120	4.100	**38,83**	38,83	1,20	**46,60**	38,83	<85	**58,91**
176,080	4.100	**30,72**	30,72	1,20	**36,86**	30,72	<85	**48,98**
176,040	4.100	**32,52**	32,52	1,20	**39,02**	32,52	<85	**51,50**
176,000	4.100	**27,49**	27,49	1,20	**32,99**	27,49	<85	**43,74**
175,960	4.100	**36,73**	36,73	1,20	**44,08**	36,73	<85	**56,64**
175,920	4.100	**25,17**	25,17	1,20	**30,20**	25,17	<85	**39,10**
175,880	4.100	**23,03**	23,03	1,20	**27,64**	23,03	<85	**33,67**
175,840	4.100	**29,99**	29,99	1,20	**35,99**	29,99	<85	**47,89**
175,800	4.100	**32,42**	32,42	1,20	**38,90**	32,42	<85	**51,36**
175,760	4.100	**26,69**	26,69	1,20	**32,03**	26,69	<85	**42,24**
175,720	4.100	**32,67**	32,67	1,20	**39,20**	32,67	<85	**51,70**
175,680	4.100	**33,87**	33,87	1,20	**40,64**	33,87	<85	**53,25**
175,640	4.100	**30,24**	30,24	1,20	**36,29**	30,24	<85	**48,27**
175,600	4.100	**26,82**	26,82	1,20	**32,18**	26,82	<85	**42,49**
175,560	4.100	**30,08**	30,08	1,20	**36,10**	30,08	<85	**48,02**
175,520	4.100	**32,41**	32,41	1,20	**38,89**	32,41	<85	**51,35**
175,480	4.100	**30,52**	30,52	1,20	**36,62**	30,52	<85	**48,68**
175,440	4.100	**32,17**	32,17	1,20	**38,60**	32,17	<85	**51,03**
175,400	4.100	**30,44**	30,44	1,20	**36,53**	30,44	<85	**48,56**
175,360	4.100	**29,66**	29,66	1,20	**35,59**	29,66	<85	**47,38**
175,320	4.100	**32,90**	32,90	1,20	**39,48**	32,90	<85	**52,00**
175,280	4.100	**31,92**	31,92	1,20	**38,30**	31,92	<85	**50,68**
175,240	4.100	**30,01**	30,01	1,20	**36,01**	30,01	<85	**47,92**

FONTE: Autoras (2018)

3.6.3. Segmentos Homogêneos

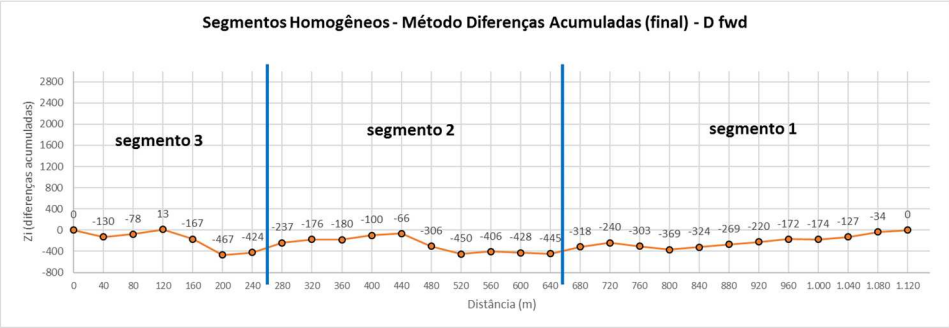
Efetuados os pontos de máximo e mínimo, os gráficos das Figuras 28, 29, 30, 31, 32 e 33 demonstram os resultados dos cálculos da variação de coeficiente angular da curva que indica uma mudança do comportamento médio de um determinado segmento para outro, sendo importante para delimitar os segmentos homogêneos na extensão em estudo, de forma a se aplicar medidas corretivas necessárias a cada natureza do problema.

FIGURA 28– IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (DEFLEXÕES ORIGINAIS) – INICIAL



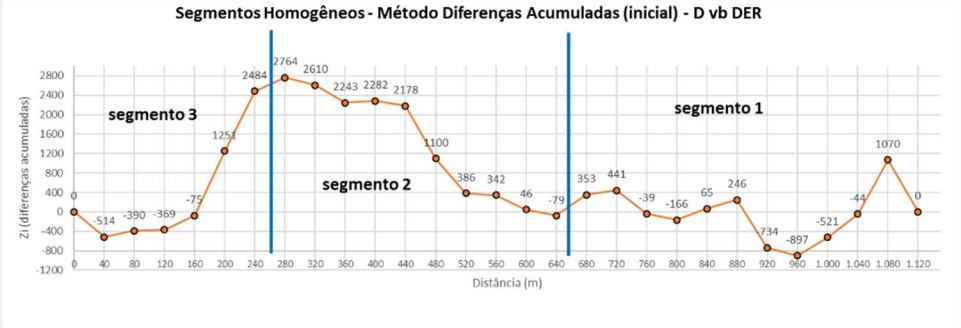
FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 29– IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (DEFLEXÕES ORIGINAIS) - FINAL



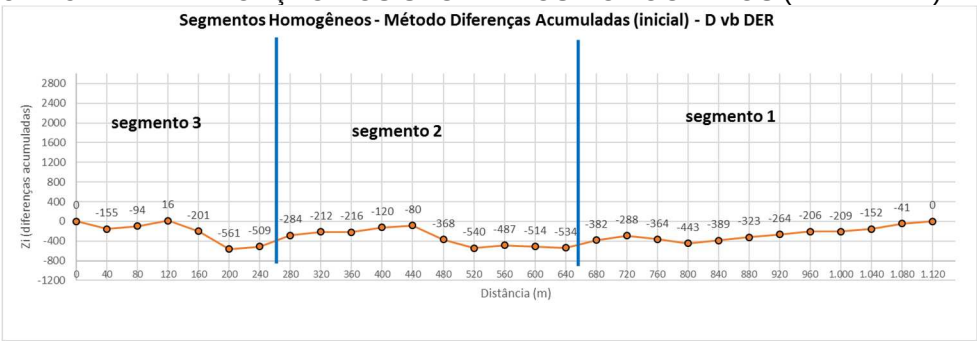
FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 30 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD - DER) INICIAL



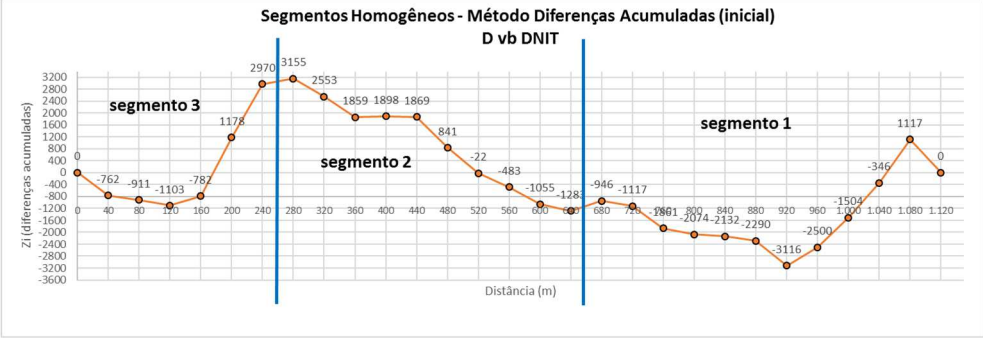
FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 31 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD - DER) FINAL



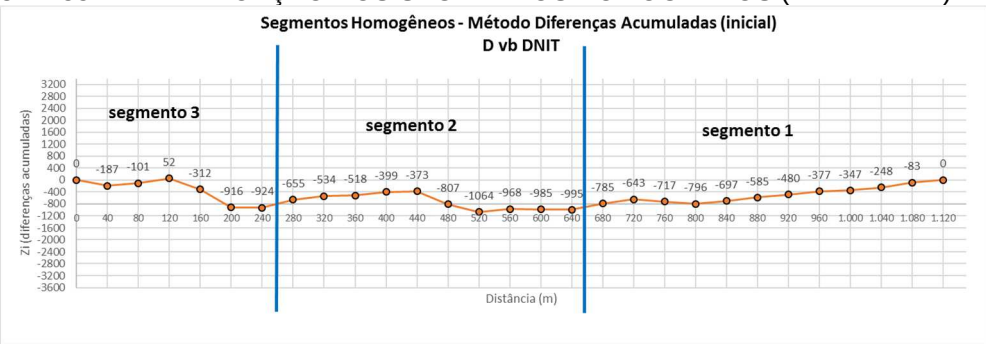
FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 32 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD – DNIT) INICIAL



FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 33 – IDENTIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS (FWD – DNIT) FINAL



FONTE: Autoras (2018)

3.6.4. Determinação das deflexões características e deflexões de projeto

A partir das deflexões individuais obtidas a partir de cada estação, calculou-se a deflexão de projeto e a deflexão característica para cada segmento homogêneo na extensão em estudo.

Para o fator de correção sazonal, considerou-se o fator 1,00, conforme tabela II da norma DNER-PRO011/79, pois as medidas das deflexões foram realizadas em estação chuvosa.

As Tabelas resumo 21, 22 e 23 apresentam os resultados das deflexões características no pavimento original, dos segmentos na extensão em estudo.

TABELA 21– CÁLCULO PARA D FWD DO PAVIMENTO ORIGINAL

Segmento	***Início (km)***	***Fim (km)***	***D***	***Desvio Padrão***	***Z***	***D min***	***D max***	***cv***	***Dc***
1	176,36	175,92	87,35	16,84	2,50	45,25	129,44	0,19	104,19
2	175,92	175,52	81,68	11,97	2,50	51,76	111,59	0,15	93,64
3	175,52	175,24	81,75	38,59	2,50	-14,73	178,23	0,47	120,34

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 22– CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DERDO PAVIMENTO ORIGINAL

Segmento	***Início (km)***	***Fim (km)***	***D***	***Desvio Padrão***	***Z***	***D min***	***D max***	***cv***	***Dc***
1	176,36	175,92	104,82	20,21	2,50	54,31	155,33	0,19	125,02
2	175,92	175,52	98,01	14,36	2,50	62,11	133,91	0,15	112,37
3	175,52	175,24	98,10	46,31	2,50	-17,68	213,87	0,47	144,41

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 23 – CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DNITDO PAVIMENTO ORIGINAL

Segmento	***Início (km)***	***Fim (km)***	***D***	***Desvio Padrão***	***Z***	***D min***	***D max***	***cv***	***Dc***
1	176,36	175,92	105,32	28,47	2,50	34,15	176,49	0,27	133,79
2	175,92	175,52	93,88	13,97	2,50	58,96	128,79	0,15	107,84
3	175,52	175,24	108,89	55,22	2,50	-29,16	246,94	0,51	164,11

FONTE: Autoras (2018)

As Tabelas resumo 24, 25 e 26 apresentam os resultados das deflexões características no pavimento reciclado, dos segmentos na extensão em estudo.

TABELA 24– CÁLCULO PARA D FWD DO PAVIMENTO RECICLADO

Segmento	***Início (km)***	***Fim (km)***	***D***	***Desvio Padrão***	***Z***	***D min***	***D max***	***cv***	***Dc***
1	176,36	175,92	29,60	5,37	2,50	16,17	43,02	0,18	34,97
2	175,92	175,52	29,82	3,39	2,50	21,36	38,29	0,11	33,21
3	175,52	175,24	31,09	1,23	2,50	28,01	34,17	0,04	32,32

Fonte: Autoras (2018)

TABELA 25– CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DER DO PAVIMENTO RECICLADO

Segmento	Início (km)	Fim (km)	D	Desvio Padrão	Z	D min	D max	cv	Dc
1	176,36	175,92	35,52	6,45	2,50	19,40	51,63	0,18	41,96
2	175,92	175,52	35,79	4,06	2,50	25,63	45,94	0,11	39,85
3	175,52	175,24	37,31	1,48	2,50	33,61	41,00	0,04	38,78

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 26 – CÁLCULO PARA D VB - METODOLOGIA DNIT DO PAVIMENTO RECICLADO

Segmento	Início (km)	Fim (km)	D	Desvio Padrão	Z	D min	D max	cv	Dc
1	176,36	175,92	45,86	8,96	2,50	23,46	68,26	0,20	54,82
2	175,92	175,52	47,02	5,99	2,50	32,05	62,00	0,13	53,02
3	175,52	175,24	49,46	1,76	2,50	45,07	53,86	0,04	51,22

FONTE: Autoras (2018)

As Tabelas resumo 27 apresentam os resultados da deflexão de projeto no pavimento original.

TABELA 27– RESULTADOS DA DEFLEXÃO DE PROJETO DO PAVIMENTO ORIGINAL

Cálculo para D fwd

Segmento	Início (km)	Fim (km)	D	Desvio Padrão	Z	D min	D max	cv	Dc	Fs	Dp
1	176,36	175,92	87,35	16,84	2,50	45,25	129,44	0,19	104,19	1,00	104,19
2	175,92	175,52	81,68	11,97	2,50	51,76	111,59	0,15	93,64	1,00	93,64
3	175,52	175,24	81,75	38,59	2,50	-14,73	178,23	0,47	120,34	1,00	120,34

Cálculo para D vb - metodologia DER

Segmento	Início (km)	Fim (km)	D	Desvio Padrão	Z	D min	D max	cv	Dc	Fs	Dp
1	176,36	175,92	104,82	20,21	2,50	54,31	155,33	0,19	125,02	1,00	125,02
2	175,92	175,52	98,01	14,36	2,50	62,11	133,91	0,15	112,37	1,00	112,37
3	175,52	175,24	98,10	46,31	2,50	-17,68	213,87	0,47	144,41	1,00	144,41

Cálculo para D vb - metodologia DNIT

Segmento	Início (km)	Fim (km)	D	Desvio Padrão	Z	D min	D max	cv	Dc	Fs	Dp
1	176,36	175,92	105,32	28,47	2,50	34,15	176,49	0,27	133,79	1,00	133,79
2	175,92	175,52	93,88	13,97	2,50	58,96	128,79	0,15	107,84	1,00	107,84
3	175,52	175,24	108,89	55,22	2,50	-29,16	246,94	0,51	164,11	1,00	164,11

FONTE: Autoras (2018)

As Tabelas resumo 28 apresentam os resultados da deflexão de projeto no pavimento reciclado.

TABELA 28– RESULTADOS DA DEFLEXÃO DE PROJETO DO PAVIMENTO RECICLADO

Cálculo para D fwd

Segmento	*Início (km)*	*Fim (km)*	*D*	*Desvio Padrão*	*Z*	*D min*	*D max*	*cv*	*Dc*	*Fs*	*Dp*
1	176,36	175,92	29,60	5,37	2,50	16,17	43,02	0,18	34,97	1,00	34,97
2	175,92	175,52	29,82	3,39	2,50	21,36	38,29	0,11	33,21	1,00	33,21
3	175,52	175,24	31,09	1,23	2,50	28,01	34,17	0,04	32,32	1,00	32,32

Cálculo para D vb - metodologia DER

Segmento	*Início (km)*	*Fim (km)*	*D*	*Desvio Padrão*	*Z*	*D min*	*D max*	*cv*	*Dc*	*Fs*	*Dp*
1	176,36	175,92	35,52	6,45	2,50	19,40	51,63	0,18	41,96	1,00	41,96
2	175,92	175,52	35,79	4,06	2,50	25,63	45,94	0,11	39,85	1,00	39,85
3	175,52	175,24	37,31	1,48	2,50	33,61	41,00	0,04	38,78	1,00	38,78

Cálculo para D vb - metodologia DNIT

Segmento	*Início (km)*	*Fim (km)*	*D*	*Desvio Padrão*	*Z*	*D min*	*D max*	*cv*	*Dc*	*Fs*	*Dp*
1	176,36	175,92	45,86	8,96	2,50	23,46	68,26	0,20	54,82	1,00	54,82
2	175,92	175,52	47,02	5,99	2,50	32,05	62,00	0,13	53,02	1,00	53,02
3	175,52	175,24	49,46	1,76	2,50	45,07	53,86	0,04	51,22	1,00	51,22

FONTE: Autoras (2018)

3.6.5. Ensaios de solo

No cálculo de espessuras de reforço para um projeto de restauração, conforme metodologia da norma DNER-PRO-269/94, emprega-se dados relativos ao estudo da capacidade de suporte do subleito e determinação do percentual de Silte no solo.

Foi considerado neste estudo, os dados relativos ao solo dos ensaios de caracterização e classificação do subleito realizados pelo DER/SP. Por não contemplarem uma estação exata do segmento em estudo, adotou-se o resultado do ensaio de penetração ISC – Índice Suporte Califórnia da estaca mais próxima, no caso à Estaca 475 (Quadro 11):

QUADRO 11 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO SUB LEITO

Estaca (Lev. Topográfico)	Estaca (Projeto)	Peneiramento				Ensaios de compactação					Método das pastilhas
		Pedregulho (%)	Areia grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte + Argila (%)	Densidade Seca Máxima (g/cm³)	Umidade Ótima (% em massa)	I.S.C.		Energia	Classificação M.C.T.
								I.S.C. (%)	Exp. (%)		
25	25+10	5,7	12,8	38,6	42,9	1,870	13,6	15,7	0,10	N	LA'
75	75+10	5,9	13,6	37,6	42,9	1,781	13,5	17,2	0,05	N	LA'
125	125+10	0,0	3,4	20,4	76,2	1,730	20,8	11,0	0,35	N	LG'
175	175+10	2,6	5,7	42,7	49,0	1,820	15,8	14,7	0,15	N	LA'
225	225	0,8	4,1	51,4	43,7	1,860	13,6	16,2	0,10	N	LA'
275	275	1,0	5,3	54,3	39,4	1,870	13,6	17,8	0,05	N	LA'
325	325	1,7	5,7	53,3	39,3	1,890	13,4	15,7	0,10	N	LA'
375	376+10	0,8	5,0	50,4	43,8	1,845	14,2	13,6	0,25	N	LA'
425	424+10	2,0	3,4	54,4	40,2	1,830	16,2	14,8	0,15	N	LA'
475	474	0,8	6,1	51,7	41,4	1,800	16,6	15,2	0,10	N	LA'
525	524	1,5	5,3	49,6	43,6	1,810	14,9	14,6	0,15	N	LA'
575	574	0,5	4,6	46,7	48,2	1,780	15,6	13,2	0,25	N	LA'
625	623+10	0,4	3,8	51,2	44,6	1,845	13,6	14,2	0,15	N	LA'

FONTE: DER/SP

A determinação do percentual de Silte e o CBR/ISC, serão determinados as constantes relacionadas as características resilientes da terceira camada da estrutura de referência, através da tipologia de solo. Ocorre que, o ensaio para determinação do Silte não é utilizado pelo DER/SP, de forma que foi considerado necessário, neste estudo, a avaliação dos cálculos para os 3 tipos de grupos de solos (Tipo I, II e III), considerando a variância das características resilientes da terceira camada da estrutura de referência para cada um deles.

3.6.6. Dimensionamento do reforço do pavimento original - DNER-PRO 11/79

De acordo com as premissas estabelecidas no procedimento DNER-PRO 011/79, e aplicando-se os parâmetros obtidos, será apresentado os cálculos para dimensionamento do reforço do pavimento original.

Sabendo-se que o pavimento original se trata de uma estrutura flexível, constituído de8,0 cm de concreto asfáltico e 22,0 cm de solo brita, calculou-se a deflexão admissível, que resultou em:

$$D_{adm} = 48{,}88$$

Determina-se o raio de curvatura dos três SH, demonstrados na Tabela 29.

TABELA 29– RAIO DE CURVATURA DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS – PAVIMENTO ORIGINAL

RESULTADO DO RAIO DE CURVATURA E RAIO DE CURVATURA MÉDIO

Segmentos	Estaca (km)	Força CORRIGIDA (kgf)	Deflexão (0,01 mm)			Temperatura (ºC)		Df 25cm	raio de curvatura	raio de curvatura médio
			Df1	Df2	Df3	Ar	Pavto			
			0 cm	20 cm	30 cm					
1	176,360	4.100	67,23	39,00	24,36	30	31	31,7	**87,90**	60,77
	176,320	4.100	81,60	46,44	22,85	30	31	34,6	**66,55**	
	176,280	4.100	93,80	41,42	20,92	30	30	31,2	**49,90**	
	176,240	4.100	77,31	40,32	18,23	31	30	29,3	**65,05**	
	176,200	4.100	105,22	40,03	16,72	30	30	28,4	**40,66**	
	176,160	4.100	120,26	43,88	19,28	30	30	31,6	**35,24**	
	176,120	4.100	101,36	44,06	22,98	30	30	33,5	**46,06**	
	176,080	4.100	80,56	47,24	24,53	30	30	35,9	**69,94**	
	176,040	4.100	83,25	43,03	22,60	30	31	32,8	**61,95**	
	176,000	4.100	71,70	37,81	22,24	30	31	30,0	**74,98**	
	175,960	4.100	100,17	62,03	29,15	30	31	45,6	**57,26**	
	175,920	4.100	65,73	30,97	15,69	30	31	23,3	**73,70**	
2	175,880	4.100	59,60	41,37	17,91	31	30	29,6	**104,31**	62,97
	175,840	4.100	80,92	39,17	21,14	31	31	30,2	**61,55**	
	175,800	4.100	87,49	45,53	20,22	31	31	32,9	**57,21**	
	175,760	4.100	70,41	34,04	18,29	31	32	26,2	**70,62**	
	175,720	4.100	94,63	41,63	19,03	31	32	30,3	**48,60**	
	175,680	4.100	93,59	38,85	19,64	31	32	29,2	**48,56**	
	175,640	4.100	80,35	34,67	17,65	31	32	26,2	**57,67**	
	175,600	4.100	69,88	36,58	18,39	31	32	27,5	**73,70**	
	175,560	4.100	95,08	38,62	20,36	32	32	29,5	**47,64**	
	175,520	4.100	84,80	42,34	22,85	32	31	32,6	**59,85**	
3	175,480	4.100	92,96	55,26	31,99	31	30	43,6	**63,34**	112,14
	175,440	4.100	36,45	28,49	22,49	30	29	25,5	**285,13**	
	175,400	4.100	127,02	65,36	24,36	30	30	44,9	**38,04**	
	175,360	4.100	58,87	39,38	27,44	30	30	33,4	**122,74**	
	175,320	4.100	131,27	62,90	23,62	30	31	43,3	**35,51**	
	175,280	4.100	85,38	54,42	29,89	30	31	42,2	**72,29**	
	175,240	4.100	40,28	26,44	16,91	30	31	21,7	**167,92**	

FONTE: Autoras (2018)

Determinados os raios de curvatura e a deflexão admissível, e já calculadas as deflexões de projeto dos segmentos, definiu-se o critério de medidas corretivas necessárias ao pavimento (Tabela 30).

TABELA 30 – MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO ORIGINAL

FWD

Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp fwd	D adm (usace)	Dp <=3Dadm Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	60,77	104,19	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
2	175,920 a 175,520	62,97	93,64	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
3	175,520 a 175,240	112,14	120,34	48,88	Dp<3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

VB DER

Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	60,77	125,02	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
2	175,920 a 175,520	62,97	112,37	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
3	175,520 a 175,240	112,14	144,41	48,88	Dp<3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

VB DNIT

Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	60,77	133,79	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
2	175,920 a 175,520	62,97	107,84	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
3	175,520 a 175,240	112,14	164,11	48,88	Dp>3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	má	sim	deflectométrico e resistência	reforço ou reconstrução

FONTE: Autoras (2018)

Requer ressaltar, que este estudo adotou como critério de segurança, os resultados obtidos pela metodologia da correlação da deflexão de FWD para Viga Benkelman do DNIT (Tabela 31).

TABELA 31– MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO ORIGINAL- ADOTADO

Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	60,77	133,79	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
2	175,920 a 175,520	62,97	107,84	48,88	-	R < 100	Dp > Dadm	IV	má	sim	resistência	reforço ou reconstrução
3	175,520 a 175,240	112,14	164,11	48,88	Dp>3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	má	sim	deflectométrico e resistência	reforço ou reconstrução

FONTE: Autoras (2018)

Pelos resultados das medidas corretivas, verificou-se a necessidade da reconstrução do pavimento, por conta do comportamento do pavimento original. Conforme determina a Instrução de Projeto de Restauração de Pavimento (DER, 2006), deverá ser dimensionado uma nova estrutura de pavimento.

Para dimensionamento da nova estrutura do pavimento, utilizou-se a tabela de tipos e espessuras mínimas de revestimento (Quadro 12).

QUADRO 12 – TIPOS E ESPESSURAS MÍNIMAS DE REVESTIMENTO

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número "N"
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

FONTE: DER/SP (2001)

A partir do estudo de tráfego, utilizou-se o número "N" USACE de projeto para determinação da espessura mínima do revestimento betuminoso:

Número "N" USACE = $3,53 \times 10^7$
Espessura do revestimento = 12,50 cm

Para escolha do coeficiente de equivalência estrutural "K" (Quadro 13), admitiu-se camadas granulares para base/sub-base com coeficiente K = 1,0 e revestimento em concreto betuminoso com coeficiente k = 2,0.

QUADRO 13– EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL (K)

Componentes do Pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento do concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	0,77 a 1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 Kg/cm²	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 45 Kg/cm² e 28 Kg/cm²	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias entre 28 Kg/cm² e 21 Kg/cm²	1,20

FONTE: DNIT (1981)

Para cálculo das espessuras de pavimento (Ht e H20) foi utilizado o ábaco do Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1981), resultando em:

$H_t = 35\ cm$

$H_{20} = 29\ cm$

Sabendo-se que o ISC do subleito para os três segmentos é igual, tem-se que:CBR/ISC = 15,20%

Calculou-se para os três segmentos a espessura da base pela inequação 26 e a espessura da sub-base pela inequação 27.

$$R\ \times\ K_R + B\ \times K_B \geq H_{20} \tag{26}$$

$$R\ \times\ K_R + B\ \times K_B + h_{20} \times K_s\ \geq H_t \tag{27}$$

Cálculo da base:

$$12{,}5 \times\ 2 + B\ \times 1 \geq 29$$

$BASE = 4\ cm$, mínimo de 15 cm

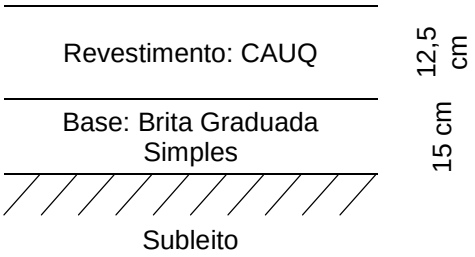
Cálculo da sub-base:

$$12{,}5\ \times\ 2 + 15\ \times 1 + h_{20} \times 1\ \geq 35$$

$$SUB - BASE = -5\ cm$$
$$SUB - BASE = 0\ cm$$

A Figura 34 ilustra o resultado do projeto de restauração do pavimento original, para os três segmentos.

FIGURA 34 – ESPESSURA DE RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO RECICLADO



FONTE: Autoras (2018)

3.6.7. Dimensionamento do reforço do pavimento original - DNER-PRO 269/94

De acordo com as premissas estabelecidas no procedimento DNER-PRO 269/94, e aplicando-se os parâmetros obtidos, será apresentado os cálculos para dimensionamento do reforço do pavimento no pavimento original.

Dos elementos resultantes da deflexão característica já calculada, calculou-se a espessura efetiva (Tabela 32) dos segmentos:

TABELA 32 – ESPESSURAS EFETIVAS DO PAVIMENTO ORIGINAL - CALCULADAS

INICIAL - calculado					
			Tipo I	**Tipo II**	**Tipo III**
Seg 1	h ef 1	=	0,30	1,27	4,40
Seg 2	h ef 2	=	1,76	2,73	5,86
Seg 3	h ef 3	=	**-0,81**	0,16	3,29

FONTE: Autoras (2018)

Sabendo-se que o pavimento original se trata de uma estrutura flexível, constituído de 8,0 cm de concreto asfáltico betuminoso a quente e 22,0 cm de solo brita, observou-se que a espessura de camada granular é menor que 45 cm, portanto, não se aplicou o caso 2 do subitem 9.3.4 dos procedimentos, que diz:

"Caso 2 – Espessura da camada granular (Hcg) é maior do que 45cm: I_1= 0 e I_2= 1".

Quanto ao caso 3 do subitem 9.3.4 dos procedimentos, verificou-se a necessidade de redimensionamento da espessura efetiva (Tabela 33), pois, conforme recomendações:

"O hef calculado deve estar compreendido entre os intervalos:

$$0 \leq h_{ef} \leq h_e$$

$$Se, \quad h_{ef} < 0, \quad adotar \ h_{ef} = 0$$

$$Se, \ h_{ef} > h_e, \ adotar \ h_{ef} = h_e"$$

TABELA 33– ESPESSURAS EFETIVASDO PAVIMENTO ORIGINAL - ADOTADAS

INICIAL - adotado					
			Tipo I	**Tipo II**	**Tipo III**
Seg 1	h ef 1	=	0,30	1,27	4,40
Seg 2	h ef 2	=	1,76	2,73	5,86
Seg 3	h ef 3	=	**0,00**	0,16	3,29

FONTE: Autoras (2018)

Para definição do critério de fadiga, e a partir dos dados de estudo de tráfego (Número “N” de projeto), determinou-se a deflexão máxima admissível:

$$\overline{\overline{D}} = 53{,}58 \text{ x } 10^{-2} 10\ mm$$

Determinada a deflexão máxima admissível, calculou-se a espessura da camada de reforço em concreto asfáltico – HR (Tabela 34) para cada segmento.

TABELA 34 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO PAVIMENTO ORIGINAL PARA CADA SEGMENTO

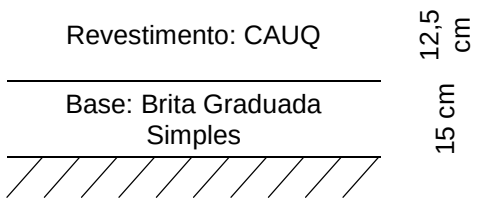
INICIAL						
Seg 1	HR 1 Tipo I =	13	HR 1 Tipo II =	13	HR 1 Tipo III	11
Seg 2	HR 2 Tipo I=	11	HR 2 Tipo II=	11	HR 2 Tipo III=	9
Seg 3	HR 3 Tipo I =	14	HR 3 Tipo II =	14	HR 3 Tipo III	13

FONTE: Autoras (2018)

Pelos resultados obtidos do comportamento do pavimento original, como estrutura flexível, verifica-se a necessidade de uma reconstrução do pavimento, portanto, o dimensionamento segue as prerrogativas do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP (IP-DE-P00/001), já calculadas no dimensionamento de reforço do DNER-PRO 011/79.

A Figura 35 ilustra o resultado do projeto de reabilitação do pavimento para nos três segmentos.

FIGURA 35– ESPESSURA DE RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO ORIGINAL COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



FONTE: Autoras (2018)

3.6.8. Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado - DNER-PRO 11/79

De acordo com as premissas estabelecidas nos procedimentos das normas DNER-PRO 011/79, e aplicando-se os parâmetros obtidos, será apresentado os cálculos para dimensionamento do reforço do pavimento reciclado.

Conforme preconiza o procedimento DNER-PRO 11/79, pavimentos de estrutura semirrígida, com base de solo-cimento ou base de brita tratada com cimento, devem adotar em seus cálculos metade do valor obtido da deflexão admissível, entretanto, sabendo-se que o pavimento reciclado é constituído de 6,0 cm de concreto asfáltico betuminoso a quente e 20,0 cm de reciclagem com adição de 20% de brita e 4% de cimento, há hipóteses a serem levantadas por causa da interpretação quanto ao tipo da estrutura do pavimento.

Embora não haver estudos que considerem o pavimento reciclado com cimento como semirrígido, entende-se que a porção asfáltica proveniente do revestimento existente reciclado pode conferir características viscosas e modificar o comportamento do material. Por se tratar de uma técnica utilizada mais recentemente em larga escala, o procedimento DNER-PRO 11/79 não trata de forma especifica sobre o assunto e, desta forma, apresenta-se o dimensionamento do reforço considerando duas hipóteses; considerando para estrutura flexível e considerando estrutura semirrígida:

a. Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura flexível;
b. Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura semirrígida.

a. <u>Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura flexível</u>

Calculou-se a deflexão admissível para estrutura flexível, que resultou em:

$$D_{adm} = 48{,}88$$

Determinou-se o raio de curvatura dos três segmentos, que se encontram demonstrados na Tabela 35:

TABELA 35– RAIO DE CURVATURA MÉDIO DOS SEGMENTOS HOMOGÊNEOS DOPAVIMENTO RECICLADO

RESULTADO DO RAIO DE CURVATURA E RAIO DE CURVATURA MÉDIO

Segmentos	Estaca (km)	Força CORRIGIDA (kgf)	Deflexão (0,01 mm)			Temperatura (ºC)		Df 25cm	raio de curvatura	raio de curvatura médio
			Df1	Df2	Df3	Ar	Pavto			
			0 cm	20 cm	30 cm					
1	176,360	4.100	26,20	22,61	18,39	30	31	20,5	**548,25**	504,15
	176,320	4.100	27,53	23,79	19,43	30	31	21,6	**527,87**	
	176,280	4.100	35,25	30,46	24,86	30	30	27,7	**411,73**	
	176,240	4.100	29,52	25,50	20,78	31	30	23,1	**489,81**	
	176,200	4.100	21,66	18,72	15,18	30	30	17,0	**663,48**	
	176,160	4.100	23,55	20,40	16,55	30	30	18,5	**615,16**	
	176,120	4.100	38,83	33,61	27,36	30	30	30,5	**374,25**	
	176,080	4.100	30,72	26,60	21,65	30	30	24,1	**473,48**	
	176,040	4.100	32,52	28,19	22,94	30	31	25,6	**448,99**	
	176,000	4.100	27,49	23,79	19,38	30	31	21,6	**528,76**	
	175,960	4.100	36,73	31,76	25,87	30	31	28,8	**394,57**	
	175,920	4.100	25,17	21,71	17,73	30	31	19,7	**573,39**	
2	175,880	4.100	23,03	19,96	16,28	31	30	18,1	**636,46**	491,79
	175,840	4.100	29,99	25,97	21,13	31	31	23,6	**485,25**	
	175,800	4.100	32,42	27,97	22,82	31	31	25,4	**444,52**	
	175,760	4.100	26,69	23,05	18,80	31	32	20,9	**541,59**	
	175,720	4.100	32,67	28,24	22,98	31	32	25,6	**442,63**	
	175,680	4.100	33,87	29,29	23,87	31	32	26,6	**428,67**	
	175,640	4.100	30,24	26,12	21,29	31	32	23,7	**477,83**	
	175,600	4.100	26,82	23,14	18,84	31	32	21,0	**536,02**	
	175,560	4.100	30,08	26,03	21,17	32	32	23,6	**482,25**	
	175,520	4.100	32,41	27,94	22,76	32	31	25,4	**442,63**	
3	175,480	4.100	30,52	26,37	21,52	31	30	23,9	**474,92**	465,44
	175,440	4.100	32,17	27,80	22,63	30	29	25,2	**448,99**	
	175,400	4.100	30,44	26,32	21,40	30	30	23,9	**474,92**	
	175,360	4.100	29,66	25,70	20,92	30	30	23,3	**492,13**	
	175,320	4.100	32,90	28,34	23,18	30	31	25,8	**437,68**	
	175,280	4.100	31,92	27,58	22,42	30	31	25,0	**451,59**	
	175,240	4.100	30,01	25,85	21,09	30	31	23,5	**477,83**	

FONTE: Autoras (2018)

Determinados os raios de curvatura e a deflexão admissível, e já calculadas as deflexões de projeto dos segmentos, definiu-se o critério de medidas corretivas necessárias ao pavimento reciclado (Tabela 36).

TABELA 36 – MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL

FWD												
Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp fwd	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	34,97	48,88	-	R > 100	Dp < Dadm	I	boa	não		apenas correções de superfície
2	175,920 a 175,520	491,79	33,21	48,88	-	R > 100	Dp < Dadm	I	boa	não		apenas correções de superfície
3	175,520 a 175,240	465,44	32,32	48,88	-	R > 100	Dp < Dadm	I	boa	não		apenas correções de superfície
VB DER												
Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	41,96	48,88	-	R > 100	Dp < Dadm	I	boa	não		apenas correções de superfície
2	175,920 a 175,520	491,79	39,85	48,88	-	R > 100	Dp < Dadm	I	boa	não		apenas correções de superfície
3	175,520 a 175,240	465,44	38,78	48,88	-	R > 100	Dp < Dadm	I	boa	não		apenas correções de superfície
VB DNIT												
Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	54,82	48,88	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
2	175,920 a 175,520	491,79	53,02	48,88	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
3	175,520 a 175,240	465,44	51,22	48,88	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

FONTE: Autoras (2018)

Conforme já mencionado neste estudo, adotou-se nos cálculos de dimensionamento os resultados pela metodologia da correlação da deflexão de FWD para Viga Benkelman do DNIT (Tabela 37).

TABELA 37– MEDIDAS CORRETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL

VB DNIT												
Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	54,82	48,88	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
2	175,920 a 175,520	491,79	53,02	48,88	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
3	175,520 a 175,240	465,44	51,22	48,88	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

FONTE: Autoras (2018)

Calculou-se o reforço do pavimento pela equação 28:

$$Hcb = 40 \times \log(\frac{D_p}{D_{adm}}) \quad (28)$$

Admitindo-se o pavimento como estrutura flexível, e utilizando a deflexão admissível calculada, os resultados demonstraram as seguintes espessuras de reforço do pavimento (Tabela 38):

TABELA 38 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO PAVIMENTO PARA CADA SEGMENTO NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL

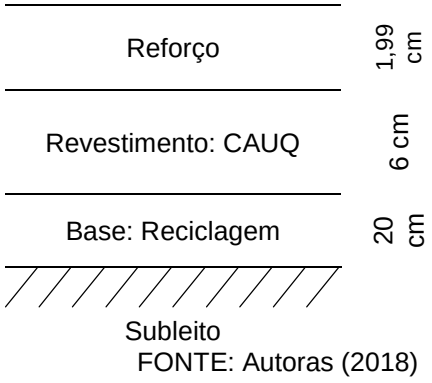
Segmento	*Início (km)*	*Fim (km)*	*Extensão (m)*	*Dc*	*Dp*	*D adm (usace)*	*Medidas corretivas*	*hcb (cm)*
1	176,36	175,92	440,00	54,82	54,82	48,88	reforço	1,99
2	175,92	175,52	400,00	53,02	53,02	48,88	reforço	1,41
3	175,52	175,24	280,00	51,22	51,22	48,88	reforço	0,81

FONTE: Autoras (2018)

Pelos resultados obtidos do comportamento do pavimento **reciclado**, para estrutura **flexível**, verifica-se a necessidade de um reforço no pavimento.

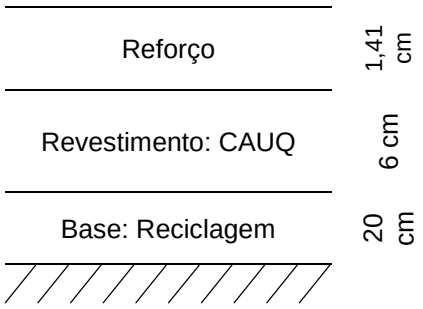
As Figuras 36, 37 e 38ilustram os resultados do projeto de reabilitação do pavimento reciclado, para cada segmento.

FIGURA 36– ESPESSURAS DE REFORÇO DO SEGMENTO 1 PARA O PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



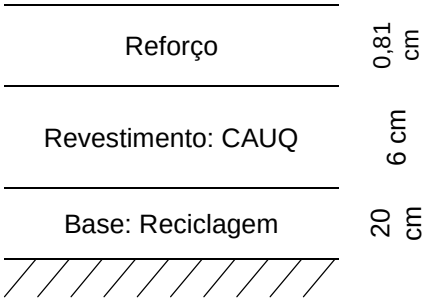
FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 37– ESPESSURAS DE REFORÇO DO SEGMENTO 2 PARA O PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 38 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO SEGMENTO 3 PARA O PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



FONTE: Autoras (2018)

b. <u>Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura semirrígida</u>

Calculou-se a deflexão admissível para estrutura semirrígida, adotando-se a metade do valor obtido, portanto, tem-se que:

$$D_{adm} = 24{,}44$$

Determinados os raios de curvatura (Tabela 35) e a deflexão admissível, e já calculadas as deflexões de projeto dos segmentos, definiu-se o critério de medidas corretivas necessárias ao pavimento reciclado (Tabela 39).

TABELA 39– MEDIDAS CORRETIVAS NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA

FWD												
Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp fwd	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	34,97	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
2	175,920 a 175,520	491,79	33,21	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
3	175,520 a 175,240	465,44	32,32	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

VB DER												
Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	41,96	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
2	175,920 a 175,520	491,79	39,85	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
3	175,520 a 175,240	465,44	38,78	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	54,82	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
2	175,920 a 175,520	491,79	53,02	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
3	175,520 a 175,240	465,44	51,22	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

FONTE: Autoras (2018)

Adotou-se nos cálculos de dimensionamento, os resultados pela metodologia da correlação da deflexão de FWD para Viga Benkelman do DNIT (Tabela 40).

TABELA 40– MEDIDAS CORRETIVAS NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA

Segmento	Estaca (km)	$\overline{R}$	Dp vg	D adm (usace)	Dp <=3Dadm / Dp >3Dadm	hipótese			qualidade estrutural fwd	necessidade de estudos complementares	critério para cálculo de reforço	medidas corretivas
1	176,360 a 175,920	504,15	54,82	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
2	175,920 a 175,520	491,79	53,02	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço
3	175,520 a 175,240	465,44	51,22	24,44	Dp <3Dadm	R > 100	Dp > Dadm	II	regular	não	deflectométrico	reforço

FONTE: Autoras (2018)

Admitindo-se o pavimento reciclado como estrutura semirrígida, e utilizando a deflexão admissível calculada, os resultados demonstraram as seguintes espessuras de reforço do pavimento reciclado (Tabela 41):

TABELA 41 – ESPESSURAS DE REFORÇO DO PAVIMENTO PARA CADA SEGMENTO NO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA

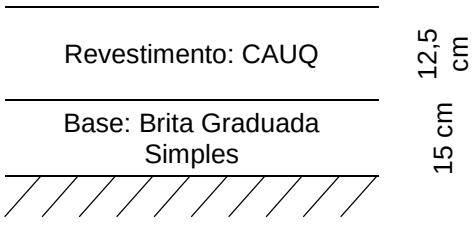
Segmento	*Início (km)*	*Fim (km)*	*extensão (m)*	*Dc*	*Dp*	*D adm (usace)*	*Medidas corretivas*	*hcb (cm)*
1	176,36	175,92	440,00	54,82	54,82	24,44	reforço	14,03
2	175,92	175,52	400,00	53,02	53,02	24,44	reforço	13,45
3	175,52	175,24	280,00	51,22	51,22	24,44	reforço	12,85

FONTE: Autoras (2018)

Pelos resultados obtidos das espessuras de reforço calculadas, verifica-se a necessidade da reconstrução do pavimento, portanto, o dimensionamento segue as prerrogativas do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP (IP-DE-P00/001), já calculadas.

A Figura 39 ilustra o resultado do projeto de restauração do pavimento reciclado, para cada segmento.

FIGURA 39 – RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA



FONTE: Autoras (2018)

3.6.9. Dimensionamento do Reforço do pavimento reciclado - DNER-PRO 269/94

De acordo com as premissas estabelecidas no procedimento DNER-PRO 0269/94, e aplicando-se os parâmetros obtidos, será apresentado os cálculos para dimensionamento do reforço do pavimento reciclado.

Dos elementos resultantes da deflexão característica já calculada, calculou-se a espessura efetiva (Tabela 42) dos segmentos:

TABELA 42 – ESPESSURAS EFETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO - CALCULADAS

FINAL - calculado					
			Tipo I	**Tipo II**	**Tipo III**
Seg 1	h ef 1	=	**9,00**	**9,97**	**13,10**
Seg 2	h ef 2	=	**9,50**	**10,48**	**13,60**
Seg 3	h ef 3	=	**10,04**	**11,01**	**14,14**

FONTE: Autoras (2018)

Observou-se que não ocorreu espessuras de camada granular maiores de 45 cm, portanto, não se aplicou o caso 2 do subitem 9.3.4 dos procedimentos.

Verificou-se a necessidade de redimensionamento da espessura efetiva (Tabela 42), por ocasião do “Caso 3” dos procedimentos, determinando-se as espessuras efetivas a serem adotadas (Tabela 43).

TABELA 43 – ESPESSURAS EFETIVAS DO PAVIMENTO RECICLADO - ADOTADAS

FINAL - adotado					
			Tipo I	**Tipo II**	**Tipo III**
Seg 1	h ef 1	=	**6,00**	**6,00**	**6,00**
Seg 2	h ef 2	=	**6,00**	**6,00**	**6,00**
Seg 3	h ef 3	=	**6,00**	**6,00**	**6,00**

FONTE: Autoras (2018)

Sabendo-se que o pavimento reciclado é constituído de 6,0 cm de concreto asfáltico betuminoso a quente e 20,0 cm de reciclagem com adição de 20% de brita e 4% de cimento, de maneira idêntica ao dimensionamento do pavimento reciclado pelo DNER-PRO 11/79, se considerará o dimensionamento do reforço considerando duas hipóteses, para estrutura como flexíveis e para estruturas como semirrígidas:

a. Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura flexível;
b. Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura semirrígida.

a. <u>Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura flexível</u>

Para definição do critério de fadiga, e a partir dos dados de estudo de tráfego (Número “N” de projeto), determinou-se a deflexão máxima admissível para pavimento flexível:

$$\overline{\overline{D}} = 53{,}58$$

Determinada a deflexão máxima admissível e a espessura efetiva adotada, calculou-se a espessura da camada de reforço em concreto asfáltico – HR (Tabela 44) para cada segmento.

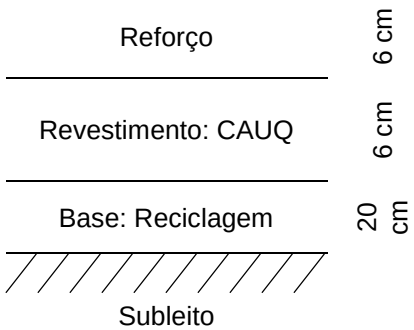
TABELA 44– ESPESSURAS DE REFORÇO PARA CADA SEGMENTO DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL

FINAL						
Seg 1	HR 1 Tipo I =	5	HR 1 Tipo II =	6	HR 1 Tipo III	9
Seg 2	HR 2 Tipo I=	5	HR 2 Tipo II=	6	HR 2 Tipo III=	9
Seg 3	HR 3 Tipo I =	5	HR 3 Tipo II =	6	HR 3 Tipo III	9

FONTE: Autoras (2018)

Pelos resultados obtidos do comportamento do pavimento **reciclado**, para estrutura **flexível**, e se considerarmos o grupo de solo tipo II, que demonstrou a espessura intermediária entre os três grupos de solos, verifica-se a necessidade de um reforço no pavimento de 6 cm. A Figura 40 ilustra o resultado do projeto de restauração do pavimento reciclado como estrutura flexível, para cada segmento.

FIGURA 40 – ESPESSURA DE REFORÇO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



FONTE: Autoras (2018)

b. <u>Dimensionamento do reforço do pavimento reciclado como estrutura semirrígida</u>

Para definição do critério de fadiga, e a partir dos dados de estudo de tráfego (Número “N” de projeto), determinou-se a deflexão máxima admissível para estrutura semirrígida, adotando-se a metade do valor obtido, portanto, tem-se que:

$$\overline{\overline{D}} = 26{,}79$$

Determinada a deflexão máxima admissível e a espessura efetiva, calculou-se a espessura da camada de reforço em concreto asfáltico – HR (Tabela 45) para cada segmento.

TABELA 45 – ESPESSURAS DE REFORÇO PARA CADA SEGMENTO DO PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA

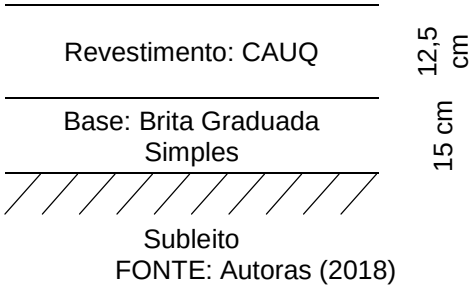
			FINAL (adotado)			
Seg 1	HR 1 Tipo I =	19	HR 1 Tipo II =	20	HR 1 Tipo III =	23
Seg 2	HR 2 Tipo I=	19	HR 2 Tipo II=	20	HR 2 Tipo III=	23
Seg 3	HR 3 Tipo I =	19	HR 3 Tipo II =	20	HR 3 Tipo III =	23

FONTE: Autoras (2018)

Pelos resultados obtidos do comportamento do pavimento **reciclado**, como estrutura **semirrígida**, verifica-se a necessidade de uma reconstrução do pavimento, portanto, o dimensionamento segue as prerrogativas do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP (IP-DE-P00/001), já calculadas no dimensionamento de reforço do DNER-PRO 011/79.

A Figura 41 ilustra o resultado do projeto de reconstrução do pavimento reciclado como estrutura semirrígida, para cada segmento.

FIGURA 41– ESPESSURA DE RECONSTRUÇÃO DOS SEGMENTOS 1, 2 E 3 PARA PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA



FONTE: Autoras (2018)

3.7. NÚMERO DE SOLICITAÇÕES SUPORTADAS - PAVIMENTO RECICLADO

Para a determinação da vida útil do pavimento reciclado, calculou-se a partir das deflexões características dos segmentos 1, 2 e 3, o número de solicitações correspondentes às cargas por eixos suportadas pelo pavimento (Tabela 46), para cada segmento em estudo.

TABELA 46 – NÚMERO “N” SUPORTADO PELO PAVIMENTO EXISTENTE PARA CADA SEGMENTO

Segmento	Início (km)	Fim (km)	Dc	N
1	176,36	175,92	54,82	1,67E+07
2	175,92	175,52	53,02	2,02E+07
3	175,52	175,24	51,22	2,45E+07

FONTE: Autoras (2018)

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

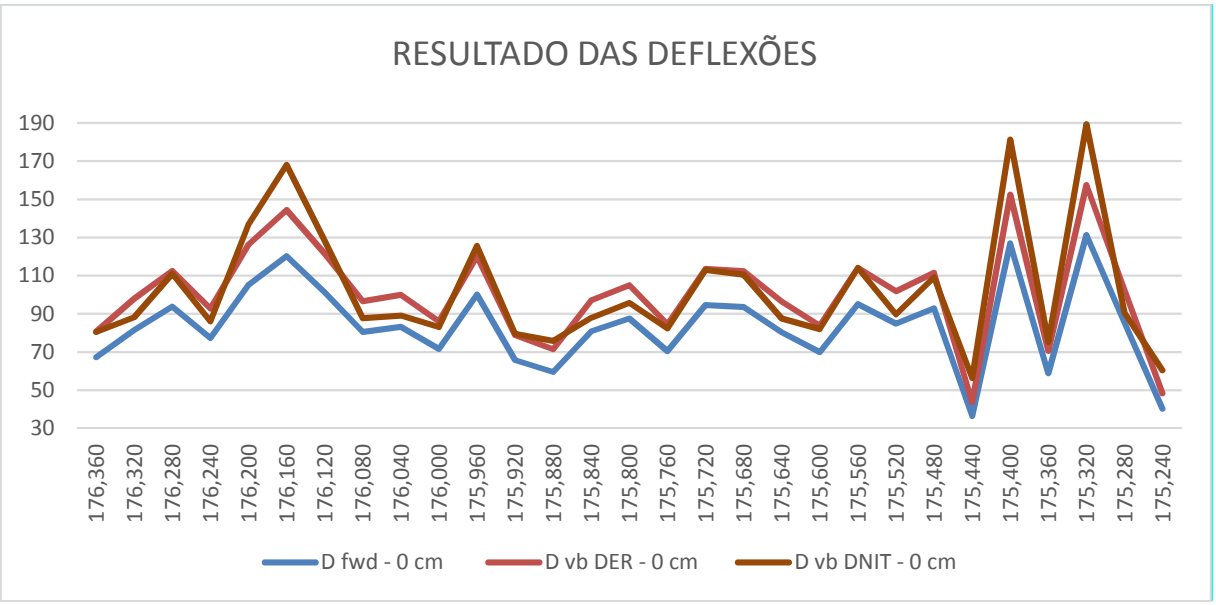
Neste capítulo será apresentada a análise dos resultados efetuada com base nos dados e cálculos obtidos a partir das pesquisas, consultas e levantamentos em campo.

4.1. ANÁLISE DAS DEFLEXÕES

Na análise do Gráfico das deflexões pelas três metodologias - originais em FWD e Viga Benkelman - DNIT e DER do pavimento original e reciclado (figuras 42 e 43), verificou-se que a correção da deflexão média de FWD para Viga Benkelman pelo método DNIT, no segmento em estudo, demonstrou ser superior ao levantamento obtido pelo método DER, em 1,30% no pavimento original e em 30,50% no pavimento reciclado, observando-se que quanto maior a deflexão, menor a diferença entre os métodos.

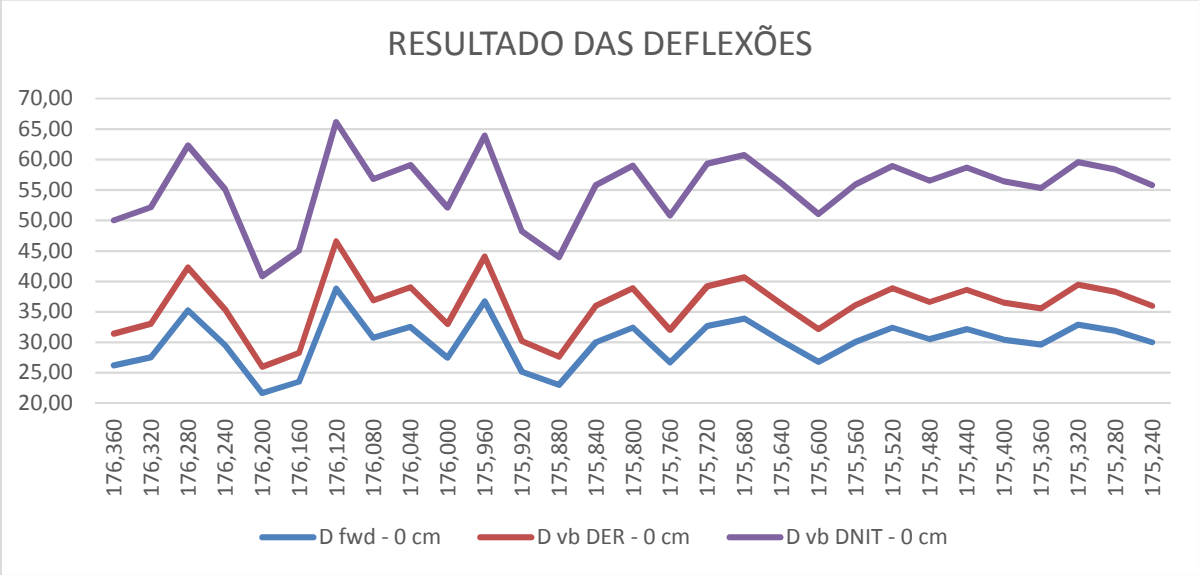
Desta forma, verificou-se a partir da análise das deflexões características pelas três considerações adotadas, e seus respectivos desvios padrões, que a deflexão ajustada de FWD para Viga Benkelman adotada pelo DNIT apresentam resultados superiores.

FIGURA 42– COMPARATIVO DAS DEFLEXÕES –PAVIMENTO ORIGINAL



FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 43– COMPARATIVO DAS DEFLEXÕES –PAVIMENTO RECICLADO

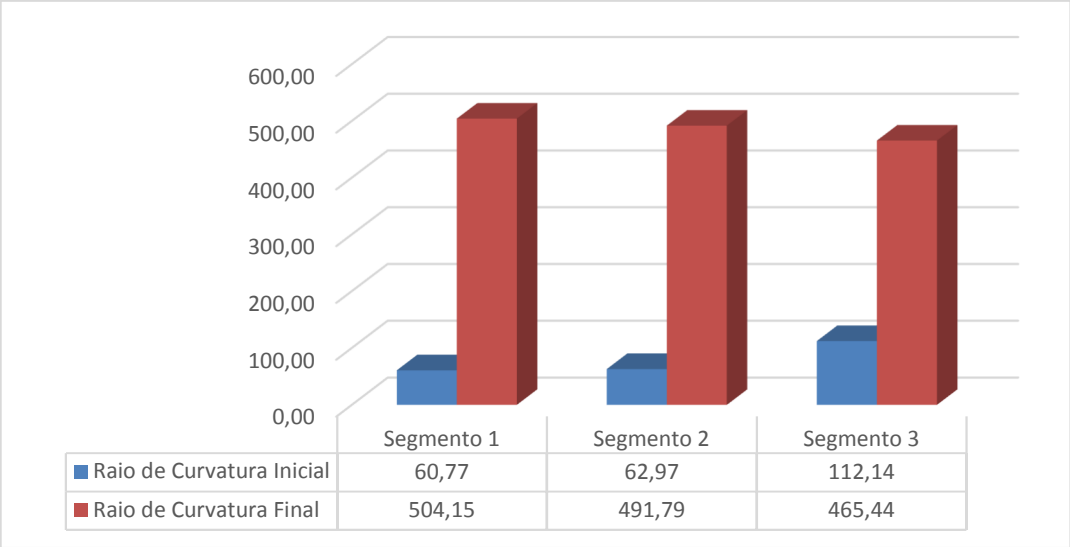


FONTE: Autoras (2018)

4.2. ANÁLISE DO RAIO DE CURVATURA

Quanto menores forem os raios de curvatura, pior é a condição estrutural do pavimento, tanto que a metodologia DNER-PRO-11/79 indica a necessidade de reconstruções para locais onde o raio de curvatura for menor que 100m. Entretanto, nota-se pelo gráfico da Figura 44 que a reciclagem reestabeleceu condições estruturais ao pavimento de maneira a aumentar os raios de curvatura consideravelmente.

FIGURA 44 – COMPARATIVO DO RAIO DE CURVATURA INICIAL (PAVIMENTO ORIGINAL) E FINAL (PAVIMENTO RECICLADO)



FONTE: Autoras (2018)

4.3. DIAGNÓSTICO DE DEFEITOS DO PAVIMENTO

As condições da superfície do pavimento, que no pavimento original demonstravam degradação do pavimento (Tabela 47 e 48), foram reestabelecidas após os serviços de reciclagem, demonstrando conceito ótimo em todos os segmentos da extensão em estudo.

TABELA 47– RESUMO CONCEITO IGG - ANTES DAS INTERVENÇÕES

Segmento	***Início (km)***	***Fim (km)***	***I.G.G.***	***Conceito***
1	176,36	175,92	87,00	Ruim
2	175,92	175,52	94,00	Ruim
3	175,52	175,24	41,00	Regular

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 48– RESUMO CONCEITO IGG - DEPOIS DA INTERVENÇÕES

Segmento	***Início (km)***	***Fim (km)***	***I.G.G.***	***Conceito***
1	176,36	175,92	0,00	Ótimo
2	175,92	175,52	0,00	Ótimo
3	175,52	175,24	0,00	Ótimo

FONTE: Autoras (2018)

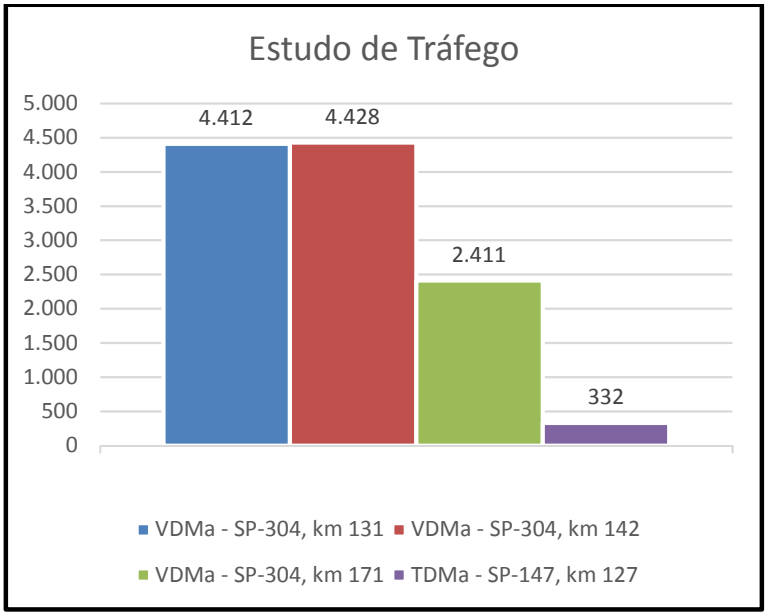
4.4. ANÁLISE DO SOLO

A característica do solo encontrada no subleito refere-se a um solo arenoso laterítico. Entre as várias peculiaridades deste tipo de solo, destaca-se o enriquecimento de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e a permanência da caulinita como argilo-mineral em predominância e quase sempre exclusivo (VILLIBOR et al., 2009). A intensa cimentação e a elevada tensão de sucção por secagem são responsáveis, em conjunto, pelo melhoramento das características de resistência e permeabilidade dos solos tropicais lateríticos (BERNUCCI, 1987). Com essas informações, pode-se dizer que no segmento estudado, o solo, rico em ferro, e de características arenoso laterítico, lhe confere propriedades de concreção, com capacidade de melhor suporte.

4.5. ANÁLISE DO ESTUDO DE TRÁFEGO

Dos resultados obtidos do estudo de tráfego (Figura45), pode-se verificar que o VDM do km 131 é 83% maior que o VDM do km 171, que o VDM do km 142 é cerca de 84% maior que o VDM do km 171, que o VDM do km 171 na rodovia SP-304 é cerca de 626% maior que o VDM do km 127 da SP-147. Destaca-se que o km 171 da rodovia SP-304 está mais próxima do segmento em estudo (km 175,240 ao km 176,360).

FIGURA 45 – COMPARATIVO DE TRÁFEGO



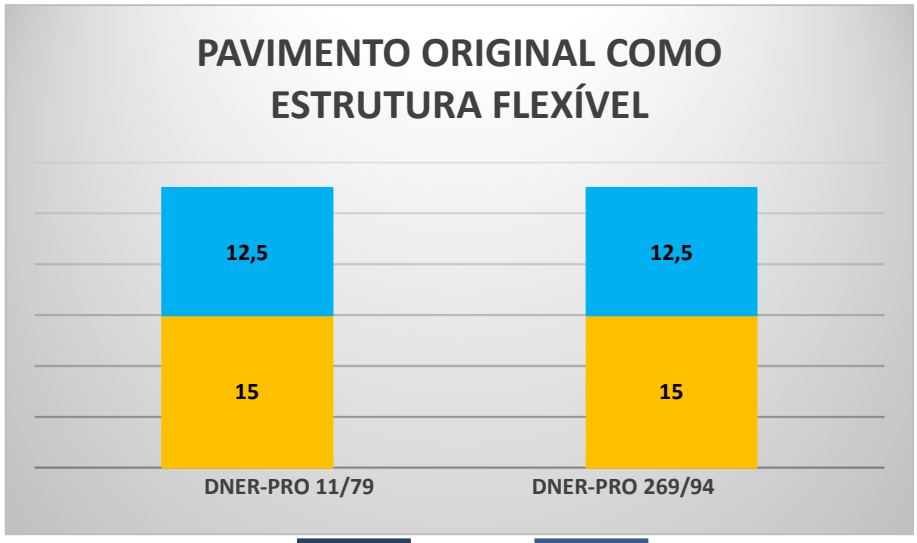
FONTE: Autoras (2018)

Na análise dos dados considerou-se que o resultado mais condizente com o tráfego de veículos do segmento em estudo foi o km 171 da rodovia SP-304. Nota-se que o tráfego de veículos comerciais no km 131 e km 142 da rodovia SP-304 apresentam volume muito elevados, o que demonstra não refletir o tráfego das proximidades do segmento em estudo, de forma inversa, observa-se que o tráfego de veículos comerciais do km 127 da rodovia SP-147apresentam volume muito baixo, o que demonstra, pelos dados levantados, pouca incidência da frota na rodovia SP-304.

4.6. ANÁLISE DO REFORÇO DO PAVIMENTO

Baseadas nos resultados do dimensionamento do reforço do pavimento original como estrutura flexível (Gráfico da Figura 46) e pavimento reciclado como estrutura semirrígida (Gráfico da Figura 47), de acordo com as metodologias DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269-94, verifica-se que houve similaridade nos resultados para a solução do projeto de restauração do pavimento.

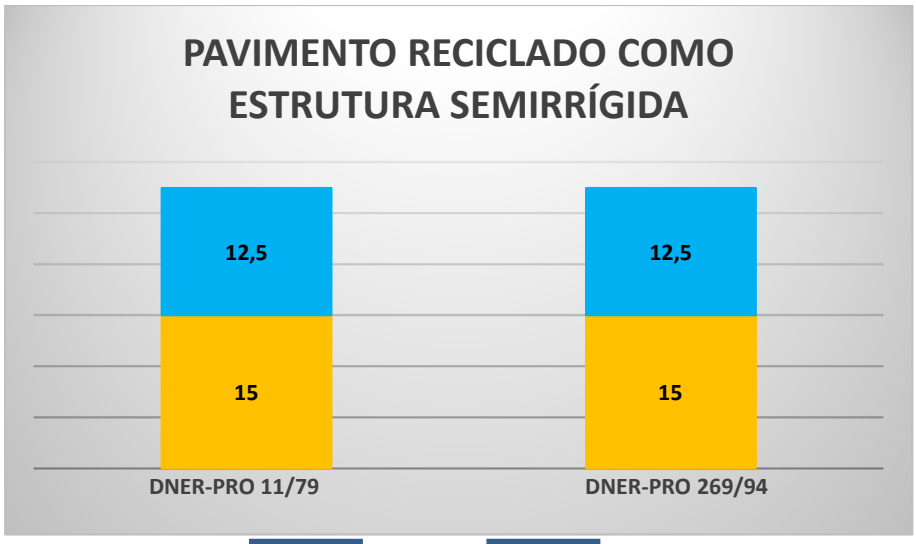
FIGURA 46 – COMPARATIVO PROJETO DE RESTAURAÇÃO – PAVIMENTO ORIGINAL COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



LEGENDA: CBUQ BASE GRANULAR

FONTE: Autoras (2018)

FIGURA 47 – COMPARATIVO PROJETO DE RESTAURAÇÃO – PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA SEMIRRÍGIDA

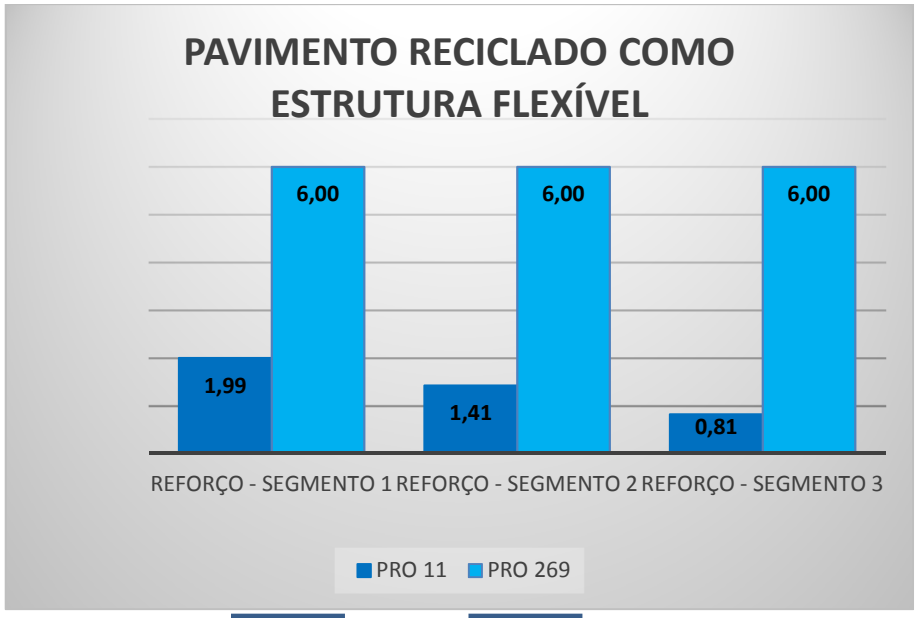


LEGENDA: CBUQ BASE GRANULAR

FONTE: Autoras (2018)

Para os parâmetros analisados como um pavimento reciclado como estrutura flexível (Gráfico da Figura 46), observa-se resultados diferenciados, quando comparado com um pavimento reciclado como estrutura semirrígida (Gráfico da Figura 47), pois demonstram apenas a necessidade de um reforço, ao invés da restauração do pavimento. Muito embora o reforço proposto pelo procedimento DNER-PRO-011/79 indique espessuras menores nos segmentos do que o proposto pelo procedimento DNER-PRO-269/94, os resultados ainda são mais favoráveis do que a reconstrução do pavimento.

FIGURA 48 – COMPARATIVO PROJETO DE RESTAURAÇÃO – PAVIMENTO RECICLADO COMO ESTRUTURA FLEXÍVEL



LEGENDA: CBUQ REVESTIMENTO ASFÁLTICO

FONTE: Autoras (2018)

4.7. ANÁLISE DA VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

A partir dos dados relativos ao número de solicitações suportadas pelo pavimento reciclado, pode-se fazer uma avaliação de sua vida útil. Comparando-se a projeção do número “N” de projeto (Tabela 49), com o número “N” calculado para as solicitações correspondentes às cargas por eixos suportadas pelo pavimento reciclado em cada segmento (Tabela 50), temos que a expectativa de vida útil de cada segmento resta demonstrada na Tabela 51:

TABELA 49 – NÚMERO “N” DE PROJETO

Ano	Período de Projeto	USACE	
		Anual	Acumulado
2017	0º	2,76E+06	
2018	0º	2,83E+06	2,83E+06
2019	1º	2,90E+06	5,73E+06
2020	2º	2,97E+06	8,70E+06
2021	3º	3,05E+06	1,17E+07
2022	4º	3,12E+06	1,49E+07
2023	5º	3,20E+06	1,81E+07
2024	6º	3,28E+06	2,13E+07
2025	7º	3,36E+06	2,47E+07
2026	8º	3,45E+06	2,82E+07
2027	9º	3,53E+06	3,17E+07
2028	10º	3,62E+06	3,53E+07

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 50– NÚMERO “N” SUPORTADO PELO PAVIMENTO EXISTENTE

Segmento	Início (km)	Fim (km)	Dc	N
1	176,36	175,92	54,82	1,67E+07
2	175,92	175,52	53,02	2,02E+07
3	175,52	175,24	51,22	2,45E+07

FONTE: Autoras (2018)

TABELA 51 – EXPECTATIVA DE VIDA ÚTIL DO PAVIMENTO

Segmento	Início (km)	Fim (km)	Dc	N	Vida Útil
1	176,36	175,92	54,82	1,67E+07	4 anos e 7 meses
2	175,92	175,52	53,02	2,02E+07	5 anos e 8 meses
3	175,52	175,24	51,22	2,45E+07	6 anos e 11 meses

FONTE: Autoras (2018)

4.8. COMPARATIVO DE CUSTOS

O resultado das análises do projeto de reforço do pavimento pode resultar em custos diferenciados em cada solução a ser adotada, de forma que serão apresentados a seguir, planilhas de preços como comparativo. Adotou-se nos cálculos:

Para os serviços realizados no pavimento original, utilizaram-se os preços unitários da Tabela de Preços Unitários do DER/SP, com data-base do contrato: março/2017;

Para os serviços propostos no projeto de reforço do pavimento, utilizaram-se os preços unitários vigentes da Tabela de Preços Unitários do DER/SP, com data-base: setembro/2018;

Para os quantitativos no pavimento original, foram considerados as espessuras executadas na obra. Para o pavimento reciclado, foram considerados os quantitativos resultantes do dimensionamento pelos procedimentos DNER-PRO-11/79 e DNER-PRO 269/94. Especificamente no procedimento DNER-PRO 269/94, consideraram-se as espessuras de reforço para o grupo de solo Tipo II;

Para os tipos de serviços para o projeto de reforço, adotaram-se serviços comumente utilizados em pavimentação.

Foram calculados os custos dos gastos no pavimento original (Tabela 52), tendo como parâmetros os seguintes dados: largura da pista = 3,50m, extensão do segmento 1 = 440 m, extensão do segmento 2 = 400 m, extensão do segmento 3 = 280 m, espessura do revestimento - seg 1 = seg2 = seg3 = 0,06 m e espessura da reciclagem - seg 1 = seg2 = seg3 = 0,20 m.

TABELA 52 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS NO PAVIMENTO ORIGINAL

Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/17)	Preço Total
	Segmento 1				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	308,0	R$ 150,12	R$ 46.236,96
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.540,0	R$ 6,18	R$ 9.517,20
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	92,4	R$ 775,09	R$ 71.618,32
	Segmento 2				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	280,0	R$ 150,12	R$ 42.033,60
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.400,0	R$ 6,18	R$ 8.652,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	84,0	R$ 775,09	R$ 65.107,56
	Segmento 3				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	196,0	R$ 150,12	R$ 29.423,52
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	980,0	R$ 6,18	R$ 6.056,40
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	58,8	R$ 775,09	R$ 45.575,29
				Valor Global:	**R$ 324.220,85**

FONTE: Autoras (2018)

Calculou-se o custo dos serviços e houvesse sido realizado um projeto de restauração (Tabela 53), adotando-se para o pavimento, os serviços de demolição do

existente, preparo do subleito, e duas camadas de revestimento, sendo a primeira um Binder de 7,50 cm e sobre este, uma camada de concreto betuminoso de 5,0 cm e a base em brita graduada simples, tendo como parâmetros os seguintes dados: largura da pista = 3,50m, extensão do segmento 1 = 440 m, extensão do segmento 2 = 400 m, extensão do segmento 3 = 280 m, espessura do revestimento total - seg 1 = seg2 = seg3 – DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 = 0,125 m, espessura do revestimento (binder) - seg 1 = seg2 = seg3 – DNER-PRO 11/79e DNER-PRO 269/94 = 0,075 m, espessura do revestimento (CBUQ) - seg 1 = seg2 = seg3 – DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 = 0,050 m e espessura da base - seg 1 = seg2 = seg3 – DNER-PRO 11/79 e DNER-PRO 269/94 = 0,150 m.

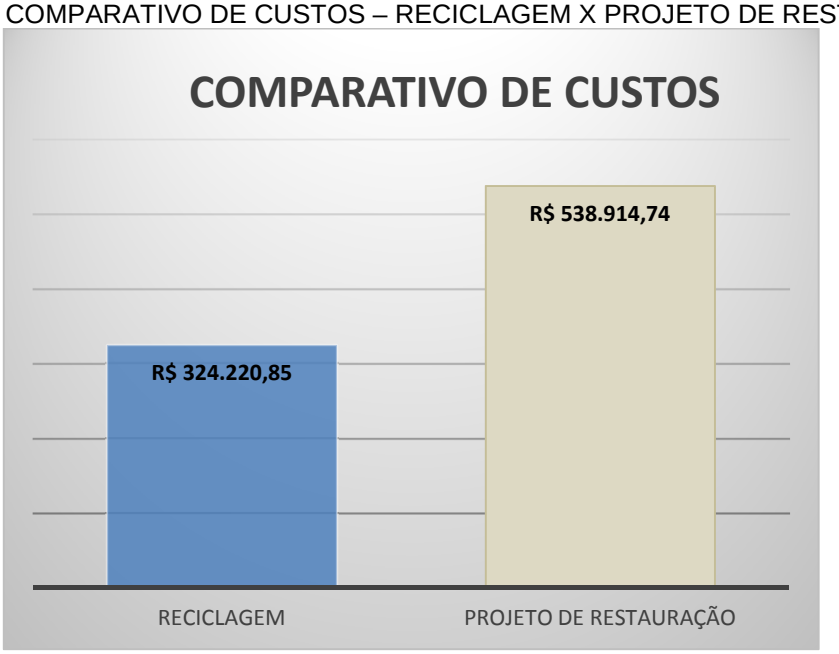
TABELA 53 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS DO PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO

Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/17)	Preço Total
	Segmento 1				
21.05.07	DEMOLICAO PAVIMENTOFLEXIVEL C/TRANSPORT	m3	423,5	R$ 35,42	R$ 15.000,37
23.02.01	MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	1.540,0	R$ 1,47	R$ 2.263,80
23.04.03.01	SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	231,0	R$ 187,74	R$ 43.367,94
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.540,0	R$ 6,18	R$ 9.517,20
23.08.01.01	CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	115,5	R$ 678,43	R$ 78.358,67
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	1.540,0	R$ 2,29	R$ 3.526,60
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	77,0	R$ 775,09	R$ 59.681,93
	Segmento 2				
21.05.07	DEMOLICAO PAVIMENTOFLEXIVEL C/TRANSPORT	m3	385,0	R$ 35,42	R$ 13.636,70
23.02.01	MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	1.400,0	R$ 1,47	R$ 2.058,00
23.04.03.01	SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	210,0	R$ 187,74	R$ 39.425,40
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.400,0	R$ 6,18	R$ 8.652,00
23.08.01.01	CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	105,0	R$ 678,43	R$ 71.235,15
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	1.400,0	R$ 2,29	R$ 3.206,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	70,0	R$ 775,09	R$ 54.256,30
	Segmento 3				
21.05.07	DEMOLICAO PAVIMENTOFLEXIVEL C/TRANSPORT	m3	269,5	R$ 35,42	R$ 9.545,69
23.02.01	MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	980,0	R$ 1,47	R$ 1.440,60
23.04.03.01	SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	147,0	R$ 187,74	R$ 27.597,78
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	980,0	R$ 6,18	R$ 6.056,40
23.08.01.01	CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	73,5	R$ 678,43	R$ 49.864,61
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	980,0	R$ 2,29	R$ 2.244,20
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	49,0	R$ 775,09	R$ 37.979,41
				Valor Global:	**R$ 538.914,74**

FONTE: Autoras (2018)

Para comparativo, apresentou-se gráfico da Figura 49, contendo custos estimativos dos serviços já realizados no pavimento e custo caso fosse realizado o projeto de reconstrução.

FIGURA 49 – COMPARATIVO DE CUSTOS – RECICLAGEM X PROJETO DE RESTAURAÇÃO



FONTE: Autoras (2018)

Consideraram-se os custos com os serviços propostos na análise de um pavimento reciclado como estrutura semirrígida, que indicam a necessidade de uma reconstrução, além dos serviços já realizados de reciclagem (Tabela 54).

TABELA 54 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS DE RECICLAGEM + RECONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO

Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/17)	Preço Total
	Segmento 1				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	308,0	R$ 150,12	R$ 46.236,96
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.540,0	R$ 6,18	R$ 9.517,20
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	92,4	R$ 775,09	R$ 71.618,32
21.05.07	DEMOLICAO PAVIMENTOFLEXIVEL C/TRANSPORT	m3	423,5	R$ 35,42	R$ 15.000,37
23.02.01	MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	1.540,0	R$ 1,47	R$ 2.263,80
23.04.03.01	SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	231,0	R$ 187,74	R$ 43.367,94
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.540,0	R$ 6,18	R$ 9.517,20
23.08.01.01	CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	115,5	R$ 678,43	R$ 78.358,67
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	1.540,0	R$ 2,29	R$ 3.526,60
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	77,0	R$ 775,09	R$ 59.681,93
	Segmento 2				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	280,0	R$ 150,12	R$ 42.033,60
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.400,0	R$ 6,18	R$ 8.652,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	84,0	R$ 775,09	R$ 65.107,56
21.05.07	DEMOLICAO PAVIMENTOFLEXIVEL C/TRANSPORT	m3	385,0	R$ 35,42	R$ 13.636,70
23.02.01	MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	1.400,0	R$ 1,47	R$ 2.058,00
23.04.03.01	SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	210,0	R$ 187,74	R$ 39.425,40
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.400,0	R$ 6,18	R$ 8.652,00
23.08.01.01	CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	105,0	R$ 678,43	R$ 71.235,15
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	1.400,0	R$ 2,29	R$ 3.206,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	70,0	R$ 775,09	R$ 54.256,30
	Segmento 3				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	196,0	R$ 150,12	R$ 29.423,52
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	980,0	R$ 6,18	R$ 6.056,40
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	58,8	R$ 775,09	R$ 45.575,29
21.05.07	DEMOLICAO PAVIMENTOFLEXIVEL C/TRANSPORT	m3	269,5	R$ 35,42	R$ 9.545,69
23.02.01	MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	980,0	R$ 1,47	R$ 1.440,60
23.04.03.01	SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	147,0	R$ 187,74	R$ 27.597,78
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	980,0	R$ 6,18	R$ 6.056,40
23.08.01.01	CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	73,5	R$ 678,43	R$ 49.864,61
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	980,0	R$ 2,29	R$ 2.244,20
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	49,0	R$ 775,09	R$ 37.979,41
				Valor Global:	**R$ 863.135,59**

FONTE: Autoras (2018)

Realizaram-se os custos com os serviços propostos na análise de um pavimento reciclado como estrutura flexível, através da metodologia DNER-PRO 011/79, que indicou a necessidade de um reforço, além dos serviços já realizados de reciclagem (Tabela 55).

TABELA 55– CUSTO PARA OS SERVIÇOS DE RECICLAGEM + REFORÇO DNER-PRO 011/79

Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/17)	Preço Total
	Segmento 1				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE E	m3	308,0	R$ 150,12	R$ 46.236,96
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.540,0	R$ 6,18	R$ 9.517,20
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	92,4	R$ 775,09	R$ 71.618,32
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-set/18)**	**Preço Total**
23.06.04.07	MICROREVESTIMENTO ASFALTICO A FRIO COM POLIME	m2	1.540,0	R$ 22,35	R$ 34.419,00

Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/17)	Preço Total
	Segmento 2				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE E	m3	280,0	R$ 150,12	R$ 42.033,60
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.400,0	R$ 6,18	R$ 8.652,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	84,0	R$ 775,09	R$ 65.107,56
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-set/18)**	**Preço Total**
23.06.04.07	MICROREVESTIMENTO ASFALTICO A FRIO COM POLIME	m2	1.400,0	R$ 22,35	R$ 31.290,00

Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/17)	Preço Total
	Segmento 3				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE E	m3	196,0	R$ 150,12	R$ 29.423,52
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	980,0	R$ 6,18	R$ 6.056,40
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	58,8	R$ 775,09	R$ 45.575,29
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-set/18)**	**Preço Total**
23.06.04.07	MICROREVESTIMENTO ASFALTICO A FRIO COM POLIME	m2	980,0	R$ 22,35	R$ 21.903,00

Valor Global:	**R$ 411.832,85**

FONTE: Autoras (2018)

Realizaram-se os custos com os serviços propostos na análise de um pavimento reciclado flexível, através da metodologia DNER-PRO 269/94, que indicou a necessidade de um reforço, além dos serviços já realizados de reciclagem (Tabela 56).

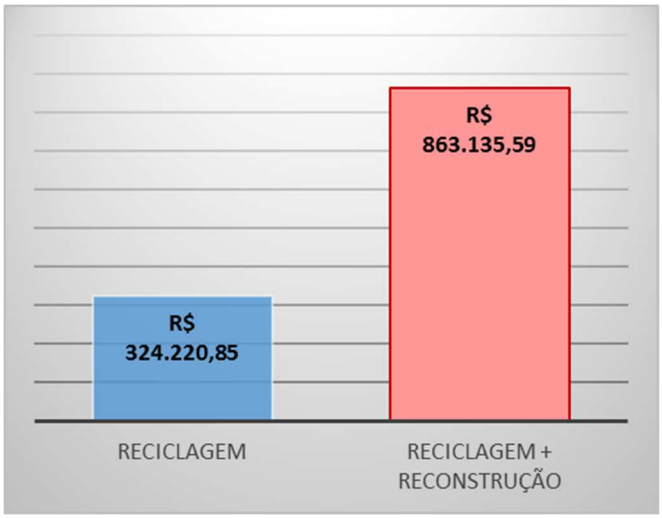
TABELA 56 – CUSTO PARA OS SERVIÇOS DE RECICLAGEM + REFORÇO DNER-PRO 269/94

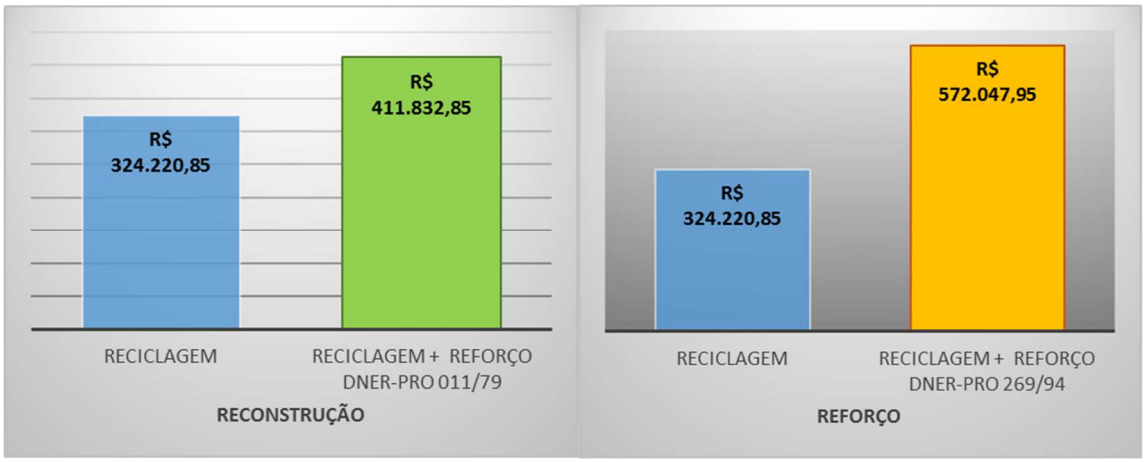
Item TPU DER/SP	Descrição do Serviço		Qtde	Preço Unitário DER/SP (TPU-março/18)	Preço Total
	Segmento 1				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE E	m3	308,0	R$ 150,12	R$ 46.236,96
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.540,0	R$ 6,18	R$ 9.517,20
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	92,4	R$ 775,09	R$ 71.618,32
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-set/18)**	**Preço Total**
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	1.540,0	R$ 3,07	R$ 4.727,80
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	92,4	R$ 1.002,52	R$ 92.632,85
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-março/18)**	**Preço Total**
	Segmento 2				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE E	m3	280,0	R$ 150,12	R$ 42.033,60
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	1.400,0	R$ 6,18	R$ 8.652,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	84,0	R$ 775,09	R$ 65.107,56
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-set/18)**	**Preço Total**
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	1.400,0	R$ 3,07	R$ 4.298,00
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	84,00	R$ 1.002,52	R$ 84.211,68
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-março/18)**	**Preço Total**
	Segmento 3				
23.13.07.03	RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE E	m3	196,0	R$ 150,12	R$ 29.423,52
23.05.01	IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	980,0	R$ 6,18	R$ 6.056,40
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	58,8	R$ 775,09	R$ 45.575,29
Item TPU DER/SP	**Descrição do Serviço**		**Qtde**	**Preço Unitário DER/SP (TPU-set/18)**	**Preço Total**
23.05.02	IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	980,0	R$ 3,07	R$ 3.008,60
23.08.03.01	CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	58,8	R$ 1.002,52	R$ 58.948,18
				Valor Global:	**R$ 572.047,95**

FONTE: Autoras (2018)

Para comparativo, apresentou-se gráfico na Figura 50.

FIGURA 50 – COMPARATIVO DE CUSTOS – RECICLAGEM X RECONSTRUÇÃO / REFORÇO





FONTE: Autoras (2019)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Considerando os dados, resultados e análises realizados no presente trabalho, apresentam-se as conclusões e recomendações mais relevantes.

Os serviços realizados na rodovia SP-304 consistiram em diretrizes de Conservação Especial, que preveem na coleta de dados do DER/SP, observações de campo e avaliações de fácil mensuração que incluem: tráfego (VDM comercial); estado do pavimento; tipo de materiais constituintes da estrutura existente e aspectos geológicos e geotécnicos da região onde está inserida a rodovia. Em razão deste fato, foram admitidas hipóteses para dimensionamento do reforço do pavimento original pelo procedimento DNER-PRO 269/94 sem a avaliação do grau de trincamento. Embora ausente os cálculos das áreas de trincas FC-2 e FC-3 do pavimento original, os resultados indicaram a necessidade de reconstrução do pavimento, o que demonstra não haver qualquer reflexo pela falta do grau de trincamento, pois o pavimento resultou na situação extrema, ou seja, da necessidade de dimensionamento de um pavimento novo nos segmentos em estudo.

Quanto ao pavimento reciclado, o diagnóstico de defeitos no pavimento mostrou que as condições da superfície do pavimento foram restabelecidas após a reciclagem, o que nos possibilita dizer que permitirá neste momento, maior qualidade ao rolamento e segurança aos usuários da rodovia.

Sobre os valores de deflexões, eles mostram que a utilização da correlação das deflexões de FWD para Viga Benkelman através da metodologia do DNIT resultam em valores mais conservadores, abordando uma situação mais favorável a segurança no reforço do pavimento.

Referente a ausência do percentual de silte, temos que o tipo de solo encontrado no subleito é arenoso laterítico, sua propriedade de concreção desenvolve maior capacidade de suporte. Diante disso, no segmento em estudo, poderia ser adotado o grupo de solo Tipo II para o dimensionamento do reforço do pavimento no procedimento DNER-PRO 269/94.

Os estudos de tráfego indicaram que, pelo posicionamento das rodovias em estudo, a contagem de veículos comerciais do km 171 da rodovia SP-304 melhor refletia o comportamento da frota de veículos do segmento em estudo. Fatores adversos podem ter influenciado o comportamento da frota de maneira diferenciada nos demais pontos.

Cabe destacar que, a instrução de projeto para estudos de tráfego do DER/SP vigente encontra-se desatualizada, deixando de utilizar as instruções do DENATRAN pela Portaria nº 063/2009, necessitando revisão. Entendemos que a previsibilidade de aplicação da portaria deveria ser cumprida, por ter força de lei, uma vez que as nomenclaturas foram modificadas.

É notório o ganho estrutural do pavimento após a reciclagem. Os raios de curvatura que se apresentavam em sua grande maioria menores que 100m, apresentaram recuperação significativa. De acordo com o método DNER-PRO-11/79, raios de curvaturas menores que 100m devem ser corrigidos com reconstrução do pavimento e a reciclagem representou uma intervenção de rejuvenescimento de base sem gerar resíduos de demolição e consequentemente, converge a uma solução ambientalmente mais eficiente.

Entretanto, a análise da vida útil dos segmentos demonstrou que o segmento reciclado não atingirá vida útil de projeto (10 anos). As análises mostram que a expectativa de vida do pavimento, nas condições atuais do pavimento, sem considerações de deterioração no período, deva durar em média cinco anos e oito meses.

Apesar da expectativa de vida útil, os comparativos de custos indicam que a reciclagem de pavimento proporcionou um desembolso financeiro inicial 40% menor, se comparado ao projeto de restauração, o que sugere a solução da Conservação Especial como alternativa para preservar, durante um determinado período de tempo, as condições do pavimento. Dentro deste contexto, a conserva especial foi eficiente e atinge o objetivo de dar a sobrevida ao pavimento.

Se considerada a estrutura reciclada como pavimento semirrígido, a intervenção a ser realizada para que ela seja capaz de atingir 10 anos de vida útil, de certa maneira é penalizada por necessitar garantir um comportamento diferente do pavimento original, que é flexível. Os cálculos levam a necessidade de se reconstruir o pavimento, apesar da execução da reciclagem do pavimento original.

A avaliação da recuperação do pavimento parece melhor representada se for considerada a condição de pavimento flexível nas análises do pavimento reciclado, já que não se busca a recuperação do pavimento como pavimento semirrígido. A premissa torna-se inconsistente na comparação com a solução de recuperação do pavimento original flexível.

Vale lembrar que muito embora a camada reciclada receba cimento que confere desenvolvimento de módulos significativos, a camada não deve ser obrigatoriamente considerada equivalente a britas graduadas tratadas com cimento, pela presença de material viscoso em sua composição, tanto que os modelos de falha para os materiais cimentados não são válidos para os materiais reciclados com cimento.

RECOMENDAÇÕES

Para estudos futuros, a aplicação dos reforços dimensionados sobre o pavimento reciclado, considerando cálculos como pavimento flexível, e novas medidas de deflexões poderiam indicar como a estrutura se comporta na presença destes reforços, de maneira a mostrar se a vida remanescente do pavimento apresenta ganhos significativos. O monitoramento do pavimento para avaliação da evolução de degradação da estrutura pode dar sinais importantes e conclusões a respeito de como tratar as estruturas recicladas com cimento.

Estudos envolvendo ensaios de laboratório com o material reciclado podem enriquecer as conclusões referentes a performance a ser esperada para este material.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARRETA, A. C e FORTES, R. M. **Estudo comparativo da utilização de duas tecnologias diferentes na reciclagem de pavimento asfáltico com espuma de asfalto para utilização em camada de base.** Artigo científico. VI Jornada de iniciação científica. Universidade Presbiteriana Mackenzie: São Paulo, 2011.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica –** formação básica para engenheiros. 3ª ed. Rio de Janeiro; Imprinta, 2010.

BORGES, C. B. S. **Estudo Comparativo entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 005/2003-TER:** Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos. Terminologia. Rio de Janeiro: IPR, 2003. 12 p. Acesso: 01.set.2018. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit005_2003_ter.pdf>

_**DNIT 006/2003-PROc:** Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos. Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003. 10 p. Acesso: 01.set.2018. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit006_2003_pro.pdf>

_**DNIT 007/2003-PROd:** Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para

gerência de pavimentos e estudos e projetos. Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003. 11 p. Acesso: 01.set.2018. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dnit007_2003_pro.pdf>

_**DNITIPR 719:** Manual de Restauração de pavimentos asfálticos. 3 ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 310 p. Acesso: 09.jan.2019. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimenta%E7%E3o_05.12.06.pdf>

_**DNITIPR 720:** Manual de Pavimentação. 2 ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro: IPR, 2005. 310 p. Acesso: 01.set.2018. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/..%5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5CManual_de_Restauracao.pdf>

_ **DNITIPR 723b:** Manual de Conservação rodoviária. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2ª Ed. – Rio de Janeiro, 2005. 564p. Acesso: 02.set.2018. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Conservacao%20Rodoviaria.pdf>

BRASIL. Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. **DNER-ME 024/94:** Pavimento-determinação das deflexões pela viga Benkelman. Método de ensaio. Vol. I. 1994. 06 p.

_ **DNER-PRO 011/79:** Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. Vol. I. Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 1979. 16 p. Acesso: 02.set.2018. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/procedimento-pro/dner-pro011-79.pdf>

_**DNER-PRO 269/94:** Projeto de restauração de pavimentos flexíveis TECNAPAV. Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 1994. 17 p.

_DNER-TER 02/79: Conservação, restauração e melhoramentos. Terminologia. Rio de Janeiro, 1994. 2 p.

BRITO, Natália J. C. O. **Reaproveitamento de resíduos de revestimento asfáltico visando estabilização de solos para bases de pavimentos.** Boa Vista: UFRR, 2017. Acesso: 29 jan. 2019. Disponível em: file:///C:/Users/pzsouza/Downloads/tcc%20-%20natlia%20brito%202017.pdf

CERATTI, Jorge Augusto Pereira e NÚÑEZ, Washington Peres. **Projeto de Pesquisa CONCEPA – LAPAV: Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de pavimentos flexíveis.** Porto Alegre, 2011. Acesso: 12 jun. 2018. Disponível em: <http://www.triunfoconcepa.com.br/empresa/pesquisas-rdt.aspx>

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília DF, 2017. 158p. Acesso: 12 jun. 2018. Disponível em: <http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_pavimentos_nao_duram.pdf>

COSTA, C. e PINTO, S. **O uso de reciclagem de pavimentos como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil**. Revista Brasil Engenharia. Edição 602. Engenho Editora Técnica: São Paulo, 2011.

DER - DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IC-RP-000/002**. Diretrizes e procedimentos para serviços de conservação especial incluindo a identificação de defeitos e definições de soluções para restauração de pavimentos rodoviários e da sinalização horizontal. Norma de Conservação Especial. Norma. São Paulo, 2013. Acesso: 01.set.2018. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/Website/Acessos/Documentos/ConservacaoEspecial.aspx>

_IP-DE-J00/001_A. Elaboração de Estudos de Tráfego. Instrução de Projeto. São Paulo, 2005. Acesso: 02.set.2018. Disponível em:

<http://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-J00-001_A.pdf>

_**IP-DE-P00/001**. Projeto de Pavimentação. Instrução de Projeto. São Paulo, 2006. Acesso: 02.set.2018. Disponível em: <http://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-001_A.pdf>

_**IP-DE-P00/002_A**. Projeto de Restauração de Pavimento. Instrução de Projeto. São Paulo, 2006. Acesso: 02.set.2018. Disponível em: <http://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-002_A.pdf>

FUNCAÇÃO ROMI. Inauguração da duplicação da SP-304. Acesso: 15.jan.2019. Disponível em:<http://fundacaoromi.org.br/fundacao/index.php?pag=padrao&op=cedoc&id=2126&op2=not&cat=recordando>

FREIRE, A. C. **Agregados para misturas betuminosas.** Palestra na Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Almada, 2004.

GONÇALVES, F. P. O **Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos.** Anotações de Aula. Universidade de Passo Fundo: Rio Grande do Sul, 1999.

LUVIZÃO, Gislaine. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA RECICLAGEM NA RODOVIA SC 355: CARACTERIZAÇÃO DA MISTURA RECICLADA E AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE SEGMENTOS MONITORADOS EXECUTADOS. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2014.

MAIA, Iva M.C. CARATERIZAÇÃO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS. Dissertação (Mestrado). Universidade do Porto. Porto/PT, 2012.

MORAES, M.S.N. **Caracterização de frota de veículos comerciais circulante em rodovia de tráfego elevado como parâmetro de análise de pavimentos.**Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2011.

OLIVEIRA, P. C. A. Contribuição ao Estudo da Técnica de Reciclagem Profunda na Recuperação de Pavimentos Flexíveis. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 2003.

PETERLINI, Paulo Sergio. Dissertação de Mestrado. **Cargas por Eixo e Fatores de Veículos obtidos em Rodovias Federais Concessionadas do Estado do Paraná**. Florianópolis: 2006, p.40

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S**. Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. Rio de Janeiro, 2002.

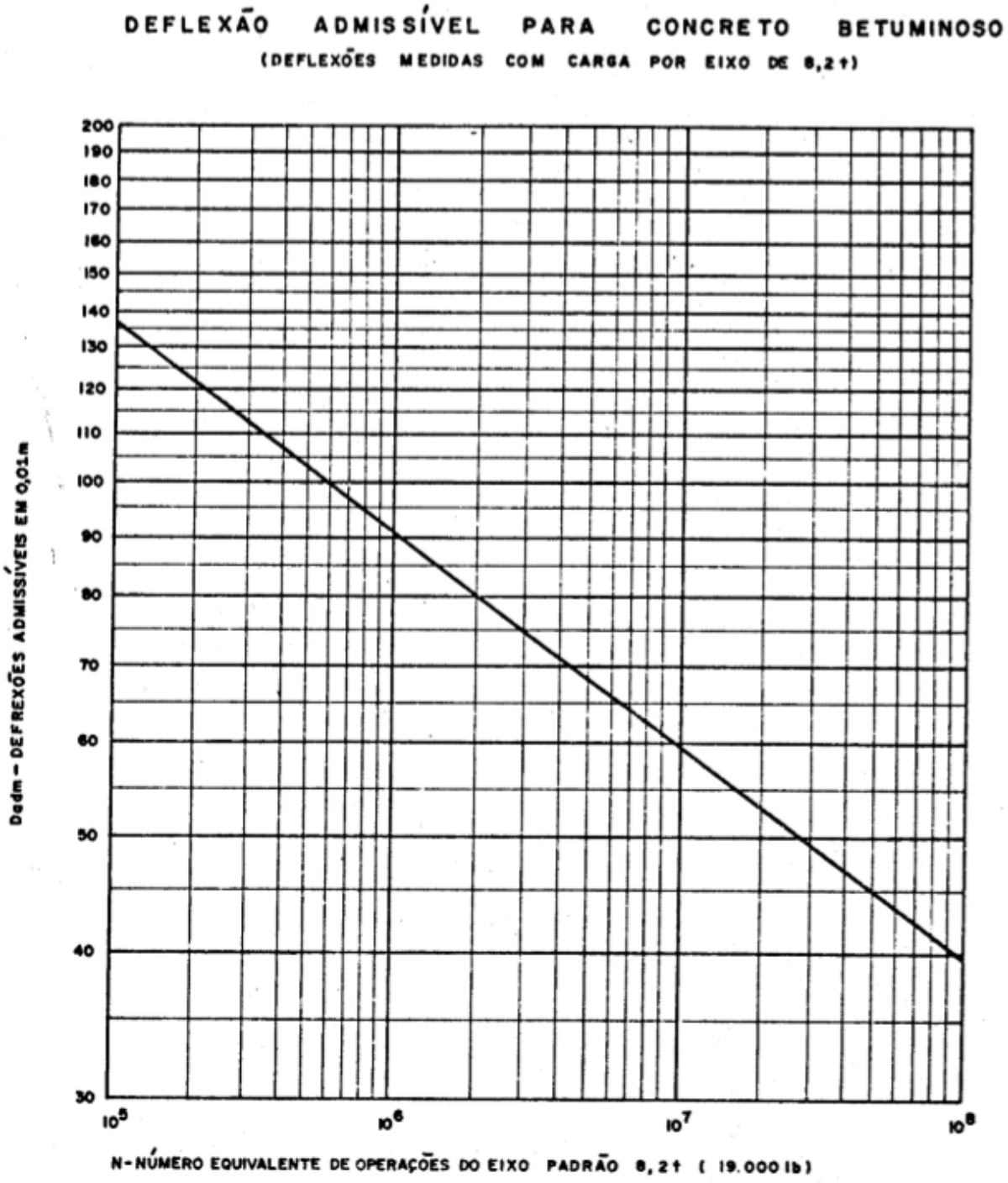
REVISTA ELETRÔNICA GLOBO. Piracicaba e Região. Acesso: 15.jan.2019. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/der-libera-mais-3-quilometros-da-duplicacao-na-sp-304-no-distrito-artemis-em-piracicaba.ghtml

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de técnicas de pavimentação**. Vol. II. 1. ed. São Paulo: PINI, 2001.

SILVA, Luiz Antonio da. **Sistema de gerência de pavimentos do DER/SP.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Engenharia Civil. Campinas – SP, 2008.

7. ANEXOS E APENSOS

7.1. ÁBACO DEFLEXÃO ADMISSÍVEL PRO 11/79



Fonte: DNER PRO 11/79

7.2. ESTATÍSTICA DE TRÁFEGO

7.2.1. VDM (2009 -2014)

Secretaria de Logística e Transportes
Departamento de Estradas de Rodagem

ESTATÍSTICA DE TRÁFEGO

VOLUME DIÁRIO MÉDIO - POR RODOVIA

POSTO DE COLETA						VOLUME DIÁRIO MÉDIO DE TRÁFEGO(VDM)											
LOCALIZAÇÃO						TIPO DE VEÍCULO											
POSTO	SP	DESCRIÇÃO DO TRECHO	Km	TRECHO INÍCIO	TRECHO FIM	ADMINISTRAÇÃO TRECHO	2009 PASSEIO	2009 COMERCIAL	2009 TOTAL	2010 PASSEIO	2010 COMERCIAL	2010 TOTAL	2011 PASSEIO	2011 COMERCIAL	2011 TOTAL	2012 PASSEIO	2012 COMERCIAL	2012 TOTAL
584	304	SP 330 (VIA ANHANGUERA) -DM STA. BARBARA D'OESTE/AMERICANA	131,000	120,850	131,500	DER-DR.13	**29.183**	**4.168**	**33.351**	**31.059**	**4.436**	**35.495**	**32.149**	**4.592**	**36.741**	48.942	7.546	56.488
585	304	STA. BARBARA D'ESTE/AMERICANA - SP 306 (STA BÁRBARA D'OESTE)	135,000	131,500	138,180	DER-DR.13	**29.234**	**5.042**	**34.276**	**31.113**	**5.366**	**36.479**	**32.206**	**5.555**	**37.761**	32.285	5.205	37.490
586	304	SP 306 (SANTA BÁRBARA D'OESTE) - PIRACICABA	147,000	138,180	160,016	DER-DR.13	**18.687**	**3.307**	**21.994**	**19.888**	**3.520**	**23.408**	**20.587**	**3.644**	**24.231**	23.078	5.899	28.977
254	304	(PIRACICABA) - SP 191 (SÃO PEDRO)	191,000	165,770	198,140	DER-DR.13	**9.328**	**1.808**	**11.136**	**9.928**	**1.924**	**11.852**	**10.277**	**1.992**	**12.269**	10.547	1.573	12.120
255	304	SP 191 (SÃO PEDRO) - SP 191(SANTA MARIA DA SERRA)	216,000	198,140	227,640	DER-DR.13	**1.585**	**703**	**2.288**	**1.687**	**748**	**2.435**	3.573	2.481	6.054	4.165	1.940	6.105
256	304	SP 191(SANTA MARIA DA SERRA) - SP 197 (TORRINHA)	244,000	227,640	245,020	DER-DR.13	**1.607**	**707**	**2.314**	**1.710**	**752**	**2.462**	**1.771**	**779**	**2.550**	1.825	703	2.528
257	304	SP 197 (TORRINHA) - AC. DOIS CÓRREGOS	246,000	245,020	270,960	DER-DR.13	**2.099**	**929**	**3.028**	**2.234**	**989**	**3.223**	**2.313**	**1.024**	**3.337**	2.167	937	3.104
456	304	AC. DOIS CÓRREGOS -SPA 278/304 (MINEIROS DO TIETÊ)	273,000	270,960	278,010	DER-DR.3	**4.699**	**1.405**	**6.104**	**4.887**	**1.461**	**6.348**	**5.004**	**1.497**	**6.501**	4.062	971	5.033
258	304	SPA 278/304 (MINEIROS DO TIETÊ)- JAÚ	290,000	278,010	293,910	DER-DR.3	**3.887**	**887**	**4.774**	**4.042**	**922**	**4.964**	**4.140**	**945**	**5.085**	4.121	752	4.873
259	304	SP 255 (JAÚ) - SP 261 (BARIRI)	315,000	302,380	329,130	DER-DR.3	**2.783**	**1.282**	**4.065**	**2.894**	**1.333**	**4.227**	**2.964**	**1.366**	**4.330**	3.130	1.317	4.447
455	304	SP 261 (BARIRI) - SP 331 (IBITINGA)	342,000	329,130	365,000	DER-DR.3	**1.837**	**1.175**	**3.012**	**1.910**	**1.222**	**3.132**	**1.957**	**1.252**	**3.209**	2.448	1.151	3.599
615	304	SP 331 (IBITINGA) - SP 321 (DIST. CAMBARATIBA)	366,000	365,000	380,200	DER-DR.4	**2.737**	**1.664**	**4.401**	**2.908**	**1.768**	**4.676**	**3.074**	**1.869**	**4.943**	4.315	2.219	6.534
618	304	SP 321 (DIST CAMBARATIBA) - SP 333 (BORBOREMA)	381,000	380,200	398,800	DER-DR.4	**2.443**	**1.725**	**4.168**	**2.596**	**1.833**	**4.429**	**2.744**	**1.937**	**4.681**	2.863	1.687	4.550
260	304	SP 333 (BORBOREMA) - SP 321 (NOVO HORIZONTE)	415,000	398,800	416,230	DER-DR.9	**3.832**	**2.680**	**6.512**	**4.009**	**2.803**	**6.812**	**4.243**	**2.968**	**7.211**	6.288	1.988	8.276
803	304	SP 321 (NOVO HORIZONTE) - SP 379 (SALES)	438,000	416,230	448,950	DER-DR.9	**949**	**1.069**	**2.018**	**993**	**1.118**	**2.111**	**1.051**	**1.184**	**2.235**	1.580	939	2.519

Nota: *Campos em negrito correspondem a dados projetados com base na evolução do tráfego.*

Fonte: (http://200.144.30.103/vdm/SFCG_VdmRodComerciais.asp?CodRodovia=SP%20304), acessado em 14 de janeiro de 2014

7.2.2. VDM (2014 -2017)

Secretaria de Logística e Transportes
Departamento de Estradas de Rodagem

ESTATÍSTICA DE TRÁFEGO

VOLUME DIÁRIO MÉDIO - POR RODOVIA

POSTO DE COLETA						VOLUME DIÁRIO MÉDIO DE TRÁFEGO(VDM)											
LOCALIZAÇÃO						TIPO DE VEÍCULO											
POSTO	SP	DESCRIÇÃO DO TRECHO	Km	TRECHO INÍCIO	TRECHO FIM	ADMINISTRAÇÃO TRECHO	2014 PASSEIO	2014 COMERCIAL	2014 TOTAL	2015 PASSEIO	2015 COMERCIAL	2015 TOTAL	2016 PASSEIO	2016 COMERCIAL	2016 TOTAL	2017 PASSEIO	2017 COMERCIAL	2017 TOTAL
584	304	SP 330 (VIA ANHANGUERA) - DISTRITO MUNICIPAL SANTA BÁRBARA D'OESTE/AMERICANA	131,000	120,850	131,500	DER-DR.13	**53.928**	**8.314**	**62.242**	**55.314**	**8.527**	**63.841**	**54.261**	**8.364**	**62.625**	**54.818**	**8.449**	**63.267**
585	304	SANTA BÁRBARA D'OESTE/AMERICANA - SP 306 (SANTA BÁRBARA D'OESTE)	135,000	131,500	138,180	DER-DR.13	**35.574**	**5.735**	**41.309**	**36.488**	**5.882**	**42.370**	**35.793**	**5.770**	**41.563**	**36.160**	**5.829**	**41.989**
586	304	SP 306 (SANTA BÁRBARA D'OESTE) - PIRACICABA	147,000	138,180	160,016	DER-DR.13	**25.429**	**6.499**	**31.928**	**26.082**	**6.666**	**32.748**	**25.585**	**6.539**	**32.124**	**25.847**	**6.606**	**32.453**
254	304	PIRACICABA - SP 191 (SÃO PEDRO)	185,500	165,770	198,140	DER-DR.13	10.342	1.782	12.124	10.596	1.825	12.421	**10.394**	**1.790**	**12.184**	**10.500**	**1.808**	**12.308**
255	304	SP 191 (SÃO PEDRO) - SP 191(SANTA MARIA DA SERRA)	216,000	198,140	227,640	DER-DR.13	**4.589**	**2.137**	**6.726**	**4.706**	**2.191**	**6.897**	**4.616**	**2.149**	**6.765**	**4.663**	**2.171**	**6.834**
256	304	SP 191 (SANTA MARIA DA SERRA) - SP 197 (TORRINHA)	244,000	227,640	245,020	DER-DR.13	**2.010**	**774**	**2.784**	**2.061**	**793**	**2.854**	**2.021**	**777**	**2.798**	**2.041**	**784**	**2.825**
257	304	SP 197 (TORRINHA) - ACESSO DOIS CÓRREGOS	246,000	245,020	270,960	DER-DR.13	**2.387**	**1.032**	**3.419**	**2.448**	**1.058**	**3.506**	**2.401**	**1.037**	**3.438**	**2.425**	**1.047**	**3.472**
456	304	ACESSO A DOIS CÓRREGOS - SPA 278/304 (MINEIROS DO TIETÊ)	273,000	270,960	278,010	DER-DR.3	**4.322**	**1.033**	**5.355**	**4.429**	**1.058**	**5.487**	**4.286**	**1.023**	**5.309**	**4.276**	**1.020**	**5.296**
258	304	SPA 278/304 (MINEIROS DO TIETÊ) - JAÚ	290,000	278,010	293,910	DER-DR.3	**4.385**	**800**	**5.185**	**4.494**	**819**	**5.313**	**4.349**	**792**	**5.141**	**4.339**	**790**	**5.129**
259	304	SP 255 (JAÚ) - SP 261 (BARIRI)	315,000	302,380	329,130	DER-DR.3	**3.331**	**1.401**	**4.732**	**3.413**	**1.435**	**4.848**	**3.302**	**1.388**	**4.690**	**3.294**	**1.384**	**4.678**
455	304	SP 261 (BARIRI) - SP 331 (IBITINGA)	342,000	329,130	365,000	DER-DR.3	**2.605**	**1.224**	**3.829**	**2.669**	**1.254**	**3.923**	**2.582**	**1.213**	**3.795**	**2.576**	**1.210**	**3.786**
615	304	SP 331 (IBITINGA) - SP 321 (DISTRITO CAMBARATIBA)	366,000	365,000	380,200	DER-DR.4	**4.735**	**2.435**	**7.170**	**4.851**	**2.494**	**7.345**	**4.727**	**2.430**	**7.157**	**4.760**	**2.447**	**7.207**
618	304	SP 321 (DISTRITO CAMBARATIBA) - SP 333 (BORBOREMA)	381,000	380,200	398,800	DER-DR.4	**3.142**	**1.851**	**4.993**	**3.219**	**1.896**	**5.115**	**3.137**	**1.847**	**4.984**	**3.159**	**1.859**	**5.018**
260	304	SP 333 (BORBOREMA) - SP 321 (NOVO HORIZONTE)	415,000	398,800	416,230	DER-DR.9	**6.933**	**2.192**	**9.125**	**7.091**	**2.242**	**9.333**	**6.684**	**2.113**	**8.797**	**6.629**	**2.095**	**8.724**
803	304	SP 321 (NOVO HORIZONTE) - SP 379 (SALES)	438,000	416,230	448,950	DER-DR.9	**1.742**	**1.035**	**2.777**	**1.781**	**1.058**	**2.839**	**1.678**	**997**	**2.675**	**1.664**	**988**	**2.652**

Nota: *Campos em negrito correspondem a dados projetados com base na evolução do tráfego.*

Fonte: (http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Acessos/MalhaRodoviaria/VolumeDiario.aspx), acessado em 20 de setembro de 2018

7.3. CONTAGEM DE TRÁFEGO DO DER/SP

RESUMO DA CONTAGEM DE TRÁFEGO

- Km 131 da SP-304 – Sentido: AMERICANA – SANTA BÁRBARA D'OESTE

Dia 26/11/13 - TERÇA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		**Total**
00:00-01:00																			
01:00-02:00																			
02:00-03:00																			
03:00-04:00																			
04:00-05:00																			
05:00-06:00	237	36	1	7	12	40	1	0	4	3	0	6	0	0	3	4	2	0	**356**
06:00-07:00	895	14	2	20	43	56	0	0	5	31	0	20	0	0	0	5	5	0	**1.096**
07:00-08:00	1447	18	0	22	70	42	7	0	6	6	0	25	0	1	0	0	10	0	**1.654**
08:00-09:00	1192	37	3	24	67	61	3	3	2	33	0	17	0	0	0	0	7	0	**1.449**
09:00-10:00	1092	21	4	15	84	43	6	7	5	18	0	29	0	2	0	5	16	0	**1.347**
10:00-11:00	993	10	0	28	81	31	3	1	0	18	0	30	0	0	5	5	13	0	**1.218**
11:00-12:00	772	15	0	33	58	16	0	2	4	20	2	17	0	0	1	0	10	0	**950**
12:00-13:00	776	45	0	17	51	56	2	1	4	27	2	8	0	2	1	0	10	2	**1.004**
13:00-14:00	972	19	0	17	27	47	6	0	7	15	1	32	2	0	2	0	7	0	**1.154**
14:00-15:00	1140	19	0	46	43	59	7	5	4	30	1	17	0	1	2	1	11	5	**1.391**
15:00-16:00	845	17	0	25	50	42	7	1	1	30	0	25	1	4	0	0	10	5	**1.063**
16:00-17:00	1003	25	0	31	28	39	11	2	6	36	5	15	0	0	2	0	17	0	**1.220**
17:00-18:00	1052	15	3	26	50	51	8	1	13	28	3	13	1	0	4	0	15	3	**1.286**
18:00-19:00	902	32	0	50	32	20	6	1	0	11	8	11	0	1	1	0	13	0	**1.088**
19:00-20:00																			
20:00-21:00																			
21:00-22:00																			
22:00-23:00																			
23:00-24:00																			

Dia 27/11/13 - QUARTA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		**Total**
00:00-01:00																			
01:00-02:00																			
02:00-03:00																			
03:00-04:00																			
04:00-05:00																			
05:00-06:00	142	18	0	0	7	31	4	0	3	11	0	2	0	0	0	1	5	0	**224**
06:00-07:00	747	25	0	10	51	48	2	0	0	25	1	20	1	0	1	4	2	0	**937**
07:00-08:00	1471	46	5	30	97	73	0	0	2	24	2	17	0	2	1	4	19	2	**1.795**
08:00-09:00	1166	28	0	19	112	62	0	1	6	21	1	24	1	0	0	1	9	1	**1.452**
09:00-10:00	1018	24	4	19	146	65	7	7	21	9	15	12	0	1	0	25	40	3	**1.416**
10:00-11:00	930	55	1	5	115	33	35	25	45	31	30	2	0	0	0	36	96	0	**1.439**
11:00-12:00	1250	61	4	9	105	76	20	11	37	31	10	6	0	0	0	10	191	0	**1.821**
12:00-13:00	861	24	5	11	101	64	17	6	19	27	23	11	0	10	0	6	21	5	**1.211**
13:00-14:00	1448	30	1	20	220	221	35	5	30	35	2	3	0	0	0	47	55	1	**2.153**
14:00-15:00	1260	27	0	40	71	86	8	0	7	21	5	18	1	1	3	1	4	0	**1.553**
15:00-16:00	1115	33	2	41	87	64	10	0	8	27	1	15	0	0	0	5	23	0	**1.431**
16:00-17:00	1145	28	0	35	100	57	9	0	6	32	0	25	0	0	0	6	10	0	**1.453**
17:00-18:00	1825	45	3	24	71	70	4	3	7	14	2	25	0	0	0	5	8	1	**2.107**
18:00-19:00	850	75	1	50	34	28	0	0	1	8	40	11	0	0	0	0	5	1	**1.104**
19:00-20:00																			
20:00-21:00																			
21:00-22:00																			
22:00-23:00																			
23:00-24:00																			

Dia 28/11/13 - QUINTA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		**Total**
00:00-01:00	319	1	0	1	4	2	0	1	3	1	2	5	1	5	0	0	7	0	**352**
01:00-02:00	275	0	0	4	8	3	1	0	4	3	0	7	0	0	0	0	4	0	**309**
02:00-03:00	177	7	0	0	4	3	0	0	10	4	0	6	0	0	0	0	3	0	**214**
03:00-04:00	60	8	0	4	2	11	1	1	1	7	1	3	0	1	0	0	1	1	**102**
04:00-05:00	122	10	0	5	9	5	2	1	7	6	0	9	0	0	0	0	1	0	**177**
05:00-06:00	208	28	0	3	18	31	2	0	2	9	0	12	1	0	0	2	5	0	**321**
06:00-07:00	857	50	2	16	48	48	3	1	5	24	0	19	0	0	0	4	7	0	**1.084**
07:00-08:00	1516	30	0	25	70	50	7	2	1	18	0	19	0	0	1	4	21	0	**1.764**
08:00-09:00	1180	34	1	17	75	55	4	2	0	22	0	20	0	0	0	0	12	0	**1.422**
09:00-10:00	1245	15	1	21	84	55	7	3	4	30	0	17	0	0	0	7	10	0	**1.499**
10:00-11:00	1049	33	0	21	75	70	8	3	5	23	0	27	0	0	3	2	15	4	**1.338**
11:00-12:00	768	10	0	34	88	51	3	1	8	25	0	32	1	1	3	1	7	0	**1.033**
12:00-13:00	876	43	0	13	61	68	3	0	8	34	1	15	0	0	2	2	7	5	**1.138**
13:00-14:00	1012	20	0	15	62	69	1	0	5	22	2	26	0	3	0	2	3	4	**1.246**
14:00-15:00	1233	24	0	33	78	76	1	1	11	17	1	29	0	1	0	2	12	4	**1.523**
15:00-16:00	898	12	0	39	56	55	2	0	0	31	0	26	1	3	0	0	2	5	**1.130**
16:00-17:00	1079	31	0	24	71	58	4	0	9	35	0	25	0	0	0	1	4	3	**1.344**
17:00-18:00	1471	22	2	18	53	55	4	0	9	23	1	7	0	2	0	3	11	1	**1.682**
18:00-19:00	913	25	1	63	33	20	1	1	0	11	0	15	0	0	0	0	4	0	**1.087**
19:00-20:00	1015	12	0	1	11	27	5	0	0	9	0	11	0	0	0	0	5	0	**1.096**
20:00-21:00	820	2	0	1	5	2	0	2	8	3	1	7	0	1	0	1	7	0	**860**
21:00-22:00	1025	31	2	4	6	6	1	0	1	9	0	9	0	0	0	0	5	0	**1.099**
22:00-23:00	975	13	0	3	6	7	0	0	11	3	1	11	0	2	0	0	2	0	**1.034**
23:00-24:00	472	15	0	4	14	6	2	0	3	6	1	8	0	0	0	0	11	0	**542**

SENTIDO: AMERICANA - STA BARBARA D'OESTE - Km 131

Dados das contagens

	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	**Total**
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
Total	48.111	1.318	48	1.043	2.954	2.414	280	101	368	997	165	821	11	44	35	202	800	56	**59.768**
VMD	16.037	439	16	348	985	805	93	34	123	332	55	274	4	15	12	67	267	19	**19.923**
%	80%	2%	0%	2%	5%	4%	0%	0%	1%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	**100%**

- Km 142 da SP-304 – Sentido: SP-348 (VIA BANDEIRANTES - PIRACICABA)

Dia 03/12/13 - TERÇA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		**Total**
00:00-01:00																			
01:00-02:00																			
02:00-03:00																			
03:00-04:00																			
04:00-05:00																			
05:00-06:00	69	20	0	7	19	25	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	**160**
06:00-07:00	467	22	0	9	57	51	3	0	3	33	0	28	0	0	0	0	6	0	**679**
07:00-08:00	1166	18	0	57	48	3	0	0	0	20	0	34	0	0	0	0	23	3	**1.372**
08:00-09:00	1309	24	0	28	86	63	10	1	2	40	0	25	0	0	0	1	3	1	**1.593**
09:00-10:00	1040	13	1	21	61	55	28	1	16	33	3	23	0	1	0	3	6	6	**1.311**
10:00-11:00	905	20	1	34	65	61	7	0	5	41	1	21	0	2	3	5	14	0	**1.185**
11:00-12:00	1059	19	0	33	69	71	4	1	4	33	0	29	1	5	0	4	7	12	**1.351**
12:00-13:00	917	7	1	25	48	85	1	0	0	57	5	38	0	0	0	5	7	9	**1.205**
13:00-14:00	827	22	0	37	71	76	7	1	3	34	1	26	0	0	0	6	5	3	**1.119**
14:00-15:00	828	24	0	29	71	80	7	1	5	38	0	22	0	0	1	5	10	9	**1.130**
15:00-16:00	851	49	0	25	48	83	10	1	5	46	0	24	0	0	0	1	5	5	**1.153**
16:00-17:00	948	18	0	25	60	54	10	0	3	30	1	31	0	0	0	1	11	2	**1.194**
17:00-18:00	1172	11	2	15	29	42	1	0	5	28	5	22	0	0	0	0	4	3	**1.339**
18:00-19:00	1110	14	2	64	64	78	4	0	4	32	2	31	0	0	3	0	3	2	**1.413**
19:00-20:00																			
20:00-21:00																			
21:00-22:00																			
22:00-23:00																			
23:00-24:00																			

Dia 04/12/13 - QUARTA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		**Total**
00:00-01:00	226	1	0	0	11	4	0	1	8	11	7	6	0	0	0	1	2	0	**278**
01:00-02:00	67	14	0	0	3	6	0	0	1	0	0	7	0	0	0	0	6	0	**104**
02:00-03:00	40	12	0	2	2	2	0	2	9	5	0	2	0	0	1	0	0	0	**77**
03:00-04:00	126	17	0	2	12	16	2	0	9	9	2	7	0	0	0	0	2	0	**204**
04:00-05:00	95	7	2	1	19	10	0	5	42	7	4	2	0	0	0	5	2	0	**201**
05:00-06:00	163	25	0	4	14	24	4	1	3	15	5	12	0	0	0	0	4	3	**277**
06:00-07:00	678	8	0	12	60	60	5	1	10	46	4	17	0	0	5	0	7	0	**913**
07:00-08:00	1266	24	2	16	100	88	3	0	7	71	1	37	0	0	3	0	8	2	**1.628**
08:00-09:00	1210	19	0	22	168	117	4	0	14	105	23	62	0	0	2	0	15	2	**1.763**
09:00-10:00	1156	5	0	47	48	69	9	0	1	25	0	32	0	0	3	1	10	11	**1.417**
10:00-11:00	899	19	0	15	128	121	26	0	9	114	0	61	0	0	6	0	18	5	**1.421**
11:00-12:00	1062	12	5	26	147	114	11	0	23	79	12	30	7	0	14	0	7	4	**1.553**
12:00-13:00	987	19	1	49	53	35	4	1	7	41	0	34	0	3	0	0	15	2	**1.251**
13:00-14:00	733	8	1	9	79	76	13	0	12	39	0	26	0	0	3	0	6	2	**1.007**
14:00-15:00	574	11	0	23	53	62	8	0	3	35	0	37	3	0	2	0	5	6	**822**
15:00-16:00	649	15	0	15	122	97	17	0	10	72	12	100	0	0	5	0	5	7	**1.126**
16:00-17:00	730	21	2	40	47	64	5	0	8	51	5	33	7	0	0	9	14	4	**1.040**
17:00-18:00	1265	16	6	31	73	96	2	0	3	43	7	46	7	0	0	11	17	3	**1.626**
18:00-19:00	1068	11	2	38	64	61	3	0	6	37	9	53	0	0	2	0	15	7	**1.376**
19:00-20:00	554	4	2	8	16	24	4	0	8	13	2	16	0	0	0	0	3	0	**654**
20:00-21:00	508	0	0	8	16	30	6	5	9	18	4	16	10	6	0	8	17	0	**661**
21:00-22:00	305	6	0	8	10	17	0	1	8	9	0	6	0	0	0	0	1	0	**371**
22:00-23:00	311	4	0	2	4	15	0	0	4	15	0	18	0	1	1	1	3	0	**379**
23:00-24:00	128	3	1	0	7	12	2	0	8	9	0	5	0	0	0	0	0	0	**175**

Dia 05/12/13 - QUINTA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		**Total**
00:00-01:00																			
01:00-02:00																			
02:00-03:00																			
03:00-04:00																			
04:00-05:00																			
05:00-06:00	170	25	0	1	15	23	1	0	3	25	0	13	0	0	0	1	0	2	**279**
06:00-07:00	644	12	1	19	49	70	6	0	8	34	0	25	0	0	2	2	6	6	**884**
07:00-08:00	1271	18	1	17	64	92	3	0	0	38	0	32	0	1	1	0	13	5	**1.556**
08:00-09:00	1176	11	0	24	49	38	2	0	4	32	1	35	0	1	0	0	10	1	**1.384**
09:00-10:00	1008	6	0	18	80	60	2	0	1	52	0	47	0	0	0	0	5	2	**1.281**
10:00-11:00	815	7	1	19	53	42	5	0	6	37	1	30	0	2	0	0	5	5	**1.028**
11:00-12:00	1077	11	3	77	80	73	5	0	6	52	2	42	0	3	0	0	5	2	**1.438**
12:00-13:00	882	6	0	16	48	68	4	0	1	28	0	29	0	0	0	0	9	3	**1.094**
13:00-14:00	958	8	1	25	56	83	3	1	7	42	0	26	0	0	1	0	8	4	**1.223**
14:00-15:00	795	18	1	27	51	76	4	0	7	38	0	28	0	0	0	0	1	3	**1.049**
15:00-16:00	815	15	1	20	46	66	5	0	2	42	1	26	0	0	0	0	1	3	**1.043**
16:00-17:00	871	13	0	13	46	46	1	0	0	27	0	24	0	0	0	1	8	3	**1.053**
17:00-18:00	980	14	0	15	30	74	5	0	4	41	3	31	0	0	0	0	3	4	**1.204**
18:00-19:00	949	12	2	56	62	70	12	2	0	70	2	45	0	0	0	0	26	3	**1.311**
19:00-20:00																			
20:00-21:00																			
21:00-22:00																			
22:00-23:00																			
23:00-24:00																			

SENTIDO : SP-348 (VIA BANDEIRANTES) - PIRACICABA - KM 142

Dados das contagens

	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	**Total**
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
Total	39.879	738	42	1.134	2.781	2.928	278	26	326	1.902	125	1.462	35	25	58	71	386	159	**52.355**
VMD	13.293	246	14	378	927	976	93	9	109	634	42	487	12	8	19	24	129	53	**17.452**
%	76%	1%	0%	2%	5%	6%	1%	0%	1%	4%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	**100%**

- Km 171 da SP-304 – Sentido: PIRACICABA – ÁGUAS DE SÃO PEDRO

Dia 10/12/13 - TERÇA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		Total
00:00-01:00	165	3	1	1	8	3	2	0	3	3	2	2	2	0	1	0	0	0	**196**
01:00-02:00	52	4	2	0	0	4	0	0	1	0	3	0	3	1	0	0	0	0	**70**
02:00-03:00	37	8	2	1	0	4	0	0	6	0	0	2	0	1	0	2	0	0	**63**
03:00-04:00	110	13	0	3	6	12	0	0	5	6	7	0	6	0	0	0	0	0	**168**
04:00-05:00	70	6	4	0	17	10	2	0	26	7	5	1	1	0	5	0	1	0	**155**
05:00-06:00	245	8	2	12	20	20	0	0	2	7	5	7	0	0	0	0	1	0	**329**
06:00-07:00	224	20	2	19	34	44	2	0	4	19	6	4	0	0	0	0	1	2	**381**
07:00-08:00	369	15	1	54	53	49	2	1	10	32	9	40	2	0	0	0	7	1	**645**
08:00-09:00	421	19	3	54	74	45	2	3	6	28	4	24	2	0	0	0	8	4	**697**
09:00-10:00	385	15	2	83	75	60	1	0	7	23	3	43	3	0	0	0	3	3	**706**
10:00-11:00	448	11	0	17	24	36	4	0	0	13	0	7	0	0	1	0	1	0	**562**
11:00-12:00	823	10	0	10	65	36	2	0	5	8	2	4	0	0	0	0	4	1	**970**
12:00-13:00	932	11	5	38	73	27	0	0	12	7	2	22	2	0	0	0	1	1	**1.133**
13:00-14:00	407	7	2	27	33	42	7	0	7	22	2	20	2	0	0	0	12	1	**591**
14:00-15:00	549	16	0	12	22	45	1	0	0	5	0	5	0	0	0	0	1	1	**657**
15:00-16:00	604	12	0	11	25	21	6	0	0	14	0	1	0	0	0	0	0	2	**696**
16:00-17:00	747	18	5	14	16	41	2	0	0	10	1	2	0	0	0	0	2	0	**858**
17:00-18:00	1110	27	0	19	22	41	1	0	2	11	0	10	0	0	0	0	0	0	**1.243**
18:00-19:00	1223	20	0	11	30	6	0	0	5	0	5	0	0	1	0	1	1	1	**1.304**
19:00-20:00	325	5	0	6	9	11	0	0	1	5	0	1	0	0	0	0	1	0	**364**
20:00-21:00	426	5	0	0	16	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	**461**
21:00-22:00	339	8	0	0	10	12	6	0	1	2	0	2	0	0	0	0	3	0	**383**
22:00-23:00	587	4	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	**601**
23:00-24:00	213	9	1	2	7	4	0	1	2	3	0	6	0	0	0	0	0	0	**248**

Dia 11/12/13 -QUARTA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		Total
00:00-01:00																			
01:00-02:00																			
02:00-03:00																			
03:00-04:00																			
04:00-05:00																			
05:00-06:00	71	7	0	1	10	13	1	0	7	2	0	1	0	0	0	0	1	0	**114**
06:00-07:00	344	11	0	8	21	24	0	0	0	16	0	10	0	0	0	0	0	2	**436**
07:00-08:00	562	13	0	2	23	22	3	0	0	7	2	5	0	0	0	3	2	0	**644**
08:00-09:00	220	326	1	6	25	37	5	0	0	13	0	8	0	0	0	0	4	0	**645**
09:00-10:00	282	284	3	8	36	41	9	0	7	10	2	10	0	0	0	0	8	3	**703**
10:00-11:00	578	7	0	14	49	53	2	0	0	8	0	8	0	0	0	0	3	0	**722**
11:00-12:00	690	12	0	34	41	24	3	2	2	18	0	11	0	0	0	1	5	4	**847**
12:00-13:00	641	8	0	25	87	48	8	3	1	17	4	27	0	0	0	3	11	4	**887**
13:00-14:00	337	1	0	12	0	7	3	1	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	**367**
14:00-15:00	247	0	0	5	1	5	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	**263**
15:00-16:00	290	1	0	5	5	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	**303**
16:00-17:00	419	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**427**
17:00-18:00	382	3	0	7	4	4	2	0	0	3	0	2	0	0	0	0	1	0	**408**
18:00-19:00	324	2	0	11	6	3	0	0	0	5	1	2	0	0	0	0	2	0	**356**
19:00-20:00																			
20:00-21:00																			
21:00-22:00																			
22:00-23:00																			
23:00-24:00																			

Dia 12/12/13 - QUINTA-FEIRA

Horário	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	Total
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
00:00-01:00																			
01:00-02:00																			
02:00-03:00																			
03:00-04:00																			
04:00-05:00																			
05:00-06:00	108	6	2	7	10	13	0	1	6	19	1	5	0	0	2	3	8	5	**196**
06:00-07:00	342	10	0	8	17	17	0	0	0	6	0	3	0	0	0	0	1	0	**404**
07:00-08:00	640	13	0	25	29	23	1	0	0	8	0	6	0	0	0	0	0	0	**745**
08:00-09:00	720	19	0	23	45	40	0	0	2	7	1	8	0	0	0	0	2	0	**867**
09:00-10:00	488	8	0	18	37	34	2	0	7	8	6	6	0	0	0	0	7	2	**623**
10:00-11:00	605	19	0	28	53	50	0	0	7	12	2	16	0	0	0	0	6	4	**802**
11:00-12:00	679	15	3	19	33	46	1	4	6	16	4	12	3	0	0	3	6	3	**853**
12:00-13:00	574	18	8	38	45	42	3	2	25	25	6	10	0	1	0	2	11	4	**814**
13:00-14:00	560	21	2	28	32	30	0	0	12	12	2	17	0	0	0	0	5	2	**723**
14:00-15:00	517	7	2	20	35	36	0	2	7	9	3	12	0	0	0	0	3	4	**657**
15:00-16:00	581	15	2	48	61	47	0	0	5	10	0	1	0	0	0	0	2	0	**772**
16:00-17:00	549	1	0	23	60	70	0	0	2	13	3	12	0	2	0	0	4	0	**739**
17:00-18:00	362	12	4	32	43	37	3	1	7	10	0	13	0	0	0	0	1	2	**527**
18:00-19:00	397	11	9	40	46	32	2	1	5	18	0	12	0	0	0	0	7	7	**587**
19:00-20:00																			
20:00-21:00																			
21:00-22:00																			
22:00-23:00																			
23:00-24:00																			

SENTIDO : PIRACICABA - ÁGUAS DE SÃO PEDRO - Km 171
Dados das contagens

	Veículo Leve	Ônibus		Camin. Leve	Caminhão Pesado			Reboque e Semi Reboque										BiTrem	Total
		2C	3C	2C	2C	3C	4C	2S1	2S2	2S3	3S2	3S3	2C2	2C3	3C2	3C3	3C4		
Total	23.320	1.124	68	893	1.496	1.391	88	22	213	504	96	423	26	6	9	19	151	63	**29.912**
VMD	7.773	375	23	298	499	464	29	7	71	168	32	141	9	2	3	6	50	21	**9.971**
%	78%	4%	0%	3%	5%	5%	0%	0%	1%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	**100%**

7.4. CONTAGEM DE TRÁFEGO DA CONCESSIONÁRIA

7.5. NÚMERO “N” COM FATOR DE VEÍCULO DA METODOLOGIA AASHTO

CÁLCULO DO FATOR DE VEÍCULOS - USACE															
Classificação dos Veículos		ni - Nº Eixos Simples (roda simples)	FCi AASHTO	ni - Nº Eixos Simples (roda dupla)	FCi AASHTO	ni - Nº de Eixos Tandem duplo (roda dupla)	FCi AASHTO	Nº de Eixos Tandem triplo (roda dupla)	FCi AASHTO	VDMa Volume Diário Médio Anual	Pi % VDMa	Fatores de Veículos - USACE			
												FVi = Σ ni x FCi		FVt = FVi x Pi	
Classe	Tipo											carregado	vazio	carregado	vazio
2C	Ônibus	1	0,33	1	2,39	0	1,64	0	1,56	454	18,82	2,72	0,00	0,51	0,00
3C		1	0,33	0	2,39	1	1,64	0	1,56	28	1,16	1,97	0,00	0,02	0,00
2C	Médios + Pesados	1	0,33	1	2,39	0	1,64	0	1,56	823	34,15	2,72	0,00	0,93	0,00
3C		1	0,33	0	2,39	1	1,64	0	1,56	493	20,43	1,97	0,00	0,40	0,00
4C		1	0,33	0	2,39	0	1,64	1	1,56	34	1,43	1,89	0,00	0,03	0,00
2S1	Caminhões com Semi Reboques	1	0,33	2	2,39	0	1,64	0	1,56	9	0,36	5,11	0,00	0,02	0,00
2S2		1	0,33	1	2,39	1	1,64	0	1,56	96	3,98	4,36	0,00	0,17	0,00
2S3		1	0,33	1	2,39	0	1,64	1	1,56	177	7,33	4,28	0,00	0,31	0,00
3S2		1	0,33	0	2,39	2	1,64	0	1,56	37	1,52	3,61	0,00	0,05	0,00
3S3		1	0,33	0	2,39	1	1,64	1	1,56	143	5,95	3,53	0,00	0,21	0,00
2C2	Romeu e Julieta	1	0,33	3	2,39	0	1,64	0	1,56	10	0,40	7,50	0,00	0,03	0,00
2C3		1	0,33	2	2,39	1	1,64	0	1,56	4	0,18	6,75	0,00	0,01	0,00
3C2		1	0,33	2	2,39	1	1,64	0	1,56	6	0,27	6,75	0,00	0,02	0,00
3C3		1	0,33	1	2,39	2	1,64	0	1,56	20	0,85	6,00	0,00	0,05	0,00
3C4		1	0,33	0	2,39	3	1,64	0	1,56	56	2,32	5,25	0,00	0,12	0,00
BiTrem		1	0,33	0	2,39	2	1,64	1	1,56	20	0,85	5,17	0,00	0,04	0,00
									VDMa Total	**2.411**	**100,0**		**FVt =**	**2,94**	**0,00**

Tipos de eixo	**P (tf)**	**P (tf)**	**FEC USACE**	**FEC USACE**
	Carregado	**Vazio**	**Carregado**	**Vazio**
Dianteiro simples e traseiro simples	6	0,00	0,33	0,00
	10	0,00	2,39	0,00
Tandem duplo	17	0,00	1,64	0,00
Tandem triplo (rodagem dupla)	25,5	0,00	1,56	0,00

FV = (FVt carregado X 80%) + (FVt vazio X 20%)

FV = (7,84 x 80%) + (0,00 x 20%)

FVusace = 2,35

FATOR DIRECIONAL (FD)	FATOR CLIMÁTICO (FR)	FATOR DE VEÍCULO (FV)	TAXA DE CRESCIMENTO	Número "N"
		AASHTO		
0,50	1,00	2,35	2,50%	N = 365 x VMD x FV x FR x FD

Ano	Período de Projeto	AASHTO	
		Anual	Acumulado
2017	0º	1,04E+06	
2018	0º	1,06E+06	1,06E+06
2019	1º	1,09E+06	2,15E+06
2020	2º	1,11E+06	3,26E+06
2021	3º	1,14E+06	4,41E+06
2022	4º	1,17E+06	5,58E+06
2023	5º	1,20E+06	6,78E+06
2024	6º	1,23E+06	8,01E+06
2025	7º	1,26E+06	9,27E+06
2026	8º	1,29E+06	1,06E+07
2027	9º	1,33E+06	1,19E+07
2028	10º	1,36E+06	1,32E+07