

**AMANDA AIKO ONAGA  
JULIANA GONÇALVES OZAWA  
VANESSA GARCIA ALMEIDA FERREIRA  
VICTORIA VAZZOLER RODRIGUES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DE ASPECTOS DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE  
REFORÇOS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS -  
ESTUDO DE CASO DA RODOVIA SP-280**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo

São Paulo

2018

**AMANDA AIKO ONAGA  
JULIANA GONÇALVES OZAWA  
VANESSA GARCIA ALMEIDA FERREIRA  
VICTORIA VAZZOLER RODRIGUES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DE ASPECTOS DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE  
REFORÇOS ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS -  
ESTUDO DE CASO DA RODOVIA SP-280**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. José Tadeu Balbo

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

### Catálogo-na-publicação

ANÁLISE DE ASPECTOS DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REFORÇOS  
ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS - ESTUDO DE CASO DA  
RODOVIA SP-280 / A. A. Onaga, J. G. Ozawa, V. G. A. Ferreira, V. V. R.  
Santos -- São Paulo, 2018.  
165 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Pavimentação 2.Manutenção 3.Rodovias I.Universidade de São Paulo.  
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos profissionais da CCR Engellog, especialmente ao Gestor de Projetos engenheiro Wilson França, à Coordenadora de Qualidade engenheira Margareth Brandão Ticianelli, ao Analista de Projetos engenheiro Raphael Daibert, ao Analista de Obras Rodoviárias engenheiro Robert Becerra El-Hage, pela disponibilidade em nos receber na unidade em Jundiaí e nos ensinar sobre o trabalho da empresa com paciência e disposição. Também por sanarem nossas dúvidas e estarem sempre disponíveis para nos atender e fornecer os dados de projeto essenciais para a elaboração deste trabalho de formatura.

Aos funcionários do Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR), especialmente ao Analista de Engenharia Rodoviária, o engenheiro e pesquisador Luís Miguel Gutierrez, e à Coordenadora do CPR, engenheira Valéria Cristina de Faria, por nos receberem e explicarem sobre as pesquisas e ensaios realizados no laboratório da CCR, em Santa Isabel.

Aos colaboradores da CCR SPVias, representados pelo engenheiro Luiz Roberto, e aos técnicos da Ellenco Construções Ltda, que nos receberam em visitas à usina de asfalto e às obras em pista localizadas na região de Itatinga, as quais foram essenciais para o aprendizado do grupo e para o contato com a Engenharia na realidade além da Escola.

Aos nossos amigos, familiares e professores da Escola que nos apoiaram de diversas formas durante os anos de graduação e durante a elaboração deste trabalho. De maneira especial, agradecemos ao nosso professor orientador José Tadeu Balbo que nos possibilitou a execução desse estudo, nos apresentando à obra, nos colocando em contato com as pessoas citadas, nos acompanhando, tirando nossas dúvidas e estando sempre à disposição.

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	16
2	Objetivo.....	19
3	Justificativa e método .....	20
4	Contextualização .....	21
4.1	Contextualização da região.....	21
4.2	Contextualização da rodovia .....	23
4.3	Contextualização da obra.....	25
5	Revisão da Literatura Técnica .....	28
5.1	Princípios de manutenção, ciclo de vida e avaliação de custos.....	28
5.1.1	Tipos de manutenção .....	31
5.2	Fundação Conceitual de Projeto de Reforço Estrutural de Pavimentos Asfálticos.....	33
5.2.1	Métodos de avaliação de qualidade de pavimentos .....	33
5.2.2	Métodos de Projeto de Reforços Estruturais .....	50
5.3	Misturas Asfálticas Aplicáveis a Reforços .....	59
5.3.1	Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) .....	61
5.3.2	Camada Porosa de Atrito (CPA).....	62
5.3.3	Stone Mastic Asphalt (SMA).....	63
5.3.4	Gap-Graded (GAP).....	64
5.4	Fresagem de Revestimentos Asfálticos Deteriorados.....	65
5.5	Pinturas de Ligação entre Camadas .....	67
5.6	Dosagem e Controle Tecnológico das Misturas Asfálticas.....	69
6	Agência Reguladora e Concessões Rodoviárias em São Paulo .....	72
6.1	Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo .....	72
6.2	Concessão Rodoviária – Edital e Exigências .....	72
6.3	As Concessionárias CCR e SPVias .....	76

7	O Projeto de Restauração da Rodovia SP-280 no Trecho o Estudo .....	79
7.1	O Projeto de Restauração .....	79
7.2	Estudos preliminares .....	79
7.2.1	Tráfego .....	79
7.3	Metodologia de Projeto .....	92
7.3.1	Diagnóstico do Pavimento .....	92
7.3.2	Cálculos de Dimensionamento Estrutural do Pavimento .....	94
7.4	Soluções Adotadas no Trecho do Estudo .....	97
7.4.1	Materiais e serviços .....	97
7.4.2	Desenhos .....	100
8	A Execução das Obras .....	103
8.1	Empresas Envolvidas – Responsabilidades .....	103
8.2	Materiais e Equipamentos .....	104
8.2.1	Materiais .....	104
8.2.2	Equipamentos .....	109
8.3	Etapas de execução .....	115
8.3.1	Serviços preliminares .....	116
8.3.2	Execução da solução .....	120
8.3.3	Serviços de acabamento .....	129
8.4	Segurança no Trabalho .....	130
8.5	Controle de qualidade .....	133
8.6	Conformidades e não-conformidades normativas .....	144
8.6.1	Método de Dimensionamento de Reforço Estrutural .....	145
8.6.2	Execução da Obra .....	147
9	Análise crítica .....	159
10	Conclusão .....	162
11	Referências Bibliográficas .....	163

## **RESUMO**

O presente trabalho busca compreender e avaliar os conceitos envolvidos no gerenciamento de pavimentos, no que tange aos projetos de manutenção, em especial os de reforço estrutural, com uma abordagem ampla, desde os métodos de avaliação da qualidade dos pavimentos, os métodos de projeto do reforço estrutural, os materiais mais empregados em tal intervenção e o controle de qualidade deles, realizados por meio de ensaios. A complementação do trabalho é realizada com um estudo de caso que conta com intervenções de reforço estrutural numa rodovia do interior de São Paulo, em que se pode acompanhar as etapas de projeto e de execução da obra, envolvendo os aspectos de monitoramento e dimensionamento citados anteriormente. O propósito final é apresentar uma análise crítica acerca da obra, quanto ao que é projetado e ao que é executado, de acordo com as normas estabelecidas.

Palavras-chave: pavimentação, manutenção, reforço estrutural, engenharia civil

## **ABSTRACT**

The present monograph intends to provide the concepts involved in the pavement management, related to the maintenance projects, especially those of structural reinforcement, encompassing the evaluation methods of pavement quality, the project methods of structural reinforcement, the most used materials in such intervention and their quality control, performed by tests.

This monograph is complemented by a structural reinforcement study case, involving this kind of intervention in a road of São Paulo, in which one can follow all the project and execution stages, involving the management and dimensioning aspects of a structural reinforcement previously mentioned. The final purpose is to present a critical analysis about the work, focused on what is designed and what is executed, according to the established norms.

Keywords: paving, maintenance, structural reinforcement, civil engineer

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contextualização da estrutura pedológica de São Paulo.....	22
Figura 2 - Localização da rodovia em estudo.....	24
Figura 3 - Trecho de intervenção na rodovia.....	27
Figura 4 - Ciclo de serviços de manutenção .....	30
Figura 5 - Planilha para cálculo do IGG .....	37
Figura 6 - Desenho esquemático de um sistema tipo resposta.....	42
Figura 7 - Esquema da deflexão recuperável associada à aplicação de carga no pavimento.....	43
Figura 8 - Ilustração dos componentes da Viga Benkelman .....	44
Figura 9 - Pontos de leitura de deformação após aplicação de carga.....	45
Figura 10 - Esquema de medição de deformações com uso de FWD .....	46
Figura 11 - Sistema massa-mola.....	47
Figura 12 - Estrutura de referência.....	58
Figura 13 - Proporção entre componentes de misturas densa, aberta e descontínua .....	61
Figura 14 - Concreto Asfáltico Usinado a Quente .....	62
Figura 15 - Camada Porosa de Atrito.....	63
Figura 16 - Stone Mastic Asphalt .....	64
Figura 17 - Gap-graded.....	65
Figura 18 - Fresadora com tambor de fresagem padrão visto lateralmente.....	66
Figura 19 - Tipos de tambores e serviços resultantes.....	66
Figura 20 - Fresadora e caminhão basculante em funcionamento.....	67
Figura 21 - Equipamento utilizado para aplicar a pintura: barra espargidora .....	69
Figura 22 - Equipamento utilizado para aplicar a pintura: bico de distribuição.....	69
Figura 23 - Rodovias sob concessão da CCR SPVias.....	78
Figura 24 - Seção do pavimento com representação de defeitos atualmente.....	92
Figura 25 - Seção pós fresagem e recomposição em concreto asfáltico com espessura 10,0 cm .....	100
Figura 26 - Seção pós fresagem e recomposição em concreto asfáltico com espessura 5,0 cm .....	101

Figura 27 - Seção pós fresagem e recomposição em concreto asfáltico com espessura 4,0 cm .....	101
Figura 28 - Seção com aplicação de microrrevestimento.....	101
Figura 29 - Seção pós reforço estrutural .....	102
Figura 30 - Estocagem dos agregados na usina móvel .....	105
Figura 31 - Silos da usina móvel .....	106
Figura 32 – Tanques de armazenamento de CAP .....	107
Figura 33 - Tanque de armazenamento da emulsão asfáltica RR-2C.....	108
Figura 34 - Massa asfáltica sendo despejada no caminhão para transporte .....	109
Figura 35 - Equipamento para fresagem.....	109
Figura 36 - Equipamento para acerto de bordas: cortadora mecânica.....	110
Figura 37 - Equipamento para acerto de bordas: britadeira e pá .....	110
Figura 38 - Equipamentos de limpeza: vassoura mecânica .....	111
Figura 39 - Equipamentos de limpeza: Soprador .....	111
Figura 40 - Equipamentos de aplicação de pintura de ligação .....	112
Figura 41 - Equipamento para aplicação da massa asfáltica .....	112
Figura 42 - Equipamento para compactação: Rolo pneumático.....	113
Figura 43 - Equipamentos para compactação: rolo chapa .....	113
Figura 44 - Equipamento para compactação: Rolo chapa .....	114
Figura 45 - Caminhão basculante .....	114
Figura 46 - Caminhão tanque: RR-2C.....	115
Figura 47 - Caminhão tanque: água.....	115
Figura 48 - Serviço preliminar: isolamento da pista.....	116
Figura 49 - Serviços preliminares: Determinação de trechos pelo fiscal da CCR ...	117
Figura 50 - Exemplo de deformação que resulta em uma NP.....	117
Figura 51 - Exemplo de deformação que resulta em uma NP.....	118
Figura 52 - Exemplo de determinação de NP.....	118
Figura 53 - Registro de ordem de serviço: em campo.....	119
Figura 54 - Unifilar das soluções para trechos de 5km .....	119
Figura 55 - Detalhe do tambor da fresadora .....	120
Figura 56 - Fresagem de trecho, com largura superior a oferecida pela fresadeira (2 passadas).....	121
Figura 57 - Controle da espessura fresada com uso de barbante e trena .....	121

Figura 58 - Fresadeira durante serviço e caminhão basculante para coletar material fresado .....	122
Figura 59 - Pavimento fresado em 5 cm .....	122
Figura 60: Corte das bordas transversais .....	123
Figura 61 - Retirada do excesso cortado .....	123
Figura 62 - Limpeza: vassoura mecânica.....	124
Figura 63 - Limpeza: Soprador.....	124
Figura 64 - Caminhão tanque com barra espargidora.....	125
Figura 65 - Pintura realizada com caneta espargidora.....	125
Figura 66 - Pintura de ligação não rompida (tonalidade marrom) .....	125
Figura 67 - Pintura de ligação após rompimento (tonalidade preta brilhante) .....	126
Figura 68 - Carregamento da vibro acabadora pelo caminhão basculante vindo da usina.....	127
Figura 69 - Material sendo depositado no trecho .....	127
Figura 70 - Assentamento do material no perímetro .....	128
Figura 71 - Queima da emenda transversal .....	128
Figura 72 - Compactação: compactador de rolo liso .....	129
Figura 73 - Compactação: compactador de pneus.....	129
Figura 74 - Trabalhador usando protetor auricular .....	131
Figura 75 - Uso de vestimenta adequada .....	131
Figura 76 - Proximidade dos veículos em tráfego com alta velocidade.....	132
Figura 77 - Trabalhador usando máscara .....	132
Figura 78 - Trabalhador usando proteções .....	133
Figura 79 - Material sendo trabalhado.....	134
Figura 80 - Material a ser utilizado .....	134
Figura 81 - Colocação do material no forno .....	134
Figura 82 - Preparação do ensaio .....	134
Figura 83 - Resultado do ensaio da análise granulométrica (forno e passagem pela peneira do material não evaporado).....	135
Figura 84 - Preparação para Ricetest .....	136
Figura 85 - Material na mesa vibratória orbital .....	136
Figura 86 - Verificação do nivelamento do pavimento.....	137
Figura 87 - Verificação de atrito: Nivelamento do equipamento .....	138
Figura 88 - Verificação de atrito: Determinação da altura do pêndulo.....	138

Figura 89 - Verificação de atrito: Umidificação do pavimento.....	139
Figura 90 - Verificação de atrito: Obtenção do resultado .....	139
Figura 91 - Depósito da areia com volume padronizado .....	140
Figura 92 - Espalhamento da areia .....	140
Figura 93 - Medidas dos diâmetros .....	141
Figura 94 - Extração do corpo de prova .....	142
Figura 95 - Retirada do corpo já solto .....	142
Figura 96 - Defeito criado no pavimento .....	143
Figura 97 - Secagem do buraco com um pano .....	143
Figura 98 - Preenchimento com massa fria.....	143
Figura 99 - Compactação manual .....	144
Figura 100 - Equipamentos especificados em norma .....	149
Figura 101 - Superfície não uniforme após fresagem a frio .....	149
Figura 102 - Medição de profundidade de fresagem e recomposição.....	150
Figura 103 - Aplicação de imprimação betuminosa ligante .....	151
Figura 104 – Marcas de pneus sobre a pintura de ligação, mostrando a retirada da camada ligante .....	152
Figura 105 - Pintura de ligação acumulada nas bordas no momento de aplicação de CAUQ.....	152
Figura 106 - Limites de carga do caminhão vasculante para transporte de concreto asfáltico .....	154
Figura 107 - Espalhamento do material asfáltico .....	156
Figura 108 - Coleta de amostra para verificação de Grau de Compactação.....	157

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de serviços de manutenção pelo Banco Mundial .....	29
Quadro 2 - Técnicas de Manutenção .....	32
Quadro 3 - Terminologia dos defeitos .....	38
Quadro 4 - Fatores de ponderação .....	39
Quadro 5 - Conceitos do Índice de Gravidade Global IGG por faixa de valores .....	41
Quadro 6 - Correlações entre DPI e CBR .....	49
Quadro 7 - Métodos de dimensionamento de reforço estrutural usados no Brasil ....	50
Quadro 8 - Fatores de correção sazonal .....	53
Quadro 9 - Coeficiente estrutural para componentes de reforço do pavimento .....	54
Quadro 10 - Energia de compactação por camada do pavimento .....	56
Quadro 11 - Classificação dos solos .....	57
Quadro 12 - Valores de I1 e I2 .....	58
Quadro 13 - Fatores de Equivalência de Carga da AASHTO.....	81
Quadro 14 - Fatores de Equivalência de Carga da USACE .....	82
Quadro 15 - Fatores de redução da deflexão admissível .....	95
Quadro 16 - Correlação entre raio de curvatura, bacia de deflexão e classificação..	97
Quadro 17 - Resumo das obras previstas e seu atendimento à vida remanescente	99
Quadro 18 - Tipo de material e especificações a seguir .....	104
Quadro 19 - Tipo de serviço e especificações a seguir .....	104
Quadro 20 - Riscos das atividades.....	130
Quadro 21 - Critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto.....	147

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de z em função de n.....	52
Tabela 2 – Cálculo do número N, referente ao trecho do quilômetro 183 ao 210 .....	83
Tabela 3 - Poços de Inspeção – Intervenções Anteriores – Pista Leste .....	85
Tabela 4 – Poços de Inspeção – 4ª Intervenção – Pista Leste .....	85
Tabela 5 - Sondagens rotativas - 4ª interferência - Pista Leste.....	86
Tabela 6 - Ensaios - 4ª Intervenção – Pista Leste.....	86
Tabela 7 - Ensaios - 4ª Intervenção - Pista Leste .....	87
Tabela 8 - Parâmetros Funcionais e Estruturais do Pavimento - 4ª Intervenção – Pista Leste Faixa 2.....	89
Tabela 9 - Síntese dos índices de monitoramento .....	91
Tabela 10– Parâmetro n em função da espessura do revestimento .....	95
Tabela 11 - Dimensionamento DNER-PRO 011/79 - Pista Leste - Faixa 2.....	97

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Qualidade de serviço e tempo de serviço.....	30
Gráfico 2 - Retográfico de parâmetros estruturais e funcionais do pavimento .....	90

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEDA	Associação Brasileira de Empresas Distribuidoras de Asfalto
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARTESP	Agência Reguladora de Serviços de Transporte do Estado de São Paulo
CA	Concreto Asfáltico Denso
CBQU	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CGRA	<i>Canadian Good Roads Association</i>
CNT	Conferência Nacional do Transporte
CNTT	Conferência Nacional de Transportes Terrestres
CPA	Camada Porosa de Atrito
CRT	Concessionária Rio - Teresópolis
DCP	<i>Dynamic Cone Penetrometer</i>
DER	Departamento de Estradas de Rodagens
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S.A.
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EAP	Emulsão Asfáltica
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
GAP	<i>Gap Graded</i>
IGG	Índice de Gravidade Global
IRI	<i>International Roughness Index</i>
LVD	Levantamento Visual Detalhado
PMF	Pré-misturado a Frio
QI	Quociente de Irregularidade
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
SNV	Sistema Nacional de Viação
VSA	Valor de Serventia Atual

## 1 INTRODUÇÃO

A pavimentação rodoviária apresenta-se intimamente ligada à história da humanidade. Além do transporte terrestre ser o mais antigo do mundo, a abertura de estradas, ainda que rústicas, influenciaram a vida das pessoas em diversos aspectos ao longo do tempo, como: na facilitação de povoamento e conquistas territoriais, pois permitia um melhor deslocamento entre regiões; na implantação de sistemas de comunicação terrestre, dado que em muitas delas se localizavam postos de correio; na expansão comercial, usadas para escoamento de produtos e até mesmo fins religiosos, uma vez que ao longo delas ocorriam peregrinações.

A história brasileira também é marcada pela construção de estradas, desde a época colonial com a chamada “Estrada do Mar” em 1661 e a “Calçada de Lorena” em 1792, que ligava São Paulo à Baixada Santista, passando pelo Império, em que destaca-se a “Estrada União e Indústria”, inaugurada em 1861, para conectar Petrópolis a Juiz de Fora (PREGO, 2001) e chegando à República, época em que se obteve um grande avanço nas tecnologias de construção de estradas, com a criação do Ministério de Viação e Obras Públicas em 1906, com o I Congresso Nacional de Estradas de Rodagem, no Rio de Janeiro, em 1916 e com a introdução de automóveis a partir da instalação da *Ford Motor Company* no Brasil em 1919. Até que em 1928, o então presidente brasileiro Washington Luiz afirma o interesse federal por estradas de rodagem, proclamando a célebre frase “Governar é abrir estradas” e inaugurando importantes estradas como a Rio-São Paulo, atual Presidente Dutra, e a Rio-Petrópolis. A partir daí, o rodoviarismo foi amplamente incentivado pelos governantes que se seguiram, como Juscelino Kubitschek, que implantou a indústria automobilística brasileira e aumentou a área pavimentada no país, e como no regime militar, em que se destacam os projetos da Rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói (BERNUCCI et al. 2010).

Atualmente, o transporte rodoviário é o principal sistema logístico do Brasil, por onde ocorrem cerca de 60% de todo o transporte de cargas e 90% da movimentação de pessoas do país. A malha rodoviária brasileira é composta por 1.720.756 de

quilômetros, dos quais apenas 211.468 são pavimentados, correspondendo a 12% do total, segundo o Sistema Nacional de Viação (SNV).

Os pavimentos rodoviários são dimensionados com intuito de responder às ações do tráfego e clima para um determinado período de vida, de forma que, durante a sua utilização, assegurem uma superfície de rolamento que permita a circulação de veículos, em condições de segurança e de comodidade. No entanto, sob ação, principalmente, dos esforços do tráfego e das condições do ambiente, os pavimentos começam a degradar-se ao longo do tempo, em particular os materiais betuminosos, contribuindo para o aparecimento de patologias e para a diminuição de sua qualidade funcional e estrutural. Necessitam-se então de intervenções de conservação e reabilitação, as quais devem ser minimizadas para reduzir ao máximo possível os custos inerentes aos utentes e à administração (PEREIRA et al. 2007). Para alcançar estes pressupostos é necessário preservar através da aplicação de planos racionais de manutenção, reabilitação e/ou requalificação das vias. Os objetivos gerais destas intervenções passam pela manutenção ou melhoria das condições de segurança para os usuários, pela diminuição de custos de utilização, pelo aumento do tempo de vida útil das estruturas e pela adequação de vias com capacidade dadas as condições de utilização.

Como regra geral, a manutenção de rodovias é uma das atribuições de todas as esferas governamentais (federal, estadual e municipal). As rodovias interestaduais ou federais (de siglas BR) são mantidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), órgão do governo brasileiro. As rodovias intra-estaduais (de siglas SP, RJ, MG, etc.) são mantidas pelos governos dos respectivos estados. Também há rodovias municipais, por exemplo as rodovias vicinais, cuja manutenção cabe ao município.

Governos têm optado em transferir para a iniciativa privada a administração e conservação das principais rodovias do país, como ocorreu em São Paulo, pois ao mesmo tempo em que desonera os orçamentos públicos, as concessões rodoviárias permitem um bom nível de serviço.

O presente trabalho é focado na área de manutenção e reabilitação de um pavimento rodoviário e o escopo principal é o entendimento e a análise dos aspectos que envolvem um projeto de reforços estruturais, bem como sua execução em um estudo de caso na Rodovia SP-280 concessionada, sob administração do Grupo CCR.

## **2 OBJETIVO**

A presente monografia tem por objetivo a delimitação de todo o processo de reforço de pavimentos flexíveis através de um estudo de caso acompanhado em campo. Este trabalho envolve o estudo do projeto, desde a análise estrutural do pavimento debilitado até o cálculo do reforço em si, o acompanhamento presencial da execução de tal processo e a comparação com as metodologias e normas disponíveis sobre o assunto, no que tange tanto aos ensaios técnicos de qualidade de materiais quanto à verificação da qualidade na execução da obra.

Desta forma, o propósito deste trabalho é realizar uma análise crítica da obra em estudo, com embasamento no estudo técnico apresentado, que permite o confronto do que é recomendado a ser feito por norma com o processo real executado no estudo de caso.

### **3 JUSTIFICATIVA E MÉTODO**

As motivações que levaram à escolha do presente tema envolvem as necessidades de aquisição de uma visão prática da resolução de um problema de engenharia de pavimentação, mais especificamente o reforço estrutural como uma das técnicas de manutenção de rodovias, o qual envolve interdisciplinaridade entre as diversas áreas da engenharia civil e o correlacionamento entre a teoria fortemente presente no curso de pavimentação com as práticas em campo.

A presente monografia é realizada através da determinação dos critérios de decisão para intervenções de manutenção, dos parâmetros de projeto, da dosagem da mistura asfáltica a ser aplicada e do acompanhamento da obra e do controle de qualidade realizado visando, por fim, a elaboração de uma análise crítica a respeito da forma como o processo é realizado.

## 4 CONTEXTUALIZAÇÃO

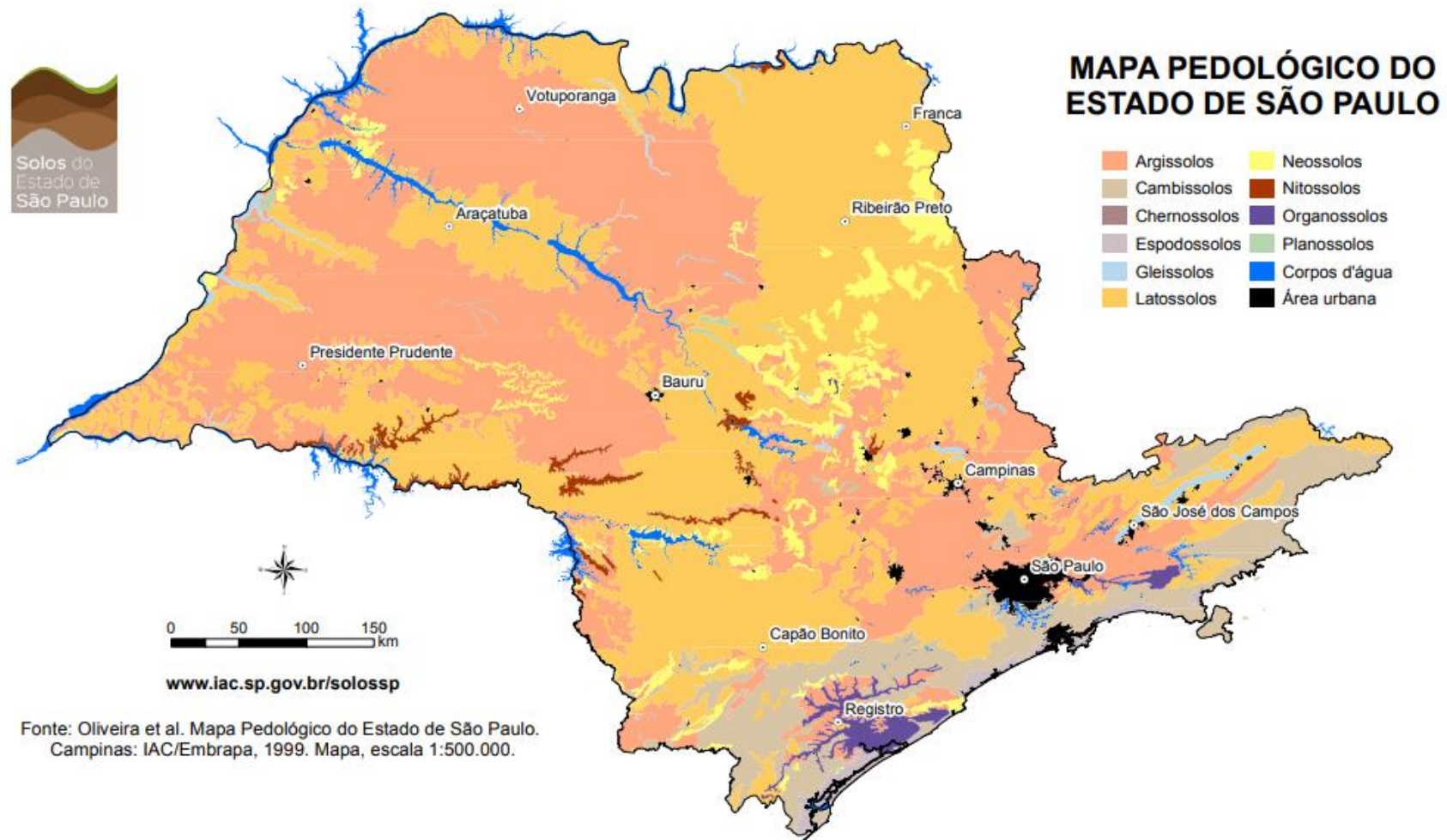
O foco de estudo deste trabalho é uma obra de reforço estrutural do pavimento (recapeamento) na Rodovia Presidente Castello Branco, também denominada SP-280 e BR-374. O trecho da rodovia sob concessão da CCR SPVias está localizado entre Tatuí e Espírito do Santo do Turvo, com 185,434 km de extensão. A seguir será apresentada a contextualização de forma mais específica.

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA REGIÃO

A rodovia SP-280 conecta a região Oeste do estado de São Paulo com o centro da cidade de São Paulo, regiões de extrema importância econômica. O PIB do Oeste Paulista girava em torno de R\$ 40.090.504.884,00, segundo dados do IBGE em 2008 e a economia da região é impulsionada pela agropecuária, com destaque à criação de bovinos, sendo uma das principais criadoras de gado bovino do país. Os produtos gerados são majoritariamente escoados pelas rodovias, principal meio de transporte da região, e o traçado das rodovias coincide com antigo traçado das ferrovias, longitudinais e paralelas entre si.

A obra acompanhada está sendo realizada no município de Itatinga, região que tem altitudes em torno de 845 metros. Segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (Embrapa/IAC), mostrado na figura 1, os solos da região são constituídos em sua maior parte de Latossolos e Argissolos. Há predomínio de Latossolos na região, que apresentam alta resistência a erosão. Já os Argissolos, que se estendem por uma faixa estreita desde a Rodovia Castelo Branco até o encontro do Rio Sorocaba com o Rio Sarapuí, têm moderada resistência à erosão. Os solos são profundos ou muito profundos, com boa permeabilidade, textura argilosa ou muito argilosa e, apesar de resistentes à erosão, devem receber certos cuidados, pois podem ter problemas de compactação sub-superficial, espelhamento e encrostamento na superfície (DRUGOWICH, 2011). A estrutura pedológica pode ser vista na figura 1.

Figura 1 - Contextualização da estrutura pedológica de São Paulo



Fonte: OLIVEIRA et al, 1999

Sabendo-se que o clima tem efeitos importantes sobre os pavimentos, é necessário avaliar este parâmetro na região. As condições climáticas podem causar alterações momentâneas na resposta estrutural dos pavimentos e, principalmente, modificações de características dos materiais. Os principais aspectos climáticos nocivos aos pavimentos são: radiação solar, precipitação e congelamento (BALBO, 2011).

Segundo MONTEIRO (1973), a região tem clima caracterizado como Subtropical de Altitude, controlado pelas Massas de ar Polar e Tropical marítima, esta última predominante. A temperatura média do mês mais quente está acima de 22°C e do mês mais frio está abaixo de 18°C, caracterizando verões quentes e úmidos e invernos amenos ou frios e secos. Segundo o INMET, em Avaré, no período de 1961 a 1990, a média das temperaturas máximas do mês mais quente chegou a cerca de 29°C e a média das temperaturas mínimas do mês mais frio, a 12°C. No mês mais quente, a mínima e a máxima podem variar de 19°C a 30°C, e no mês mais frio, de 12°C a 23°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm. No período mais chuvoso (dezembro e janeiro), a precipitação é superior a 160 mm, e no período de estiagem (julho e agosto), a precipitação é inferior a 47 mm (MONTEIRO, 1973).

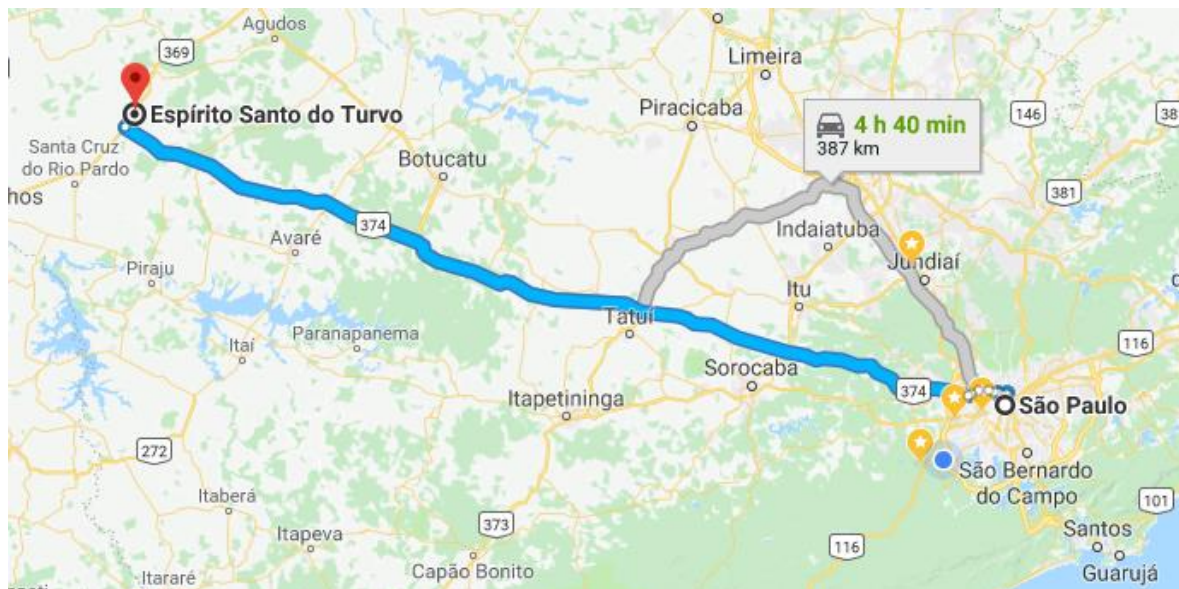
Quanto à vegetação, havia o predomínio original da Mata Tropical, com características densas. A partir do início do século XX, com a “marcha do café”, praticamente todo o Estado passou a ser desmatado. Na década de 30, foi o cultivo do algodão que motivou a ocupação da região. Atualmente há o predomínio do uso agrícola e pastoril, sendo raros os exemplares de mata ciliar e de manchas de vegetação original, o que favorece muitos processos erosivos e de assoreamento.

#### 4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA RODOVIA

A SP-280 é uma das mais importantes ligações entre a Região Metropolitana de São Paulo e o Centro-Oeste Paulista, apresentada na figura 2. Seu primeiro nome foi “Auto Estrada do Oeste” e ficou popularmente conhecida como “Rodovia do Oeste”. Ela se inicia no Complexo Viário Heróis de 1932 (o “Cebolão”), no acesso às vias marginais

Tietê e Pinheiros, em São Paulo, e termina no entroncamento com a SP-225, entre Espírito Santo do Turvo e Santa Cruz do Rio Pardo, tendo 315 km de extensão.

Figura 2 - Localização da rodovia em estudo



Fonte: GoogleMaps

Sua construção foi iniciada em 1963, sob a gestão do governador Adhemar Pereira de Barros, e o primeiro trecho foi inaugurado no dia 10 de novembro de 1968, entre São Paulo e Torre de Pedra, pelo governador Roberto de Abreu Sodré. Em 1998, com a concessão, a rodovia passou a ser administrada pelas concessionárias Viaoeste, Rodovias das Colinas e SPVias.

A rodovia tem tráfego intenso no trecho entre a divisa de São Paulo com Osasco e Barueri, mas há certo alívio devido às marginais, construídas em 2001. Também ocorre tráfego intenso entre as regiões metropolitanas de São Paulo e Sorocaba. A via é a principal artéria do Oeste Paulista e dá acesso à Rodovia Marechal Rondon, que finaliza a ligação até o Centro-Oeste.

Sua característica é de traçado reto durante longos trechos e também não atravessa área urbana após Barueri, no sentido do interior. O volume de veículos na rodovia em 2011 era de cerca de 290 mil por dia. Entre São Paulo e Alphaville, em Barueri, a rodovia apresenta quatro faixas de rolamento em cada sentido, com marginais também com quatro faixas, formando oito por sentido. No trecho entre o acesso a

Alphaville e o entroncamento com a SP-75, há três faixas de rolamento em cada sentido. Por fim, entre o entroncamento com a SP-75 e o fim da rodovia, em Santa Cruz do Rio Pardo, são duas faixas de rolamento em cada sentido.

#### 4.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA OBRA

A obra de recapeamento será executada na Pista Principal - 4ª Intervenção da Rodovia SP-280 (Rodovia Castelo Branco), trecho entre o km 129+600 ao km 315+030 (Tatuí - Santa Cruz do Rio Pardo), Pistas Leste e Oeste, totalizando extensão de 185,430 km, conforme a figura 3. As obras deverão ser executadas em duas etapas, sendo a primeira no ano de 2018 e a segunda em 2019.

O trecho atualmente em obras está localizado entre os quilômetros 172+000 e 266+000, após o pedágio da cidade de Quadra e antes do pedágio de Iaras, sentido Leste-Oeste. Trata-se de uma última intervenção de conservação especial de pavimento, devendo contemplar o recobrimento integral da plataforma, inclusive acostamento.

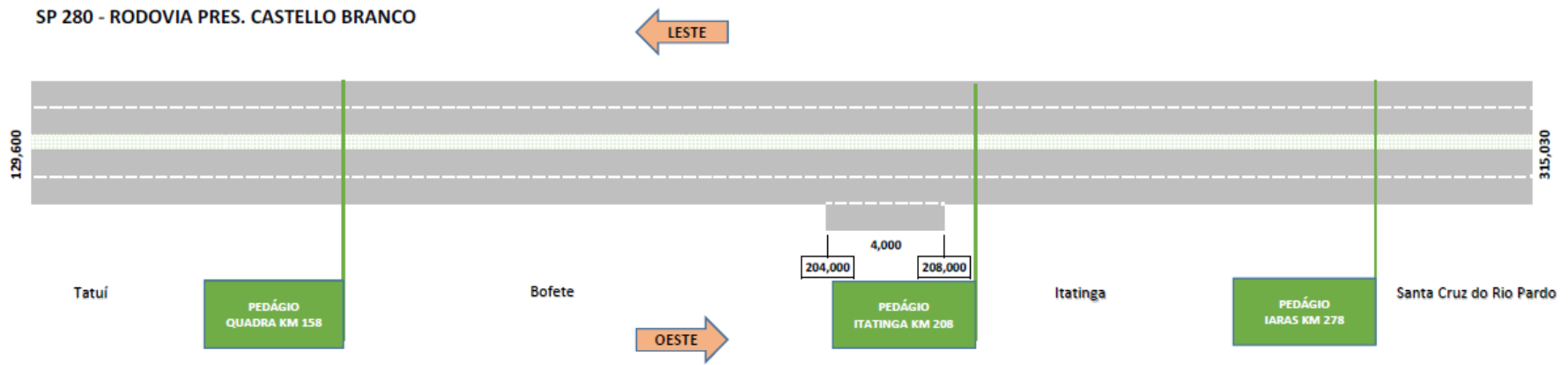
A metodologia usada baseou-se na previsão do surgimento e evolução de defeitos na faixa de tráfego mais solicitada ao longo do período de projeto. Para isso, foi utilizada a ferramenta HDM – 4 (*Highway Development and Management*) desenvolvida pelo Banco Mundial. Foram avaliados o trincamento e a irregularidade longitudinal, parâmetros de desempenho previstos contratualmente, que têm relação direta com o comportamento estrutural e funcional respectivamente. Há também um histórico de levantamentos anuais que permitiram calibração adequada dos modelos de previsão.

O Manual de Pavimentação do DNIT (IPR 719 DNIT, 2006), que tem como base o método de dimensionamento do DNER (1966), foi usado para o dimensionamento das estruturas do pavimento. A estrutura foi verificada com base nos conceitos da Mecânica dos Pavimentos e da Teoria de Sistemas de Camadas Elásticas (TSCE), com análise das tensões e deformações atuantes nas interfaces das camadas da estrutura sob a ação das cargas do tráfego, e também previsão de deslocamentos.

Para o dimensionamento do reforço, a empresa responsável fez uso do procedimento de cálculo PRO11/79 - Método B (SPVIAS - Projeto Executivo de Conservação

Especial do Pavimento - 4ª Intervenção (Item 05.01.06.04) Volume 1 – Memória de Cálculo).

Figura 3 - Trecho de intervenção na rodovia



Engelog – Projeto Executivo de Conservação Especial de Pavimento – 4ª intervenção

## 5 REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA

### 5.1 PRINCÍPIOS DE MANUTENÇÃO, CICLO DE VIDA E AVALIAÇÃO DE CUSTOS

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), a manutenção de rodovia compreende um processo sistemático a que, de forma contínua, deve ser submetida uma rodovia, no sentido de que esta, de conformidade com suas funções e magnitude de tráfego, venha a oferecer ao usuário um tráfego econômico, confortável e seguro, em consonância com competentes preceitos de otimização técnico-econômica do “Custo Total de Transporte”.

A manutenção basicamente é dividida entre as corretivas e as preventivas. A primeira se dá quando existe um defeito na via que deve ser consertado, enquanto a segunda se dá de modo a minimizar os efeitos de uma patologia. Ela compreende quatro grupos básicos de intervenções:

- Conservação rodoviária - abrange as operações de rotina, periódicas e de emergência cujo objetivo é o de preservar as características técnicas e físico-operacionais do sistema rodoviário e das instalações físicas, dentro de padrões de serviço pré-estabelecidos;
- Melhoramentos dos sistemas de proteção da infraestrutura - conjunto de operações que acrescenta características novas à rodovia ou modifica as existentes levando a adequação da capacidade e segurança de tráfego da rodovia;
- Recuperação dos pavimentos através da restauração - aplicada a pavimentos que apresentam desempenho compatível com os modelos de previsão e se encontram próximos de alcançar o estágio final do seu ciclo de vida;
- Recuperação do pavimento através da reabilitação - aplicado a pavimentos em que se aferiram parâmetros temporais e/ou índices de desempenho que comprovam que ele já ultrapassou o estágio final do ciclo de vida, com anomalias de tendências irreversíveis no que diz respeito tanto ao desempenho funcional quanto estrutural (DNIT, 2006).

Existe, no entanto, uma classificação definida pelo Banco Mundial para diferenciar os serviços de manutenção relativos ao pavimento, e são apresentados no quadro 1 a seguir:

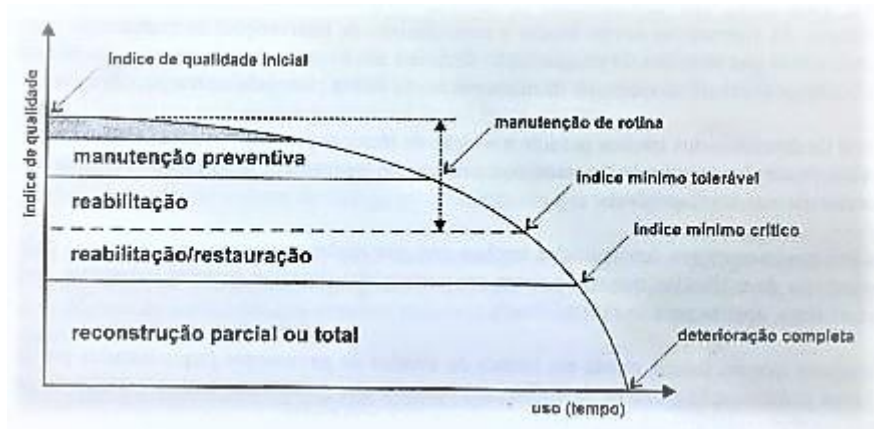
Quadro 1 - Classificação de serviços de manutenção pelo Banco Mundial

<b>Tipo de Intervenção</b>	<b>Definição</b>
Manutenção de Rotina	Reparos localizados em pavimentos: limpeza, remoção de detritos, terra ou neve
Manutenção periódica	Atividades relacionadas ao melhoramento de condições superficiais com vistas à preservação da integridade estrutural e da qualidade de rolamento (com uso de reforços esbeltos em concreto asfáltico, tratamento superficial, lama asfáltica ou ainda banhos selantes)
Reabilitação	Reparos seletivos, reforços estruturais ou aplicação de camadas de regularização com a finalidade de restaurar a capacidade estrutural do pavimento ou qualidade de rolamento
Reconstrução	Renovação da estrutura de pavimento com a remoção da estrutura danificada como resultado da negligência prolongada que resulta na impossibilidade de reabilitar o pavimento
Restauração	Quando para um mesmo projeto, serviços de reabilitação e de reconstrução são contemplados simultaneamente
Melhoramento	Quando além de atividades relacionadas às anteriores são presentes, o projeto contempla também serviços de duplicação, melhorias no traçado, ampliação, etc, exigindo a construção de novos pavimentos

Fonte: BALBO, 1997

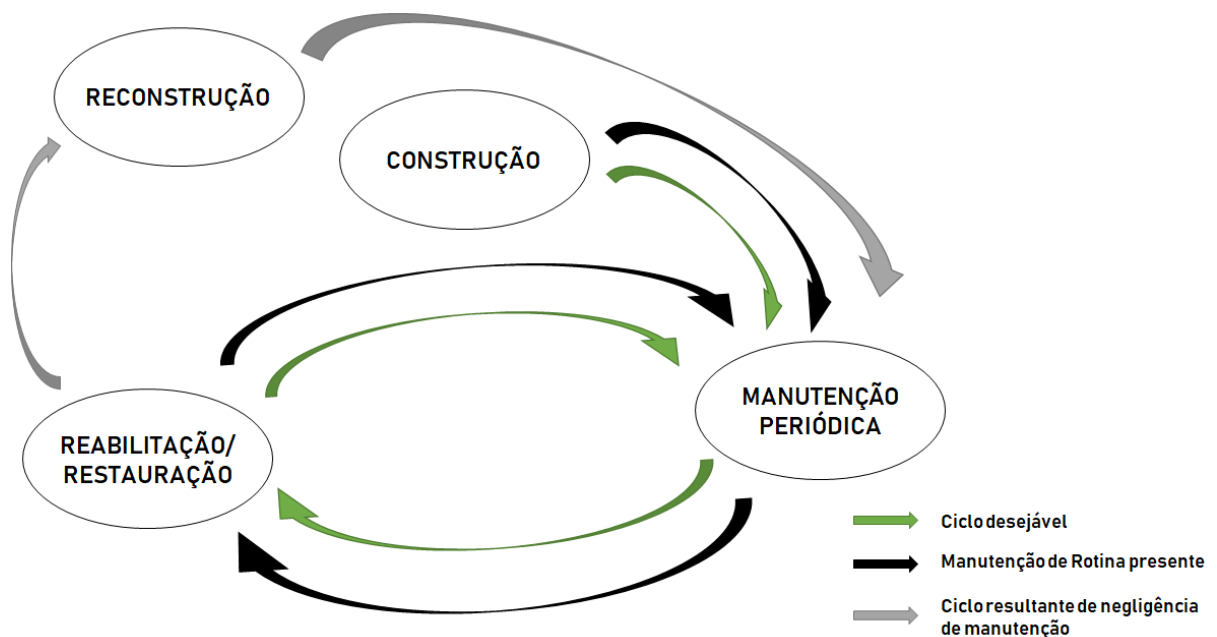
Esses conceitos definidos pelo Banco Mundial são fundamentais, pois há um ciclo de manutenção na pavimentação associado ao tempo de vida de serviço e à necessidade da realização de serviços corretivos. Há um ciclo desejável (Figura 4) a ser seguido que evitaria necessidade de realizar restaurações e reconstruções, obras que demandam maior tempo e recursos. Se nenhum tipo de manutenção é aplicado em um trecho com patologias, a severidade dos defeitos aumenta significativamente em pouco tempo, somando-se seus efeitos e levando a intervenções mais complexas, como é possível ver no Gráfico 1. Se houvesse um plano de manutenções preventivas, poder-se-ia evitar essas reconstruções. Infelizmente, é usual que se falte recursos ou mesmo que haja negligência quanto à demanda por manutenção.

Gráfico 1 - Qualidade de serviço e tempo de serviço



Fonte: BALBO, 1997

Figura 4 - Ciclo de serviços de manutenção



Fonte: BALBO, 1997

O Banco Mundial apresenta também três níveis genéricos sobre as condições dos pavimentos em uma via:

- (1) Bom - quando a manutenção de rotina é aplicável, uma vez que não são observados defeitos significativos;
- (2) Regular - quando a manutenção periódica (tratamentos de superfície) ou o reforço estrutural (reabilitação) são requeridos;

(3) Ruim - quando é necessário realizar reabilitação ou reconstrução imediata, devido aos defeitos se apresentarem extensivamente ao longo da via.

Para estudar a manutenção de pavimentos, de acordo com Balbo (1997), o seguinte modelo pode ser seguido:

1. Realização da monitoração e do diagnóstico das malhas pavimentadas para que seja possível a definição e a aplicação de políticas e estratégias técnicas de manutenção coerentes com as necessidades presentes e futuras;
2. Necessidade de elaboração de estudos e levantamentos detalhados, que resultem em projeto de engenharia de manutenção suficientemente detalhado para a perfeita definição das necessidades individuais de cada via de um sistema viário;
3. Inclusão do conceito de manutenção preventiva como necessidade indissociável de um processo ordenado e racional de manutenção de pavimentos;
4. Consideração de que serviços de controle tecnológico são parte fundamental do sucesso de qualquer obra relacionada à manutenção de pavimentos, por mais simples que seja; as relações entre projetista, executante, gerenciador, fiscal e agência viária necessitam ser coerentemente trabalhadas a bem da qualidade de um serviço público de interesse fundamental para os cidadãos;
5. Busca de materiais e tecnologias alternativas para a manutenção viária, coisa que cada agência viária, dentro de suas realidades e limitações, pode e deve atingir através de pesquisas laboratoriais e de campo.

### **5.1.1 Tipos de manutenção**

Existem diversos materiais e técnicas que são empregados no serviço de manutenção, cada uma tem uma denominação específica e, também, uma fase específica do ciclo de vida do pavimento em que essa intervenção se faz necessária. Através de monitoramento da via, é possível identificar o estágio de degradação e então selecionar a técnica e materiais corretos para conservação do pavimento. No quadro 2 abaixo destacam-se algumas técnicas de manutenção, juntamente com a suas aplicações e suas restrições:

Quadro 2 - Técnicas de Manutenção

Serviço	Aplicações	Restrições
Reforço	Quando a estrutura de pavimento apresenta condições estruturais inferiores às necessidades para uma dada condição de tráfego, condições funcionais podem demandar o serviço.	Alteamento de greide em vias urbanas causa conflitos em cruzamentos, com meios-fios, com gabaritos de altura sobre viadutos, passarelas e sinalização suspensa. Degraus para o acostamento.
Fresagem	Revestimentos densamente trincados (eventualmente classe 2 e certamente classe 3); presença de deformações plásticas com elevações no revestimento.	A fresagem deve evitar atingir a base do pavimento para evitar sua descompactação. Cuidados especiais devem ser tomados com poço de visita demais dispositivos de drenagem.
Reciclagem	Desde que o asfalto envelhecido possa ser recuperado convenientemente e a mistura atenda às exigências do tráfego local. Trata-se de uma alternativa potencialmente com grandes benefícios.	Tem esbarrado da questão de custos relacionados ao transporte do material fresado e à recuperação do asfalto. Geralmente asfaltos demasiadamente oxidados impedem a aplicação do serviço.
Selagem de Trincas	Na presença de trincas longitudinais e transversais que ocorram isoladamente, ou ainda quando há trincas de blocos em grandes dimensões.	Não se aplicam facilmente ao caso de trincas interligadas de classe 2 e teriam eficiência duvidosa ao caso de superfícies com trincas de classe 3.
Banho selante	Na presença de trincas interligadas de classe 2 e/ou necessidade de devolução de condição de aderência entre pneu e pavimento mais satisfatória.	Teria eficiência duvidosa no caso de trincas de classe 3 como selante superficial. Seu tempo de serviço será variável em função do tráfego.
Lama asfáltica	Quando desgaste ou trincas de classe 2 estão presentes na superfície. No caso de polimento é também aplicável.	Não se aplica ao caso de trincas de classe 3. Seu tempo de serviço será variável em função do tráfego.

Fonte: BALBO, 1997

Neste trabalho, são tratados os reforços, também conhecidos como recapeamentos. Os reforços são constituídos por uma camada de rolamento aplicada sobre a superfície de um pavimento, configurando ação de manutenção relacionada a questões estruturais ou ainda funcionais, devendo-se tratar de intervenção duradoura e não paliativa (BALBO, 1997).

Quando se fala em reabilitação estrutural dos pavimentos, refere-se ao termo reforço do pavimento significando o conjunto de ações capaz de aumentar a capacidade estrutural do pavimento degradado existente, para suportar, em conjunto com a

fundação mobilizável, as ações geradas pelos veículos em determinadas condições de aplicação. Com vista ao aumento da capacidade de carga dos pavimentos, na reabilitação destes, é muito frequente a aplicação de reforço de uma ou mais camadas betuminosas. Outra atuação, não menos frequente, é a fresagem de uma ou de mais camadas do pavimento existente e sua substituição por uma ou mais camadas betuminosas (reforço). Ou seja, o reforço de pavimento, por si só, engloba outros serviços para que ele seja, de fato, eficiente.

O objetivo é evitar o desenvolvimento das degradações existentes na ou nas camadas do pavimento, de forma a adequar o pavimento às exigências do tráfego futuro, pelo seu melhoramento tanto a nível funcional, quanto a nível estrutural, principalmente.

## 5.2 FUNDAÇÃO CONCEITUAL DE PROJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

O processo de desenvolvimento de um projeto de reforço asfáltico inicia-se com caracterização do estado atual da pista, obtido através do monitoramento dela com levantamento de índices que refletirão sua qualidade funcional e estrutural. Quando esses índices atingem níveis insatisfatórios, os quais levam desconforto e/ou insegurança aos usuários da pista, opta-se pela intervenção nela, por meio de reforços estruturais ou reparos profundos. Especificamente, para projetos de reforços estruturais, que são o escopo desse trabalho, é usual a aplicação de dois métodos de cálculo para especificação da solução a ser execução, nomeadamente DNER-PRO-11/79-B e DNER-PRO-269/94. A seguir, encontra-se um melhor detalhamento dos levantamentos necessários e dos métodos de projeto.

### 5.2.1 Métodos de avaliação de qualidade de pavimentos

Os pavimentos são estruturas que geralmente não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural que se inicia a partir da abertura ao tráfego (BERNUCCI et al. 2010). Estes devem obedecer a determinadas características, funcionais e estruturais, de forma a cumprirem adequadamente a sua função de proporcionar segurança e conforto aos usuários.

Para uma completa avaliação da qualidade dos pavimentos, devem-se adotar diversos parâmetros de análise, os quais permitam inferir conclusões tanto para uma

avaliação funcional, diretamente ligada ao conforto do usuário, quanto para uma avaliação estrutural, diretamente ligada à segurança do usuário. Os parâmetros mais indicados são: qualidade estrutural, qualidade funcional a nível da camada de desgaste, atrito transversal, ruído exterior e interior, visibilidade, resistência ao movimento, poluição atmosférica e vibrações. Na prática adotam-se, tanto para pavimentos novos quanto para reabilitação de pavimentos, os seguintes parâmetros: estado superficial, capacidade estrutural, regularidade longitudinal e transversal e atrito transversal. O estado superficial e a capacidade estrutural são os que melhor avaliam a qualidade dos pavimentos num determinado instante do tempo.

A avaliação funcional procura analisar a qualidade dos pavimentos do ponto de vista do conforto do usuário, o que é diretamente relacionado com o estado da superfície do pavimento. As irregularidades e defeitos ali presentes afetam não apenas o conforto, mas também geram custos adicionais de operação e manutenção dos veículos. Portanto, atender ao conforto do rolamento também significa economia nos custos de transporte (BERNUCCI et al. 2010). Para tanto, existem maneiras de aferir as condições de rolamento de uma pista, como o Valor de Serventia Atual (VSA), que consiste num valor atribuído ao pavimento que varia de 0 a 5, resultado da nota de avaliadores para o conforto ao rolamento; o Índice de Irregularidade Internacional (*IRI – International Roughness Index*), o qual é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, é um índice estatístico medido em m/km; o Quociente de Irregularidade (QI) diz respeito à quantidade de irregularidades presente a cada quilômetro medido em contagens/km. E, por fim, o Índice de Gravidade Global (IGG), consistido num levantamento da condição de superfície, considerando os defeitos apresentados e suas causas, atrelando-se a eles indicadores numéricos de frequência e fatores de ponderação, a ser explicado posteriormente.

A avaliação estrutural abrange a caracterização de elementos e variáveis estruturais dos pavimentos que possibilite uma descrição objetiva de seu comportamento frente a cargas ambientais e de tráfego de modo que se possa projetar um desempenho diante de futuras demandas de tráfego. Assim, caracterizar a estrutura do pavimento implica a determinação dos materiais e espessuras que constituem cada camada do

pavimento, incluindo solos de subleitos, bem como a verificação das condições de integridade do pavimento e análise por meio de parâmetros estruturais como medidas de deformações (BALBO, 2011).

A caracterização do pavimento pode ser feita através de métodos destrutivos, como abertura de cavas à pá e picareta, abertura de furos mecanicamente, abertura de trincheiras transversais à pista, extração de amostras com sondagens rotativas. Mas também através de métodos não destrutivos, como aqueles que envolvem a identificação das espessuras de camadas e tipos de materiais existentes por meio de radares, utilizando princípios da geofísica. Além disso, para se verificar a capacidade estrutural, medidas de deflexão são utilizadas, e estas são obtidas de forma quase estática, utilizando-se viga de Benkelman, de forma dinâmica, utilizando-se o *Falling Weight Deflectometer (FWD)* ou ainda utilizando-se a retroanálise para a definição da bacia de deflexão. Por fim, utiliza-se também o Dynamic Cone Penetrometer (DCP) para se estimar a capacidade de suporte do solo e que se relaciona com o CBR.

Essas análises estruturais permitem a obtenção de conclusões que muitas vezes não são detectadas pela avaliação superficial, como no caso de deformações plásticas, rupturas ou fissuras em camadas inferiores. A avaliação estrutural, combinada com a avaliação de defeitos superficiais, permite aos engenheiros definir as causas das patologias nas vias, visando sua reparação.

#### 5.2.1.1 Estado Funcional

Para essa monografia destacam-se os parâmetros de Índice de Gravidade Global e Quociente de Irregularidade.

##### 5.2.1.1.1 Índice de Gravidade Global (IGG)

O Índice de Gravidade Global é uma das maneiras utilizadas para se tirar conclusões sobre o estado em que se encontra a superfície de um pavimento asfáltico. O método para determiná-lo está presente na norma DNIT 006/2003 - PRO, em que há instruções sobre o levantamento sistemático dos defeitos e a atribuição de seus índices, muito utilizado quando se deseja saber um inventário de ocorrências patológicas e as suas causas, bem como quando deseja-se realizar uma etapa

preliminar, para julgamento da necessidade de ser feita uma avaliação estrutural do pavimento ou como um complemento desta avaliação.

Segundo a norma, o IGG é determinado apenas para algumas áreas, próximas às estações, com superfície delimitada pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, situadas, respectivamente, a 3,00 m antes e 3,00 m após a estação considerada. A aparelhagem necessária consiste numa treliça de alumínio, padronizada, tendo 1,20 m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio e que permite medir, em milímetros, as flechas da trilha de roda e equipamento e material auxiliar para localização e demarcação na pista das estações de avaliação, tais como trenas, giz, tinta, pincel, etc.

O processo se dá pela anotação, na planilha da figura 5, de qualquer ocorrência no pavimento, seguindo uma terminologia fixada, vinda da norma DNIT 005/2003 - TER, presente no quadro 3.

Figura 5 - Planilha para cálculo do IGG

Inventário de superfície																				
Rodovia			Trecho										Operador							
			Subtrecho										Revestimento tipo							
Data	Folha		Estaca inicial										Estaca final							
Estação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Faixa	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E	D	E		
Configuração da terraplenagem			A	A	A	SMA	C	C	SMC	C	C	C	A	A	SMC	C	C	A	A	A
Tipo	OK	Sem defeito																		
1	F1	Fissuras																		
(FCI)	TTC	Trincas transversais curtas					X													
	TTL	Trincas transversais longas				X					X	X		X		X				
	TLC	Trincas longitudinais curtas					X		X											
	TLL	Trincas longitudinais longas	X													X				
	TRR	Trincas isoladas retração																		
2	J	Couro de jacaré				X		X		X							X		X	
(FCII)	TB	Trincas em bloco																		
3	JE	Couro de jacaré com erosão		X					X	X			X	X	X	X	X		X	
(FCIII)	TBE	Trincas em bloco com erosão																		
4	ALP	Afundamento plástico local									X		X							
	ATP	Afundamento plástico trilha		X					X				X	X	X	X	X	X	X	X
5	O	Ondulação																		
	P	Panela											X				X			
6	EX	Exsudação																		
7	D	Desgaste	X		X	X	X		X				X	X	X	X	X		X	X
8	R	Remendo												X				X		
	ALC	Afundamento consolidação local																		
	ATC	Afundamento consolidação trilha																		
	E	Escorregamento													X					
	TRI	Afundamento trilha interna (mm)	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	6	8	3	2	5	5	4
	TRE	Afundamento trilha externa (mm)	0	3	1	0	1	0	3	1	0	1	7	4	9	6	7	6	4	8

D = direita      C = corte  
E = esquerda    SMA = seção mista  
A = aterro        (meia encosta)

Fonte: BERNUCCI et al. 2010

Quadro 3 - Terminologia dos defeitos

OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P
Remendos		Remendo Superficial		RS
		Remendo Profundo		RP

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

Fonte: DNIT 005/2003 - TER

Para cada ocorrência registrada, devem ser calculadas as frequências absolutas, número de vezes em que o defeito foi verificado, e relativas obtida através de:

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

Equação 1

Onde:

$f_r$  – frequência relativa

$f_a$  – frequência absoluta

$n$  – número de estações inventariadas

E então, deve ser calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI), pela fórmula:

$$IGI = f_f \times f_p \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$F_r$  – frequência relativa

$F_p$  – fator de ponderação, obtido de acordo com o quadro 4

Quadro 4 - Fatores de ponderação

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia"	Fator de Ponderação $f_p$
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 cálculo da frequência relativa em percentagem ( $f_r$ ) 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
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: DNIT – 006/2003 – PRO

Para o cálculo do IGI dos afundamentos em trilha de roda, considera-se a média  $F$  dos afundamentos e a média das variâncias das flechas:

$$F = \frac{(\sum_i^j FRE + \sum_i^j FRI)}{2} \quad \text{Equação 3}$$

$$FV = \frac{(FRE_v + FRI_v)}{2} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

FRE = flecha na trilha externa em milímetros de cada uma das estações do segmento;

FRI = flecha na trilha interna em milímetros de cada uma das estações do segmento;

i = primeira estação do segmento;

j = última estação do segmento;

F = média aritmética da média das flechas na trilha externa e da média das flechas na trilha interna do segmento;

$FRE_v$  = variância das flechas medidas na trilha externa do segmento, considerando todas as estações de i a j;

$FRI_v$  = variância das flechas medidas na trilha interna do segmento, considerando todas as estações de i a j;

FV = média da variância das flechas na trilha externa e da variância das flechas na trilha interna do segmento.

Para a contabilização da contribuição dos afundamentos das trilhas de roda para o IGG, calculam-se dois índices:

$$IGI_F = F \times 4/3 \text{ (quando } F \leq 30) \quad \text{Equação 5}$$

Ou  $IGI_F = 40 \text{ (quando } F > 30)$  Equação 6

e

$$IGI_{FV} = FV \times 1,0 \text{ (quando } FV \leq 50) \quad \text{Equação 7}$$

Ou  $IGI_{FV} = 50 \text{ (quando } FV = 50)$  Equação 8

Por fim, o índice de gravidade global é calculado através de:

$$IGG = \sum IGI \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$\sum$  IGI – somatório dos Índices de Gravidade Individuais

Com o IGG calculado, é possível conferir ao pavimento um conceito que retrate seu estado de degradação, conforme é mostrado no quadro 5:

Quadro 5 - Conceitos do Índice de Gravidade Global IGG por faixa de valores

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

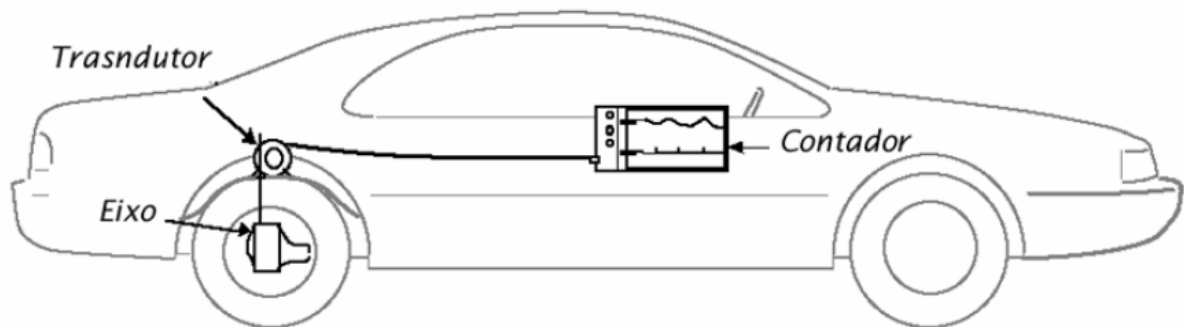
Fonte: BERNUCCI et. al 2010

#### 5.2.1.1.2 Quociente de Irregularidade (QI)

Segundo Barella (2008), a “irregularidade longitudinal de um pavimento representa o conjunto dos desvios indesejáveis de sua superfície, que atrapalha o rolamento rápido e suave dos veículos, gera insegurança e onera seus usuários, além de acelerar a degradação do pavimento”.

A irregularidade pode ser obtida diretamente através de levantamentos topográficos, com nível e mira, ou de diversos tipos de equipamentos medidores de perfil longitudinal, como o Dipstick e Merlin, bem como pode ser obtida indiretamente através de sistemas medidores do tipo resposta, sendo esses últimos os mais utilizados no Brasil, sendo normalizados nomeadamente pela DNER-PRO 182/94, que discorre sobre a avaliação da irregularidade em si, a DNER-PRO 229/94, que aborda a manutenção do equipamento e a DNER-PRO 164/94, que trata da calibração desse tipo de equipamento. Na figura 6 contém uma representação desse equipamento:

Figura 6 - Desenho esquemático de um sistema tipo resposta



Fonte: BARELLA, 2008

O Brasil adotou o QI como índice oficial de irregularidade longitudinal, que por não ser o mais utilizado internacionalmente dificulta a comparação com malhas rodoviárias estrangeiras. Há diversas correlações entre o IRI e o QI, visando a comparação entre os dois índices, como:

$$QI = (14 \times IRI) - 10 \quad (\text{PATERSON, 1896}) \quad \text{Equação 10}$$

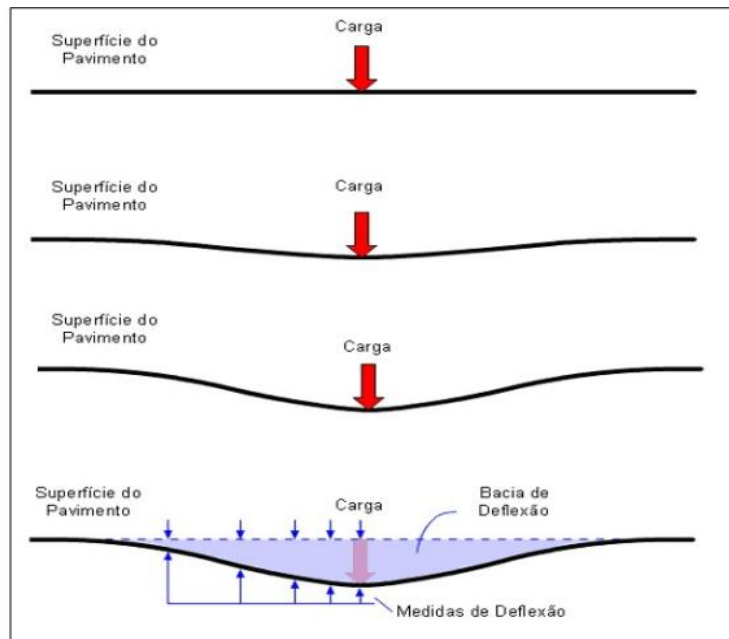
$$QI = 13 \times IRI \quad (\text{PATERSON, 1987}) \quad \text{Equação 11}$$

$$QI = 15,42 \times IRI - 10 \quad (\text{BARELLA, 2008}) \quad \text{Equação 12}$$

#### 5.2.1.2 Avaliação estrutural

Conforme constatado anteriormente, a avaliação estrutural do pavimento permite a inferência de indicadores de qualidade do pavimento e verificar a necessidade ou não de obras de reforço. Parte dessa avaliação é realizada através de provas de carga sobre o pavimento, submetendo-o a esforços equivalentes ao tráfego previsto na via, verificando medidas de deflexão, que consiste no afundamento vertical em um ponto do pavimento causado pela passagem de uma carga e (DNIT 170/2016 - PRO) e, por consequência, delineando a bacia de deflexão, que basicamente é a curva representativa das deflexões (figura 7).

Figura 7 - Esquema da deflexão recuperável associada à aplicação de carga no pavimento



Fonte: LUIS, 2009

Existem dois métodos mais difundidos no mundo, incluindo o Brasil, para medir a deflexão nos pavimentos: a viga de Benkelman e o deflectômetro de impacto *Falling Weight Deflectometer (FWD)*. Ambos os métodos funcionam através da medição dos deslocamentos verticais sofridos na superfície do pavimento quando este é carregado e serão descritos mais detalhadamente a seguir.

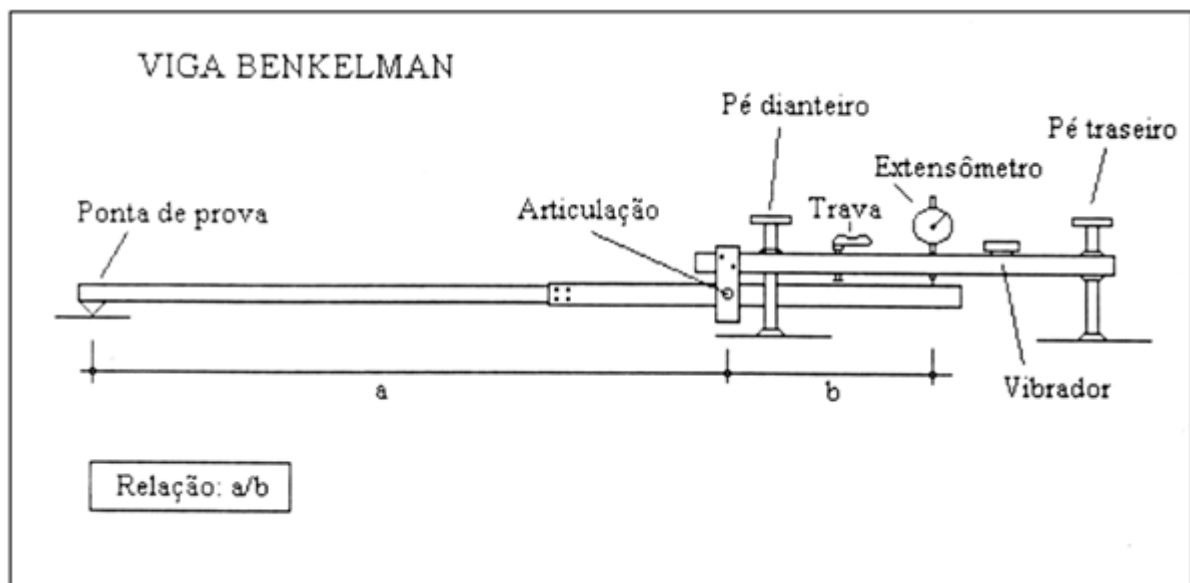
#### 5.2.1.2.1 Deflexão estática com viga de Benkelman

A viga de Benkelman é um equipamento que possibilita a realização de medidas deflectométricas no pavimento. Idealizado por A. C. Benkelman, engenheiro do Bureau of Public Roads dos EUA em 1950. Após intensos estudos realizados pelos engenheiros da Canadian Good Roads Association (CGRA), o procedimento de ensaio com a viga utilizado na AASHO Road Test foi modificado e adotado mundialmente (BORGES, 2001).

Este método passou a ser utilizado no Brasil nos anos 60 e é hoje muito difundido no país. Sua utilização é regulamentada pelo método de ensaio DNER-ME 24/1994 e pela norma da ABNT NBR 8547.

O ensaio necessita de um caminhão com eixo traseiro simples de roda dupla carregado com 8,2t, para aplicar a carga sob a qual será medida a deformação elástica (BERNUCCI et al. 2010) e para acoplar um equipamento composto basicamente por uma viga com uma parte fixa e uma parte móvel, cujo princípio de funcionamento é o mesmo de um braço de alavanca. O lado móvel da viga fica em contato com o pavimento entre um par de rodas do eixo traseiro do caminhão. Esta haste está articulada em um tripé regulável e conectada ao outro lado da viga, onde há um extensômetro, analógico ou digital, com precisão mínima de centésimos de milímetro (figura 8). À medida que o caminhão se afasta da ponta de prova entre as rodas, a superfície do pavimento vai retornando ao seu plano original, o que causa mudanças na leitura do extensômetro e permite, através de uma semelhança de triângulos, medir a deflexão máxima  $d_0$ .

Figura 8 - Ilustração dos componentes da Viga Benkelman



Fonte: ALBERNAZ, 1997

A deflexão é calculada a partir das leituras obtidas com o equipamento a partir de:

$$D = (L_0 - L_F) \times a/b \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

D = deflexão do pavimento;

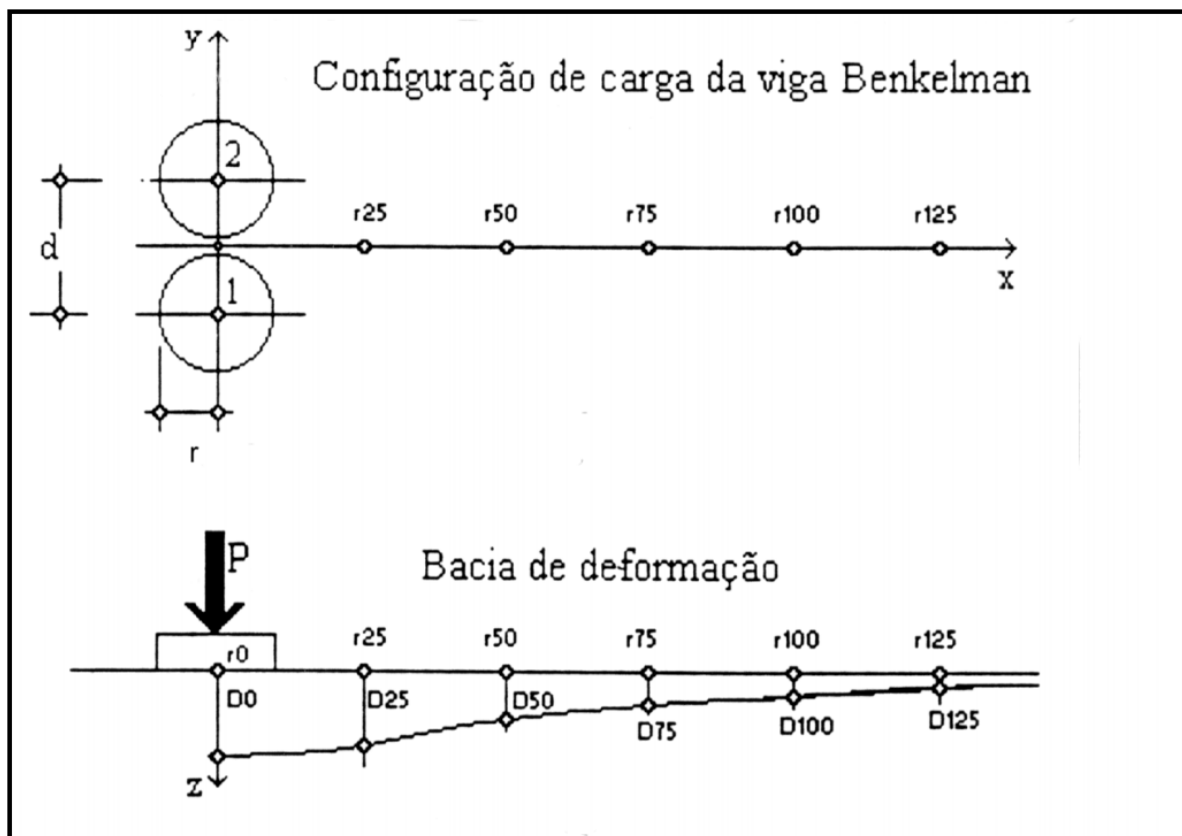
L<sub>0</sub> = leitura inicial;

L<sub>f</sub> = leitura final;

a/b = relação entre braços = constante da viga.

São realizadas diversas leituras conforme o caminhão se movimenta para frente. Este processo permite a determinação experimental da linha de influência longitudinal da carga, ou seja, da bacia de deflexão, conforme figura 9.

Figura 9 - Pontos de leitura de deformação após aplicação de carga



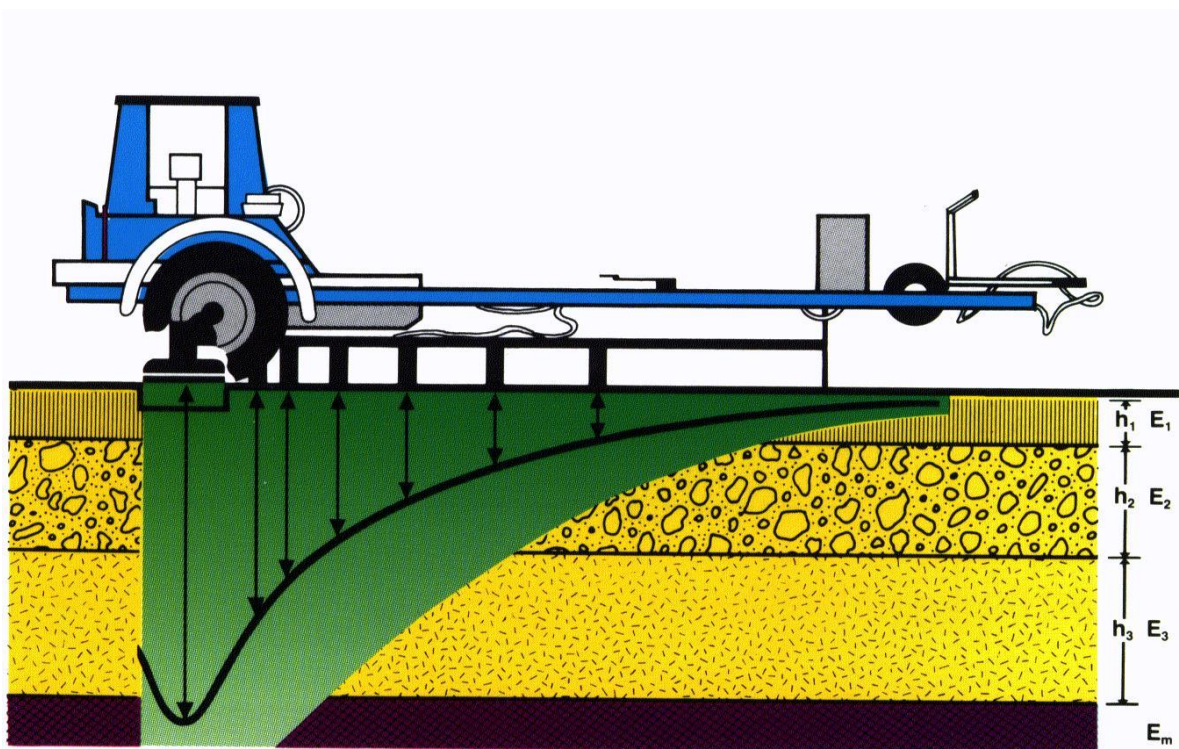
Fonte: ALBERNAZ, 1997

Por ser um aparelho de baixo custo, de versatilidade e de operação simples, facilitando a capacitação do pessoal para sua operação, é um equipamento utilizado na maioria dos casos em que se deseja realizar a medição de deflexões de um pavimento, seja ele rígido, semirrígido ou flexível. Dentre as principais desvantagens associadas à viga Benkelman, citam-se: dispersão elevada das leituras; influência das bases de apoio da viga na deformada; possibilidade apenas de medições estacionárias e; alta demanda de tempo para realização do teste.

### 5.2.1.2.2 Deflexão por impacto com Falling Weight Deflectometer (FWD)

O Falling Weight Deflectometer (FWD) consiste em um outro ensaio não-destrutivo e muito utilizado na engenharia de pavimentação para avaliar as propriedades e a performance do pavimento. É regulamentado pela norma DNER 273/1996 e neste teste, uma carga dinâmica aplicada por um impacto sobre uma placa amortecida simula a aplicação de carga de um par de rodas de um caminhão em movimento sobre o pavimento, simulando tanto a magnitude quanto a duração do impacto (BALBO, 2011). A deflexão do pavimento devido à carga é medida por sensores dispostos a diferentes distâncias do centro de sua aplicação, possibilitando a delimitação da bacia de deflexão, de maneira totalmente automatizada (figura 10).

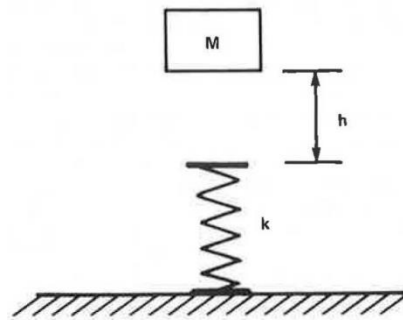
Figura 10 - Esquema de medição de deformações com uso de FWD



Fonte: Acervo SME-USA

Os deflectômetros de impacto empregam um sistema de massa que colide com uma placa amortecida. Sendo assim, o FWD pode ser representado como um simples sistema massa-mola (Figura 11), onde a mola representa o pavimento, que sofrerá uma deformação elástica. Este sistema, por ser dinâmico, apresenta melhores simulações de um eixo em movimento, quando comparados aos sistemas estáticos.

Figura 11 - Sistema massa-mola



Fonte: MACEDO, 1996

A altura de queda da carga pode ser regulada, tornando possível a simulação de diferentes tipos de eixos e impacto tem duração de 25 a 33 milissegundos, mesma duração da passagem de um veículo trafegando com velocidade de 60 a 80 km/h (MACEDO, 1996).

A importância da determinação da bacia de deflexão relaciona-se com o fato dela levar a conclusões sobre o comportamento estrutural do pavimento no que tange como é feita a distribuição dos esforços sobre as camadas inferiores do pavimento - quanto mais paulatina a redução dos valores de deflexão à medida que a carga é afastada do ponto de prova, melhor a distribuição dos esforços (BALBO, 2011).

Este ensaio, em relação ao ensaio com Viga Benkelman, apresenta uma maior acurácia nas medições, possibilita a aplicação de diferentes níveis de carga, por ser automatizado pode captar mais pontos por dia, aumentando a produtividade e diminuindo a influência do operador nos resultados. Porém, tem um custo maior do equipamento, necessita de calibrações mais frequentes e há variação de resultados entre equipamentos de diferentes fornecedores (BERNUCCI et al. 2010).

Apesar de o método de Viga Benkelman e o método *FWD* medirem deflexões, seus resultados não são iguais e não há correlações universais entre ambos. Há, no entanto, uma correlação que será importante para o estudo de caso, que foi proposta pelo Professor Doutor Salomão Pinto em sua tese de doutorado (1991), a partir de ensaios de *FWD* e de Viga Benkelman, em trechos pré-determinados na rodovia BR 101 – RJ/Niterói e na BR 040 – RJ/Areal Moura. Os ensaios foram realizados ao longo

de 2,5 anos e neles foram aplicados três diferentes níveis de carga: a primeira visava aproximar o valor da carga de roda simples e equivalente ao eixo de 8,2 tf para uma área circular cujo raio é de 10,8 cm (26,7 kN); a segunda era a soma das cargas por roda do semi-eixo de rodas duplas (40 kN); e a terceira é o valor máximo obtido com as massas de 200 kg para 40 cm de altura de queda (63,7 kN). Avaliando-se a correlação entre tais resultados, a relação a seguir é proposta, cujo  $r^2 = 0,94$ :

$$D_B = -5,73 + 1,396 \times D_{FWD} \quad \text{Equação 14}$$

### 5.2.1.2.3 Retroanálise

Como dito anteriormente, a avaliação estrutural de um pavimento utiliza um conjunto de informações, dentre elas a composição de cada camada, bem como a caracterização delas. Para o cálculo de um reforço de pavimento, é necessário se conhecer a rigidez de todas as camadas. Podem ser utilizados ensaios destrutivos para coleta de amostras, porém são demorados e introduzem mais defeitos ao pavimento. A alternativa para isso é o uso da retroanálise para inferir os módulos de elasticidade das camadas utilizando bacias de deformação.

Possuindo-se conhecimento das características básicas das camadas, como os tipos de materiais presentes e espessuras, é possível inferir os módulos de elasticidade. Esse processo ocorre de maneira iterativa, em que se testam combinações de módulos de elasticidade para que a bacia teórica calculada coincida com a bacia determinada em campo por meio de um ensaio *FWD*, por exemplo.

Dessa forma, essa sistemática permite a obtenção dos módulos em condições de campo, minimiza os impactos da retirada de amostras, é mais rápido e pode caracterizar as camadas separadamente. Porém, depende diretamente da qualidade da bacia de deflexão gerada em ensaios que a precederam, os módulos obtidos podem não ser os reais, e sim “módulos equivalentes”, os quais não consideram as condições físicas reais do pavimento, como presença de trincamento, e pode haver mais de uma combinação de módulos de elasticidade das camadas que coincida com a bacia medida (BERNUCCI et al. 2010).

#### 5.2.1.2.4 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

O ensaio Dynamic Cone Penetrometer visa medir a resistência de um dado solo e espessura das suas camadas. Foi criado na Austrália na década de 1950 por Scala, o qual dava o nome a este ensaio anteriormente.

Sua execução é relativamente simples, rápida e de baixo custo, uma vez que o equipamento é acessível no mercado. A resistência da camada é medida a partir da penetração na camada pelo equipamento utilizando golpes, o que gera um índice chamado de *Dynamic Penetration Index (DPI)*. Quando tal índice é plotado em um gráfico versus a profundidade é possível identificar as diferenças entre camadas e correlacionar com outros índices como o CBR.

Há inúmeras correlações entre o DPI e o CBR, as quais variam de acordo com o tipo de solo, região e condições encontradas no momento da execução do ensaio. Abaixo, no quadro 6, são apresentadas algumas dessas correlações:

Quadro 6 - Correlações entre DPI e CBR

Tipo de Solo	Correlação	R <sup>2</sup>	Fonte
Não Fornecido / Local: África do Sul	$Log(CBR) = 2,63 - 1,28 .Log (DN)$	-	KLEYN E SAVAGE (1982), apud CARDOZO (2005)
Argilosos	$Log(CBR) = 2,56 - 1,16 .Log (DN)$	0,97	HARISON (1987), apud ALVES (2002)
Arenosos	$Log(CBR) = 3,03 - 1,51 .Log (DN)$	0,92	
Pedregulhos	$Log(CBR) = 2,55 - 0,96 .Log(DN)$	0,96	
Para todos os tipos de Solos	$Log(CBR) = 2,81 - 1,32 .Log (DN)$	0,98	
Solos Finos / Local: Chile	$Log(CBR) = 2,89 - 1,46 .Log (DN)$	0,95	PONCE H. et. al. (1991), apud ALVES (2002)
Não Fornecido / Local: Paraná	$CBR = 443,45 .(DN)^{-1,30}$	-	HEYN (1986), apud FONTES (2001)
Latosolos Vermelho e Vermelho-amarelo / Local: ITA	$Log(CBR) = 2,490 - 1,057 .Log(DN)$	-	VERTAMATTI E OLIVEIRA (1997), apud MEDEIROS (2006)
Não Fornecido / Local: Santa Catarina	$CBR = 512,64 .(DN)^{-1,25} in situ$	-	TRICHÊS E CARDOSO (1998), apud FONTES (2001)
	$CBR = 151,58 .(DN)^{-1,03} Dimensionamento$	-	

Fonte: FERNANDES, 2015

## 5.2.2 Métodos de Projeto de Reforços Estruturais

Para o dimensionamento do reforço estrutural, podem ser utilizadas diversas metodologias, considerando critérios de resistência, critérios de deformabilidade e até mesmo critérios de serventia e desempenho, como pode ser visto no quadro 7 a seguir.

Quadro 7 - Métodos de dimensionamento de reforço estrutural usados no Brasil

Método	Fundamento	Origem
Resistência (extinto DNER) <b>(ou método do CBR)</b>	Resistência do subleito	USACE
<b>DNER-PRO-11/79- B</b>	Deflexões e defeitos	Ruiz (Argentina) Pensilvânia DOT
<b>DNER-PRO-10/79-A</b>	Deflexões, defeitos e CBR de camadas de base	Método CDH
<b>DNER-PRO-159/85</b>	Evolução de trincas e de irregularidades	Nacional (César Queiróz)
DNER-PRO-269/94	Deflexões e fadiga do revestimento	Nacional (COPPE)

Fonte: BALBO, 2011

Os métodos brasileiros para cálculo do reforço recomendam a determinação da bacia de deformação por meio de levantamentos deflectométricos.

A seguir são apresentados alguns métodos de dimensionamento de reforços, que são os utilizados no estudo de caso apresentado em sequência.

### 5.2.2.1 Método DNER-PRO-11/79-B

Fundamentado nos estudos dos engenheiros franceses Lassalle e Langumier e do argentino Celestino L. Ruiz e resumidos e apresentados pelo engenheiro Bolívar Lobo Carneiro, este método de reforço é baseado no critério de deformabilidade dos pavimentos flexíveis. Este, por sua vez, expresso na prática pela medida de deflexões recuperáveis, devido à correlação entre a magnitude das deflexões e o aparecimento de falhas nesse tipo de pavimento.

Anterior aos estudos definitivos, são previstos estudos preliminares de prospecção e levantamento histórico através da abertura de poços de sondagem do pavimento existente. Dessa forma, é possível obter uma ideia geral da constituição do pavimento ao longo do trecho, das solicitações já suportadas e uma estimativa da carga que ainda irá suportar durante a sua vida útil de projeto.

O método institui, em seguida, estudos definitivos pelos quais são determinados o Índice de Gravidade Global (IGG) do revestimento, a deflexão reversível (Do) e o raio de curvatura (Ro) em cada estação e, então, as deflexões e os raios de curvatura de projeto nos intervalos homogêneos.

O IGG é determinado através de uma avaliação objetiva, conforme detalhado anteriormente nesse relatório. As estações de ensaio devem, para rodovias de pista única com 2 faixas de tráfego, ser marcadas a cada 20 metros, alternando-as entre cada pista. No caso de pista dupla, devem-se marcá-las nas faixas de cada pista.

A partir dos dados já obtidos, são definidos segmentos homogêneos, considerando para isso, principalmente valores do raio de curvatura, constituição do pavimento existente e a natureza da frequência dos defeitos verificados na pista de rolamento.

Em uma nova fase, inicia-se a análise estatística dessas deflexões recuperáveis medidas. Obtém-se o intervalo de aceitação dos valores individuais, através da expressão:

$$D \pm z\sigma \qquad \text{Equação 15}$$

Sendo

D - a média entre os valores;

$\sigma$  - o desvio padrão entre as medidas;

z - um valor obtido em função da quantidade de medidas colhidas (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de z em função de n

n	Z
3	1,00
4	1,5
5-6	2,0
7-19	2,5
≥ 20	3,0

Fonte: PINTO, 2016

Eliminam-se os valores não pertencentes ao intervalo. Repete-se o processo até que nenhum valor seja retirado, ou seja, toda a amostra escolhida se encontra em uma faixa aceitável de variação. Sendo o coeficiente de variação (cv) calculado dividindo-se o desvio-padrão da amostra pela sua média,

$$cv = \frac{\sigma}{D} \quad \text{Equação 16}$$

Então, calcula-se a deflexão característica (em 0,01 mm) do pavimento por meio da expressão:

$$D_c = D + \sigma \quad \text{Equação 17}$$

Sendo a deflexão diretamente proporcional à umidade das camadas do pavimento, não sendo sempre possível realizar as medidas em épocas chuvosas, utiliza-se um Fator de Correção Sazonal com o objetivo de se aproximar ao valor desses períodos. O manual do DNER apresenta os seguintes valores para esse fator (quadro 8):

Quadro 8 - Fatores de correção sazonal

Natureza do Subleito	Fatores de Correção Sazonal - $F_s$	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,1 - 1,3	1,0
Argiloso e Sensível à Umidade	1,2 - 1,4	1,0

Fonte: PINTO, 2016

Dessa forma, a deflexão de projeto (em 0,01mm) se dará pela multiplicação desse fator ao valor da deflexão característica, ou seja:

$$D_p = D_c \times F_s \quad \text{Equação 18}$$

Além disso, de forma a garantir a não ocorrência de fissuras no pavimento o método determina um valor máximo para a deflexão, denominado deflexão admissível ( $D_{adm}$ ). Esse valor varia com o número N, número de solicitações do eixo padrão, e com os materiais constituintes.

Para pavimentos de concreto betuminoso sobre base granular, define-se para a deflexão admissível o valor:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N \quad \text{Equação 19}$$

Se o pavimento for semirrígido, deve ser adotado a metade desse valor ou, no caso de tratamento superficial com base granular, o mesmo valor deve ser dobrado.

Com os valores de deflexão medidos e calculados, estima-se a espessura do reforço conforme a equação 20:

$$h = K \times \log \frac{D_p}{D_{adm}} \quad \text{Equação 20}$$

Sendo

K - fator de redução de deflexão.

Se concreto betuminoso, K = 40, entretanto, para os outros casos, deve-se adotar a relação

$$h_c = \frac{2,00}{K_c} \quad \text{Equação 21}$$

Sendo

Kc determinado conforme o componente do pavimento (quadro 9).

Quadro 9 - Coeficiente estrutural para componentes de reforço do pavimento

<b>Componente do reforço do pavimento</b>	<b>Coeficiente de equivalência estrutural (kc)</b>
Concreto Betuminoso	2,00
Pré-misturado a quente de gradação densa	1,7
Pré-misturado a frio de gradação densa	1,4
Macadame betuminoso por penetração	1,2
Brita graduada com CBR ≥ 80	1,1
Material granular com CBR ≥ 60	1,0
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45 kg/m <sup>3</sup>	1,7
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 45 e 28 kg/cm <sup>3</sup>	1,4
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias inferior a 28 kg/c, <sup>3</sup>	1,0

Fonte: PINTO,2016

Se a espessura resultar em um valor acima de 5 cm, estudar outras soluções para a composição das camadas inferiores.

#### 5.2.2.2 Método DNER-PRO-269/94

Desenvolvido pelos engenheiros Salomão Pinto e Ernesto S. Preussler e intitulado “Método de Resiliência - TECNAPAV”, baseado no critério da deformabilidade do subleito.

Assim como na norma PRO-11/79, esta norma também recomenda que sejam feitas investigações preliminares/ da condição atual do pavimento, como espessura das camadas e características do subleito.

Com isso, procede-se para o levantamento de campo, quando são realizados a demarcação do trecho, com divisões a cada 20 metros, e a medição das deflexões recuperáveis (Do) por meio da Viga Benkelman, que deve estar isolada termicamente com isopor, deve ser realizada conforme no método DNER-PRO-11/79, conforme descrito anteriormente.

Em seguida, deve ser feito o levantamento da condição do pavimento, determinando as áreas que apresentam trincas, buracos e remendos (conforme DNER-ES 128/83).

Superfícies de avaliação que apresentarem trincas de classe 2 e/ou 3, devem ter calculados o trincamento através da expressão 22:

$$TR = \frac{TRI}{S} \times 100 \qquad \text{Equação 22}$$

Sendo

TR -trincamento, em porcentagem;

TRI - total das áreas com trincamentos de classe 2 e 3, buracos e remendos, em m<sup>2</sup>;

S - área da superfície total de avaliação, também em m<sup>2</sup>.

Devem ser obtidos ainda dados de sondagem e de caracterização do tráfego: para a sondagem, recomenda-se a abertura de poços alternadamente nas bordas da pista de rolamento, espaçadas de até 2000 metros, ou apenas garantindo que cada segmento homogêneo possua um poço de sondagem. Cada poço deve ser perfurado até atingir 60 cm do subleito, já para o tráfego, é feita a contagem volumétrica e contagem dos veículos comerciais por no mínimo 3 dias. Deve-se garantir a contagem volumétrica durante as 24h do dia e a pesagem por 8 horas diárias.

Segue-se então para o laboratório onde se recomenda que sejam realizados testes para:

- Obtenção do Índice de Suporte Califórnia (CBR), segundo o método DNER-ME 129/94, com energia de compactação apresentada no quadro 10.

Quadro 10 - Energia de compactação por camada do pavimento

Camada	Energia de Compactação
Base	Proctor Modificado
Sub-Base	Proctor Intermediário
Reforço do subleito	Proctor Intermediário
Subleito	Proctor Normal

Fonte: PINTO, 2016

A umidade deve ser a ótima de ensaio ou a encontrada *in situ*.

- Obtenção da granulometria com sedimentação para solos com mais de 35% em peso com diâmetro menor do que 0,075 mm (peneira 200)

A porcentagem em silte contida nos solos é determinada pela expressão 23

$$S = 100 - \frac{P_1}{P_2} \times 100 \quad \text{Equação 23}$$

Sendo

P1 e P2 - percentual, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,005 e 0,075 mm respectivamente, determinada na curva de distribuição granulométrica.

- Obtenção do Módulo de Resiliência, conforme normas DNER-ME 133/94, DNER-ME 138/94 e DNER-ME 131/94.

Em função do CBR determinado e da porcentagem S de silte, a norma classifica o solo em 3 grupos, conforme quadro 11, quanto a suas características resilientes.

Quadro 11 - Classificação dos solos

CBR (%)	S%		
	<= 35	35 a 65	> 65
>= 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III

Fonte: PINTO, 2016

Assim, a norma recomenda que seja feita uma nova divisão, em subtrechos homogêneos, agrupando segmentos com valores de constituição do pavimento, de tráfego médio diário e da deflexão recuperável semelhantes.

Nesse ponto do estudo, deve-se ser capaz de estabelecer os seguintes parâmetros para implantação do pavimento:

- Período de análise
- Taxa de crescimento do tráfego
- Tráfego previsto para o período de análise
- Restrições de construção e
- Restrições econômicas.

- 1) O cálculo da espessura necessária de reforço do pavimento existente deve ser realizado de acordo com as etapas:

Cálculo da deflexão característica de projeto

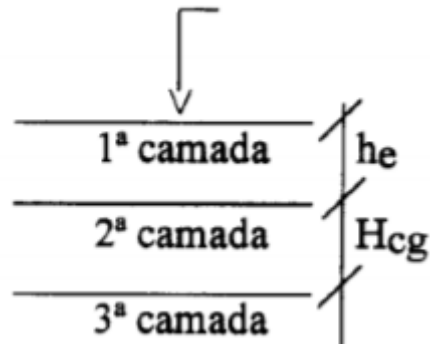
$$D_c = D + \sigma \quad \text{Equação 24}$$

Sendo

$D_c$ ,  $D$  e  $\sigma$  em 0,01 mm.

- 2) Para cada trecho homogêneo analisado, deve-se definir uma estrutura de referência constituída por três camadas. A primeira representa o material betuminoso, a segunda o material granular, e a terceira camada representa o solo. Um esquema pode ser observado na figura 12.

Figura 12 - Estrutura de referência



Fonte: PINTO, 2016

- 3) Classificação do solo da terceira camada de acordo com a quadro 11 apresentada anteriormente neste mesmo item.
- 4) O valor da espessura efetiva, obtido através da expressão 25.

$$h_{ef} = -5,737 + \frac{807,961}{D_c} + 0,972 \times I_1 + 4,101 \times I_2 \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

$h_{ef}$  – espessura efetiva em centímetros

$I_1, I_2$  – constantes relacionadas às características resilientes da terceira camada da estrutura de referência

Os valores usuais de  $I_1$  e  $I_2$  são exibidos no quadro 12. Caso o valor da espessura efetiva ( $h_{ef}$ ) obtida pela expressão 20 seja um valor negativo, deverá ser adotado um valor igual a zero para  $h_{ef}$ , e se a espessura efetiva calculada for superior à espessura da camada betuminosa existente ( $h_e$ ), o valor de  $h_{ef}$  adotado será igual a  $h_e$ .

Quadro 12 - Valores de  $I_1$  e  $I_2$

Espessura da camada granular (Hcg)	Classificação da 3ª camada	$I_1$	$I_2$

≤ 45 cm	Tipo I	0	0
	Tipo II	1	0
	Tipo III	0	1
≥ 45 cm	Tipo I	0	1
	Tipo II	0	1
	Tipo III	0	1

Fonte: PINTO, 2016

- 5) A deflexão máxima admissível para a camada de reforço deverá ser obtida com base no critério de fadiga, por meio da expressão 26.

$$\log \bar{D} = 3,148 - 0,188 \times \log N_p \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

$\bar{D}$  – Deflexão máxima admissível, em 0,001 mm

$N_p$  – Número cumulativo de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão para o período de projeto

- 6) O cálculo da espessura de reforço em concreto asfáltico (HR) através da expressão 27

$$HR = -19,015 + \frac{238,14}{\sqrt{\bar{D}}} - 1,357 \times h_{ef} + 1,016 \times I_1 + 3,893 \times I_2 \quad \text{Equação 27}$$

### 5.3 MISTURAS ASFÁLTICAS APLICÁVEIS A REFORÇOS

Os materiais que constituem as camadas do pavimento devem ter determinadas propriedades e garantir determinados desempenhos para que a via ofereça as condições para que foi concebido (BRANCO, 2011). Nos reforços, é usual a aplicação de materiais asfálticos, geralmente concreto betuminoso na camada de desgaste e macadame na camada de regularização. No entanto, o aumento do tráfego em algumas vias e a redução de custos associados à sua conservação, levaram ao desenvolvimento de novos materiais que garantissem um bom desempenho a longo prazo para minimizar os custos e prolongar ao máximo a vida útil do pavimento.

A utilização de mistura asfáltica em pavimentos deve-se às boas propriedades adesivas, mecânicas e impermeabilizantes que apresentam, garantindo um bom

comportamento em relação às ações climáticas e do tráfego. As misturas asfálticas são materiais com um comportamento viscoelástico do ponto de vista reológico. Perante baixas temperaturas e períodos de carga curtos, assumem um comportamento elástico. No entanto, a temperaturas elevadas e com tempos de carga maiores, a sua elasticidade diminui, conferindo-lhes um comportamento viscoelástico (COSTA, 2001).

No Brasil, mais de 90% das estradas pavimentadas são formadas por revestimento asfáltico, segundo dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA). A estrutura desse tipo de pavimento é formada usualmente por: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico. Dependendo do tipo e intensidade do tráfego, o revestimento pode possuir uma camada de rolamento e outras intermediárias.

A mistura asfáltica pode ser classificada quanto a sua fabricação: em usina específica (mistura usinada) fixa ou móvel ou na própria pista (casos de tratamentos superficiais). Ou quanto ao tipo de ligante usado: a quente com o uso de concreto asfáltico (CBUQ) ou a frio com o uso de emulsão asfáltica (EAP).

As misturas usinadas a quente são as mais utilizadas no Brasil e é o tipo de mistura usada no projeto de estudo, portanto serão foco da análise. Elas podem ser divididas pela graduação dos agregados e fíler (material de enchimento), segundo Bernucci et al. (2010):

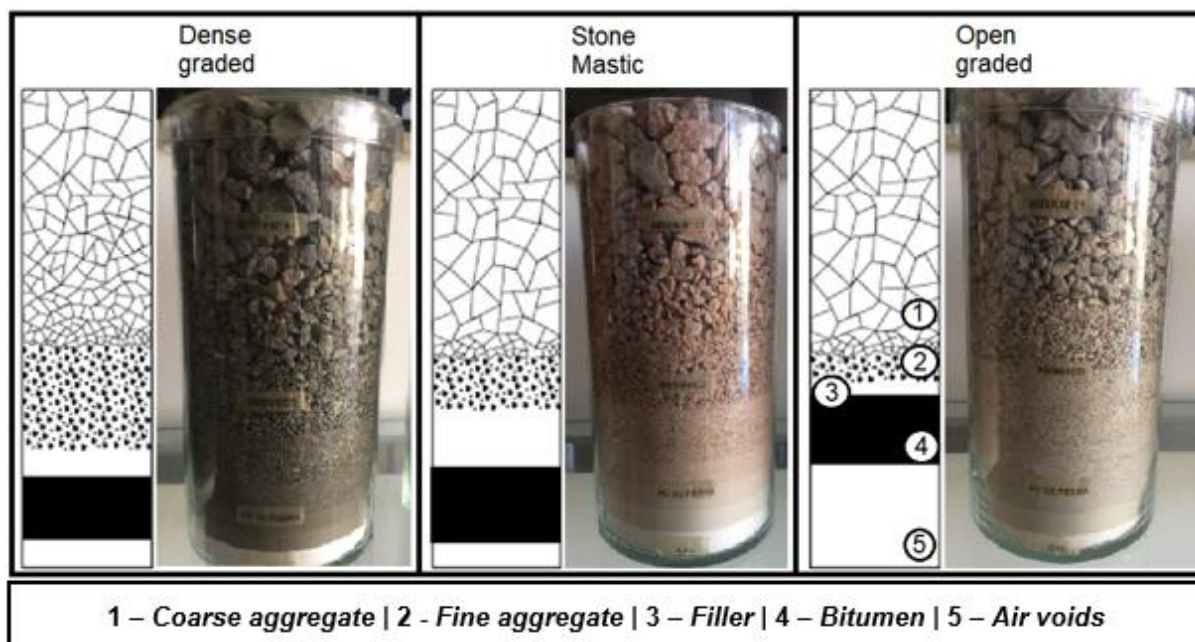
- **graduação densa** - curva granulométrica contínua e bem-graduada, com poucos vazios. Exemplo: concreto asfáltico (CA), concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ);

- **graduação aberta** - curva granulométrica uniforme, agregados quase que exclusivamente de um só tamanho, com grande porcentagem de vazios com ar (não preenchidos graças às pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico). Exemplo: camada porosa de atrito (CPA);

- **graduação descontínua** - maior quantidade de grãos de grandes dimensões, com vazios completados por certa quantidade de finos, material mais resistente à deformação permanente. Exemplo: *Stone mastic asphalt (SMA)*, *gap-graded (GAP)*.

O desenho esquemático a seguir, figura 13, mostra a proporção de agregados graúdos, finos, fíler, betume e vazios para misturas com graduação densa, aberta e descontínua.

Figura 13 - Proporção entre componentes de misturas densa, aberta e descontínua



Fonte: dos autores e AUSTROADS, 2014

Além disso, os ligantes asfálticos podem ser modificados por polímeros ou pó de borracha. Os modificados por polímeros são produzidos com a adição de polímeros elastoméricos sintéticos ao cimento asfáltico de petróleo. As propriedades mecânicas se tornam superiores às convencionais, como a resistência à deformação permanente e ao trincamento por fadiga, proporcionando maior vida útil ao revestimento. As misturas com ligante modificado por pó de borracha são feitas com a substituição do cimento asfáltico por borracha moída de pneus. As propriedades e o desempenho do revestimento podem ser melhorados, promovendo alta flexibilidade e durabilidade. Esse tipo de mistura também envolve a questão de sustentabilidade, reaproveitando-se de pneus que seriam descartados.

### 5.3.1 Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ)

Segundo Bernucci et al. (2010), são as misturas asfálticas usinadas a quente mais utilizadas no Brasil. A composição da mistura é bem-graduada, tornando a quantidade de ligante asfáltico requerida não muito elevada. Ela deve ter uma porcentagem de ar

após compactação em torno de 3 a 5%, na camada de rolamento, e de 4 a 6%, nas camadas intermediárias ou de ligação. A faixa de teor de asfalto em peso é normalmente de 4,5 a 6,0%, portanto a relação betume-vazios está na faixa de 75 a 82% para camada de rolamento e 65 a 72% para camada de ligação (figura 14).

Um de seus defeitos é que são misturas muito sensíveis à variação do teor de ligante asfáltico. O excesso de ligante pode gerar problemas de deformação permanente, por fluência e/ou exsudação, e a falta pode diminuir a resistência à tração e a vida de fadiga, com formação de trincas. A solução pode ser a substituição do ligante asfáltico convencional por ligante modificado por polímero ou por asfalto-borracha.

Portanto, os tipos de Concreto Asfáltico são:

- convencional: CAP e agregados aquecidos, segundo a especificação DNIT-ES 031/2004;
- especial (quanto ao ligante asfáltico): com asfalto modificado por polímero ou com asfalto-borracha; com asfalto duro, misturas de módulo elevado.

Figura 14 - Concreto Asfáltico Usinado a Quente



Fonte: AUSTRROADS, 2009

### 5.3.2 Camada Porosa de Atrito (CPA)

Mistura asfáltica do tipo aberta que possui cerca de 18 e 25% de vazios com ar (DNER-ES 386/99), o que é possibilitado pelas pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Pavimentos com esse tipo de revestimento, como na figura 15, têm elevada permeabilidade e permitem percolação de água, que

deve ser coletada e levada às sarjetas pela camada inferior, feita de mistura densa e estrutural. Com esse tipo de revestimento, reduz-se a espessura da lâmina d'água, o spray proveniente do borrifo de água e o ruído ao rolamento, o que promove segurança e o conforto ao motorista.

É necessário que o ligante seja de baixa suscetibilidade térmica e alta resistência ao envelhecimento, portanto recomenda-se asfalto modificado por polímero. Após certo tempo de uso, é desejável que se faça a limpeza do revestimento para minimizar os problemas de colmatção, provenientes da contaminação dos vazios por impurezas (BERNUCCI et al. 2010).

Figura 15 - Camada Porosa de Atrito



Fonte: AUSTRROADS, 2009

### 5.3.3 Stone Mastic Asphalt (SMA)

Também conhecida por stone matrix asphalt e traduzida como “matriz pétreo asfáltica”, é uma mistura que soluciona o problema de resistência à reflexão de trincas e à deformação permanente das misturas convencionais. Nela há elevada porcentagem de agregados graúdos, com maior contato e interação grão/grão. Há, assim, grande volume de vazios, que são preenchidos por um mástique asfáltico (areia, fíler, ligante asfáltico e fibras). O volume de vazios é de cerca de 4 a 6% em pista e o consumo de ligante, de 6 e 7,5%, sendo uma mistura impermeável. Pavimentos com esse tipo de revestimento tem macrotextura superficialmente rugosa,

devido aos agregados graúdos, que formam canais responsáveis pela drenagem superficial e pelo aumento da aderência pneu-pavimento (figura 16).

Além disso, o *SMA* tem boa estabilidade a elevadas temperaturas, boa flexibilidade a baixas temperaturas, elevada resistência ao desgaste, boa resistência à derrapagem, redução do spray ou cortina de água durante a chuva e redução do nível de ruído ao rolamento (BERNUCCI et al. 2010).

Figura 16 - Stone Mastic Asphalt



Fonte: AUSTRROADS, 2009

#### 5.3.4 Gap-Graded (GAP)

A graduação com intervalo (*GAP*) é descontínua e densa, tem faixa granulométrica que resulta em macrotextura superficial aberta ou rugosa, mas com teor de vazios baixo. Ela vem sendo realizada, principalmente, com asfalto-borracha, com teor de cerca de 6% (figura 17).

Figura 17 - Gap-graded



Fonte: AUSTRROADS, 2009

#### 5.4 FRESAGEM DE REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS DETERIORADOS

A fresagem é uma técnica utilizada na restauração e reabilitação de pavimentos. É responsável por retirar uma espessura determinada, por meio de um processo de corte mecânico a frio, e é aplicada a diferentes serviços de pavimentos, como a manutenção do greide da pista, a abertura de garras para ancoragem de novos revestimentos e a remoção de camadas de revestimentos e binder.

O principal equipamento da fresagem chama-se fresadora, figura 18, que possui um tambor rotativo para moagem, atualmente dividido em 3 tipos, conforme figura 19, que se diferenciam pelo tamanho de seus bits e espaçamento e são responsáveis por diferentes resultados de fresagem, a depender do objetivo dela.

Com o avanço tecnológico do equipamento alcançou-se uma execução mais minimalista, permitindo a fresagem de camadas de menor profundidade e de menor espaço entre as ranhuras, aumentando o coeficiente de atrito de pistas com casos de derrapagem, remoção superficial de camadas asfálticas exsudadas do revestimento e a remoção de sinalizações horizontais, de deformações ou ondulações no revestimento.

A fresagem padrão ocorre quando são retirados da ordem de 10 a 30 centímetros de espessura do pavimento, sendo utilizado um tambor com um espaçamento entre bits

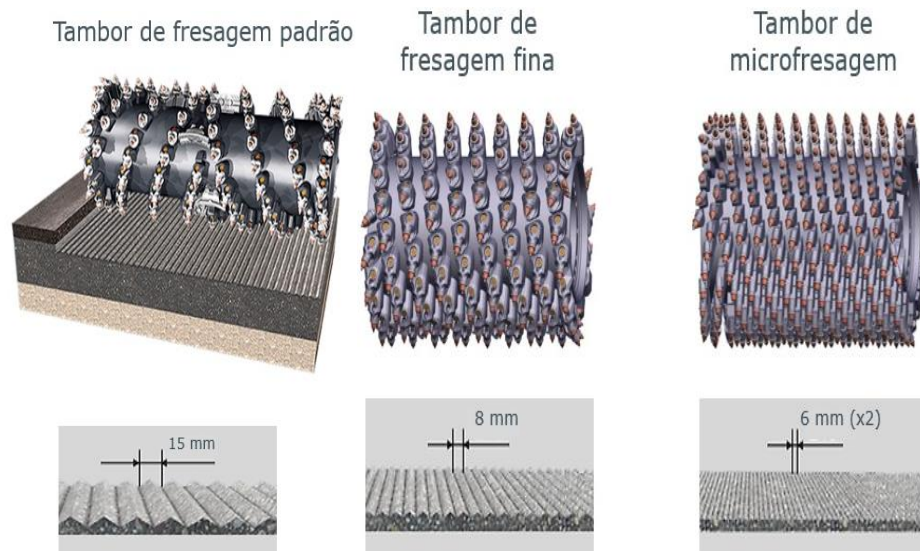
de 15 mm, além disso, normalmente são utilizadas fresas com 2 m de largura. Já a fresagem fina retira menos de 10 centímetros de pavimento, por meio de tambores com bits espaçados de 8 mm. Por fim, tem-se a microfresagem, que atinge apenas milímetros da camada fresada, resultando em um tratamento bastante superficial do pavimento e é realizada com tambores com espaçamento de apenas 6 mm entre seus bits.

Figura 18 - Fresadora com tambor de fresagem padrão visto lateralmente



Fonte: Blog Asfalto de qualidade

Figura 19 - Tipos de tambores e serviços resultantes



Fonte: Blog Asfalto de qualidade

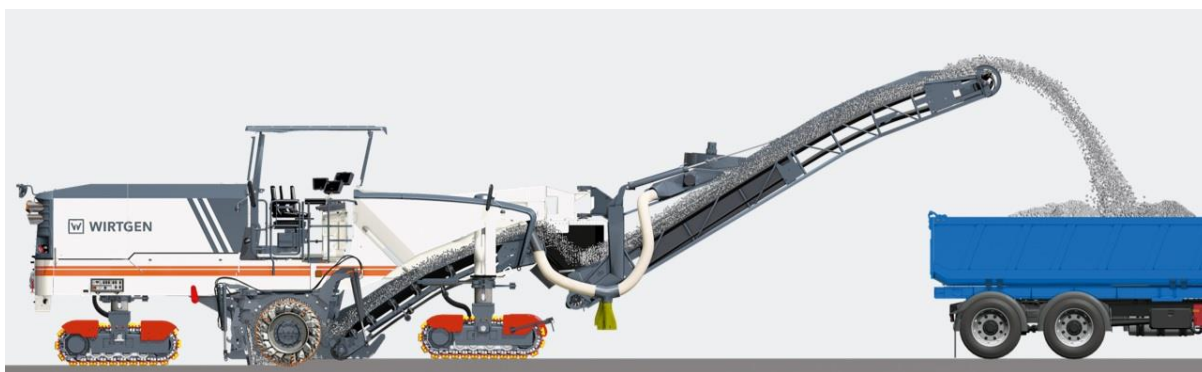
A execução desse serviço inicia-se com a delimitação da área a ser fresada e o local de estocagem do material fresado. Então, realiza-se uma limpeza prévia do

pavimento. Em seguida, ocorre a passagem da fresadora, acompanhada de um caminhão basculante que recebe o material fresado, conforme figura 20, utilizando constantemente água para o controle da quantidade de poeira gerada e do aquecimento da peça no serviço.

Deve ser monitorada conforme a passagem do equipamento, a espessura retirada e, caso a faixa a ser fresada seja maior que a largura do tambor, realiza-se novamente o processo na largura complementar.

Por fim, seguem-se as atividades da obra, e o material fresado é transportado para o local definido, podendo ser utilizado para reciclagem de pavimentos.

Figura 20 - Fresadora e caminhão basculante em funcionamento



Fonte: Blog Asfalto de qualidade

## 5.5 PINTURAS DE LIGAÇÃO ENTRE CAMADAS

Segundo o DNIT, a pintura de ligação é “a pintura asfáltica executada com a função básica de promover a aderência ou ligação da superfície da camada pintada com a camada asfáltica a ser sobreposta. É aplicável em camadas de base, em camadas de ligação ou intermediárias de duas ou mais camadas asfálticas na construção de pavimentos flexíveis e ainda, sobre antigos revestimentos asfálticos, previamente à execução de um reforço, recapeamento e rejuvenescimento superficial com lama asfáltica, microrrevestimento e reperfilagem com misturas asfálticas a frio ou a quente.” É consistida pela aplicação de uma camada de ligante asfáltico, a qual forma uma película contínua sobre a superfície que receberá o revestimento.

O ligante é uma emulsão asfáltica. Por sua vez, esta é uma mistura de diluídos de petróleo, com baixa viscosidade cuja função é penetrar nos vazios da camada que receberá o novo revestimento. A tipologia dele se relaciona com o tipo de ruptura que o material tem, a partir da evaporação da água presente na emulsão:

- Emulsões de ruptura rápida: RR-1C e RR-2C
- Emulsões de ruptura média: RM-1C e RM-2C
- Emulsões de ruptura lenta: RL-1C
- Asfalto diluído: CR-70 (não se aplica a superfícies betuminosas)

A escolha do tipo de ligante depende da textura da base em que ele será colocado, quanto mais fina a textura da superfície, mais viscoso deve ser o material a ser empregado.

A sequência executiva da aplicação da pintura de ligação solicita o uso de diversos tipos de equipamentos: para a etapa inicial de varredura da área para a retirada de pó e materiais soltos existentes, que possam atrapalhar a cobertura do ligante, se faz uso de vassourões, vassouras mecânicas rotativas ou vassouras comuns. Para a distribuição do material betuminoso, utiliza-se um caminhão-tanque equipado com barra espargidora (figura 21), ou bico de distribuição (figura 22), dirigido manualmente, bomba reguladora de pressão, tacômetro e é equipado com maçarico para aquecimento da mistura (SENÇO, 2001).

Deve-se esperar pela evaporação da água e ruptura do ligante, que garantirá a aderência do material que será depositado sobre a pintura.

Figura 21 - Equipamento utilizado para aplicar a pintura: barra espargidora



Fonte: do autor

Figura 22 - Equipamento utilizado para aplicar a pintura: bico de distribuição



Fonte: do autor

## 5.6 DOSAGEM E CONTROLE TECNOLÓGICO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

A caracterização de materiais de pavimentação é bastante complexa, pois estes materiais sofrem influência de diversos fatores como meio ambiente, magnitude, tempo de aplicação e frequência das cargas dos veículos, e estado de tensões e, nas misturas asfálticas, o envelhecimento gradativo.

A dosagem de uma mistura asfáltica consiste na escolha de um “teor de projeto” de ligante, a partir de uma faixa granulométrica pré-definida e é essencial para que ela se enquadre dentro de especificações que buscam evitar a desagregação prematura da mistura, por falta de ligante, ou superfícies escorregadias e deformáveis, por excesso de ligante. Embora o termo sugira um valor único ótimo para a mistura, cada critério de avaliação determina um valor diferente do teor para a mesma mistura, dessa forma, o teor ótimo representa um valor de projeto, conforme os métodos escolhidos para sua determinação.

Os procedimentos de dosagem variam conforme a forma de compactação, que pode ser através de impacto, amassamento, vibração ou rolagem, e a forma dos corpos de prova, cilíndricas, trapezoidais ou retangulares. Além disso, o teor também varia com parâmetros como o tipo de mistura, a temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros.

Dessa forma, para a dosagem das misturas, a busca é pelo equilíbrio entre o rigor teórico e a praticidade do cenário em questão, o que é alcançado privilegiando-se as características de maior relevância na previsão do comportamento das misturas no local planejado.

No século XX a caracterização era puramente empírica, com os ensaios mais usados de estabilidade para misturas asfálticas: o Marshall e o Hveem. Embora muito utilizados, não se adaptam à diferentes cenários de serviço e obtém-se apenas uma correlação na previsão de desempenho dos pavimentos.

A partir dos anos 70, passou-se a compatibilizar a capacidade dos materiais e as ações resultantes do tráfego por meio da análise estrutural de sistemas em camadas (BERNUCCI et al. 2010), sendo os modelos constitutivos comumente adotados:

- i. Elástico linear para camada de revestimento,
- ii. Elástico não-linear para as camadas subjacentes.

Porém, atualmente o método mais utilizado ainda é o Marshall, em que se determina inicialmente, o peso específico real do cimento asfáltico de petróleo e agregados; a

faixa granulométrica a ser utilizada para o agregado, e, a partir de critérios de projeto para energia a ser transmitida ao pavimento, realiza-se, então, o ensaio. Na mistura é aplicada uma energia equivalente de compactação, aplicada por meio de golpes com força pré-determinada. A mistura agregado-asfalto é feita com restrições a viscosidade do betume que por sua vez, limita a temperatura a ser empregada na mistura.

Tendo-se corpos de prova moldados em diferentes teores estes serão submetidos a aplicação de esforços axiais na prensa Marshall a fim de se obter a estabilidade e a fluência das amostras, e por fim, são construídos gráficos que caracterizam as diferentes composições.

Além dele também existe um outro método denominado *Superpave*, que utiliza compactação por amassamento em vez de impacto. A sua criação deveu-se à ideia de que as deformações permanentes prematuras que surgiram em pavimentos construídos com o uso do Método Marshall eram consequência da ideia de que as densidades obtidas por impacto não condizem com as do pavimento em campo.

## **6 AGÊNCIA REGULADORA E CONCESSÕES RODOVIÁRIAS EM SÃO PAULO**

### **6.1 AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DE TRANSPORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO**

No estado de São Paulo, a responsável pela administração das rodovias é a ARTESP (Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo), autarquia de regime especial, vinculada à Secretaria de Estado dos Transportes. A agência foi criada em 2002, com autonomia orçamentária, financeira, técnica, funcional, administrativa e poder de polícia, segundo seu Regimento Interno, disponível em seu site oficial.

A ARTESP tem por finalidade regulamentar e fiscalizar todas as modalidades de serviços públicos de transporte autorizados, permitidos ou concedidos, no âmbito da Secretaria de Estado dos Transportes. Seu objetivo é a busca do desenvolvimento das rodovias no que tange a segurança, o conforto e a eficiência.

Atualmente, a ARTESP é responsável pela regulação dos contratos das seguintes 19 concessionárias do Estado: Autoban, Autovias, Centrovias, Ecovias, Intervias, Renovias, Rodovia das Colinas, SPVias, Triângulo do Sol, Tebe, ViaNorte, ViaOeste, CART, Ecopistas, Rodovias do Tietê, Rota das Bandeiras, SPMar, Viarondon e Rodoanel Oeste.

### **6.2 CONCESSÃO RODOVIÁRIA – EDITAL E EXIGÊNCIAS**

O governo de São Paulo, com a lei n<sup>o</sup> 9.361 de 5 de julho de 1996, implementou um abrangente programa de concessão pública para gestão e exploração econômica das rodovias (Programa Estadual de Desestatização), com a introdução do setor privado. A fim de implementar o Programa, a rede viária foi subdividida em 12 seções, com um total de 3.500 km, interligando 198 municípios com uma população de aproximadamente 20 milhões de habitantes.

O Edital de Licitação N<sup>o</sup> 20/CIC/98 do Lote 20, que inclui a SP-280, apresenta os aspectos para Concessão Rodoviária. Segundo o Edital, capítulo I, item 2.1:

A CONCESSÃO terá por objeto a exploração do SISTEMA RODOVIÁRIO, compreendendo:

I — Execução, gestão e fiscalização dos SERVIÇOS DELEGADOS;

II — apoio na execução dos SERVIÇOS NÃO DELEGADOS;

III — gestão e fiscalização dos SERVIÇOS COMPLEMENTARES.

A concessionária tem o propósito específico explorar a concessão, pela cobrança de pedágio aos usuários e também por receitas acessórias, sendo proibida de praticar atos divergentes a tais finalidades. Ela deve seguir o Regulamento da Concessão e o disposto no Edital e no Contrato, tendo como algumas de suas obrigações:

- Manter condições de serviço adequado, durante todo o prazo da concessão.
- Apresentar Plano de Segurança Rodoviária visando à redução de acidentes de trânsito.
- Implantar sistemas mais tecnológicos, que permitam automatização das operações, para elevar o nível dos serviços oferecidos aos usuários e ter serviços não delegados mais eficientes, como monitoração do tráfego e fiscalização de trânsito.
- Executar serviços de conservação especial e de ampliação obrigatoriamente através de terceiros.
- Elaboração dos projetos necessários à execução dos serviços correspondentes a funções de conservação especial e de ampliação.
- Elaboração de Estudos de Impacto Ambiental para a implantação dos serviços objeto da concessão.

O Anexo 6 (Serviços Correspondentes a Funções de Conservação) do mesmo Edital apresenta, entre outras coisas, as exigências referentes à conservação e à manutenção do pavimento. A conservação de rotina visa manter os elementos construtivos da rodovia o mais próximo possível das condições originais. A concessionária deve respeitar referências, especificações, normas, procedimentos do contratante. Quanto à conservação, a Concessionária deve obedecer para Pavimentos Flexíveis e Semi Rígidos:

- Panela ou buraco na faixa de rolamento: reparo imediato, prazo máximo para correção: 24 (vinte e quatro) horas.
- Depressão em encontro de obra de arte: reparo imediato, prazo máximo para correção: 24 (vinte e quatro) horas.
- Depressão ou recalque de pequena extensão: reparo programável para execução em no máximo uma semana.
- Substituição de pano de rolamento medianamente comprometido: reparo programável para execução em no máximo um mês.
- Selagem de trincas: execução no mínimo uma vez ao ano, de preferência no período que antecede a época de chuvas.

É ainda especificado, no Edital de Licitação Nº 20/CIC/98 do Lote 20 – Anexo 6 (1998, p. 138 e 140), que:

*A CONCESSIONÁRIA deve elaborar programa, com estudos detalhados e projeto executivo, de conformidade com o previsto em sua metodologia de execução, a ser encaminhado à aprovação do CONTRATANTE dentro do prazo máximo de 6 (seis) meses após a transferência do controle. (...) Os pavimentos deverão ser analisados quanto às suas condições de superfície, conforto, deformabilidade, vida remanescente e segurança. Os parâmetros de aceitabilidade do pavimento para essas condições deverão ser totalmente atendidas durante o período de CONCESSÃO. São eles:*

*a) Condição de Superfície por sub-trecho homogêneo*

- *porcentagem de área com trinca classe 3: FC3 = 2%*
- *porcentagem de área com trinca classe 2: FC2 < 15%;*
- *afundamento de trilha de roda (F): F < 7 mm*
- *índice de Gravidade Global - IGG < 30*
- *índice de Condição do Pavimento - ICP > 60 (Pavimentos com revestimento de concreto de cimento Portland)*

*b) Condições de Superfície em Pontos Isolados:*

- *Deverão ser eliminadas todas as painelas, imediatamente após a sua ocorrência*

c) *Condições de Conforto por Sub-Trecho Homogêneo:*

- *Quociente de Irregularidade(Q.I.) < 35 contagens/km*

d) *Condições de Deformabilidade e Vida Remanescente*

- *As Deflexões Recuperáveis por sub-trecho homogêneo (Dc) serão representadas pela soma da média aritmética das deflexões individuais medidas com o desvio padrão da amostra. O proponente deverá utilizar critérios mecânicos para estabelecimento de vida remanescente, através de modelos desenvolvidos especificamente para cálculos de tensões e deformações em estruturas de pavimentos, tais como Elsym 5, FEPAVE, etc.*

- *A condição a ser exigida para a Vida Remanescente ao final do 20º ano de operação das Rodovias do Sistema serão:*

$$VR > 6 \text{ anos}$$

$$VR - DP > 3 \text{ anos}$$

Onde:

*VR - Vida Remanescente Média Global do pavimento ponderada pelas extensões dos sub-trechos homogêneos;*

*DP - Desvio Padrão*

e) *Condições de Segurança*

- *Macrotextura*

*altura de areia (HS), medido através do ensaio de Mancha de areia  $0,6 \text{ mm} < HS < 1,2 \text{ mm}$ ,*

- *Coefficiente de Atrito*

*valor da resistência à derrapagem medido pelo Pêndulo Britânico -  $VRD > 47$ ,*

*f) Controle dos parâmetros mínimos exigidos*

- *controle deflectométrico: a cada 2 (dois) anos*
- *inventário de superfície: anual*
- *controle das condições de conforto: a cada 2 (dois) anos*
- *controle das condições de segurança: a cada 4 (quatro) anos*

*Visando verificar a conformidade dos serviços com os parâmetros mínimos exigidos o CONTRATANTE solicitará, as expensas da CONCESSIONÁRIA, auditorias regulares ou extraordinárias no sentido de apurar eventuais disparidades no atendimento ao estabelecido.*

Ressalta-se que o poder de polícia administrativa no Sistema Rodoviário, como a competência para impor multa a infratores, é exercido exclusivamente pelo Poder Público.

### 6.3 AS CONCESSIONÁRIAS CCR E SPVIAS

Uma das empresas responsável pelas rodovias paulistas é o Grupo CCR, que faz o gerenciamento das concessionárias: AutoBan (SP), NovaDutra (SP-RJ), Renovias (SP), RodoAnel (SP), ViaOeste (SP) e SPVias (SP). A SP-280 é concessionada pela SPVias, através do Edital de Licitação Nº 20/CIC/98 do Lote 20 - Malha Rodoviária Estadual de Ligação entre Tatuí, Itapetininga, Capão Bonito, Itapeva, Itararé (Divisa com o Estado do Paraná) e Araçoiaba da Serra.

O grupo CCR foi fundado em 1999 e hoje é considerado um dos 5 maiores grupos de concessão de infraestrutura do mundo, no Brasil ele foi o pioneiro na política de concessão, sendo a primeira a assinar um contrato, ficando a “CCR Ponte” responsável pela Ponte Rio-Niterói.

Atualmente, com contratos em diferentes áreas da mobilidade e infraestrutura brasileira, a CCR é responsável por aproximadamente 3,265 quilômetros de rodovias, com suas gestões distribuídas regionalmente entre as concessionárias CCR NovaDutra (SP-RJ), CCR ViaLagos (RJ), CCR RodoNorte (PR), CCR AutoBAn (SP),

CCR ViaOeste (SP), CCR RodoAnel (SP), CCR SPVias (SP), Renovias (SP), e CCR MSVia (MS).

É interessante notar o envolvimento do grupo no segmento de transporte de passageiros por meio das concessionárias ViaQuatro, CCR Barcas e CCR Metrô Bahia, responsáveis, respectivamente, pela operação da Linha 4-Amarela de metrô de São Paulo, pelo transporte aquaviário de passageiros no Rio de Janeiro e pelo sistema metroviário de Salvador e Lauro de Freitas, além de ter participação na concessão do VLT Carioca (Veículo Leve sobre Trilhos), que interligará a região portuária e o centro do Rio de Janeiro. E no setor aeroportuário, onde atua desde 2012, com a aquisição de participação acionária nas concessionárias dos aeroportos internacionais de Quito (Equador), San José (Costa Rica) e Curaçao e no Brasil, com a concessionária BH Airport, responsável pela gestão do Aeroporto.

Com atuação nos segmentos de rodovias, mobilidade urbana, aeroportos e serviços o Grupo CCR trabalha com quatro divisões de negócios, responsáveis pela gestão tanto dos atuais quanto dos novos negócios. Nosso foco de estudo será o trabalho feito pela divisão CCR Rodovias SP, responsável pelas concessões no estado de São Paulo, através da concessionária CCR SPVias.

A CCR SPVias é a concessionária responsável por administrar o lote 20 do Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo, que abrange uma malha rodoviária de quase 600 quilômetros, englobando trechos das rodovias, visto também na figura 23:

- Antonio Romano Schincariol (SP-127): Tatuí/Capão Bonito, 185.434 km;
- João Mellão (SP-255): Avaré/Itaí, 50.420 km;
- Francisco Alves Negrão (SP-258): Capão Bonito/Itararé, 119.870 km;
- Raposo Tavares (SP-270): Araçoiaba da Serra/Itapetininga, 52.400 km;
- Castello Branco (SP-280): Tatuí/Espírito do Santo do Turvo, 185.434 km;

Figura 23 - Rodovias sob concessão da CCR SPVias



Fonte: Cidades Paulistas

O início das operações da SPVias data do ano de 2000 e sua aquisição pelo Grupo CCR ocorreu em 2010. Atualmente, estão sob sua administração a rodovia que faz a principal ligação entre a capital de São Paulo e a região sudoeste do Estado e aos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul.

A empresa busca implementar novas tecnologias de gestão, segurança, operação e construção. Também tem como objetivo o aperfeiçoamento das técnicas de recuperação e manutenção das rodovias, que geram benefícios econômicos à sociedade. Visa oferecer segurança e conforto para os motoristas, passageiros e pedestres, buscando maior fluidez de tráfego para mais de 85 mil veículos e envolvendo mais de 860 mil habitantes de 26 municípios limítrofes, segundo informações do site da empresa.

A análise do projeto de manutenção da rodovia é favorecida pelo fato de a concessionária administrar esse trecho há quase 20 anos, período maior que o período de projeto médio, permitindo que a empresa tenha controle e seja a responsável do estado atual do pavimento.

## **7 O PROJETO DE RESTAURAÇÃO DA RODOVIA SP-280 NO TRECHO O ESTUDO**

### **7.1 O PROJETO DE RESTAURAÇÃO**

O projeto do estudo de caso a ser avaliado neste capítulo é o projeto executivo de conservação especial do pavimento, o qual foi concebido após análises dos parâmetros obtidos em fase de monitoramento contínuo dos estados funcional e estrutural do pavimento. A partir disso, chegou-se em quatro componentes principais, que darão suporte a essa monografia, nomeadamente:

- Volume 1 - Memória de Cálculo
- Volume 2 - Tomo 1 - Projeto Executivo
- Volume 2 - Tomo 2 - Levantamentos Realizados
- Volume 2 - Tomo 3 - Relatórios de Sondagens

Deles serão obtidos os dados e os parâmetros de projeto necessários à intervenção, bem como a metodologia de cálculo adotada para realizá-la e diagramas das soluções adotadas em campo.

As obras de restauração do pavimento estão previstas para os anos 2018 e 2019 e as novas estruturas de pavimento serão projetadas para vida útil de 10 anos, correspondente ao período 2019 - 2028.

### **7.2 ESTUDOS PRELIMINARES**

Os estudos preliminares envolvem três componentes principais: o estudo do tráfego, o estudo geotécnico e a caracterização funcional e estrutural do pavimento existente. Eles são importantes para determinar a demanda existente na via, bem como sua capacidade estrutural e funcional atuais, a fim de que a obra possa garantir condições desejadas de segurança e conforto para o período projetado.

#### **7.2.1 Tráfego**

Os estudos do tráfego para o projeto de conservação do pavimento constituíram-se de um levantamento do Volume Médio Diário (VMD) de veículos na via e da composição do tráfego comercial durante o ano de 2016. Estes dados foram posteriormente convertidos em um número “N” equivalente de repetições do eixo

simples padrão de rodas duplas de 8,2 tf, utilizado nos métodos de dimensionamento de reforço estrutural do pavimento existente e de dimensionamento de novas estruturas de pavimento.

Para realizar o levantamento do tráfego, utilizam-se dados obtidos por meio de dois recursos: o pedágio, que permite obter a tipologia da frota, por meio da cobrança de tarifa diferenciada de acordo com os eixos do veículo; e o Sistema Analisador de Tráfego (SAT), que são sistemas de supervisão aplicada a autoestradas. Os SATs são um conjunto de dispositivos eletrônicos e programas para processar dados que podem obter informações como classificação de veículo, velocidade e fluxo de veículos, que ajudam a gerenciar informações sobre ocupação da rodovia, grau de agressividade sobre o pavimento e perfil dos veículos mais frequentes. Os dados podem ser armazenados para análises futuras ou para consultas em tempo real.

Para o estudo de caso, tal levantamento foi determinado com base nas informações provenientes de três pedágios e três SATs no trecho analisado da rodovia SP-280:

- SAT (km 135,5);
- Praça de Pedágio Quadra (km 158,3);
- SAT (km 172,3);
- Praça de Pedágio Itatinga (km 208,4);
- SAT (km 219,6);
- Praça de Pedágio Iaras (km 278,0).

Para o estudo no horizonte de projeto foram adotadas as seguintes premissas:

- Taxa de crescimento do tráfego adotada para as projeções do VMD de 2,5% ao ano (crescimento geométrico) – O crescimento do tráfego é variável ao longo dos anos, sendo influenciado por crises econômicas inclusive, que podem até gerar um decréscimo de VMD. O valor de 2,5% ao ano representa um valor médio para o período e é a favor da segurança.
- Distribuição direcional do tráfego comercial na faixa de projeto (com base em análise de SATs do banco de dados da CCR):
  - Pista dupla: 90% (faixa 2)

- Pista dupla com faixa adicional: 40% (faixa 2) e 60% (faixa 3)
- Carregamento da frota comercial para cálculo do fator de veículo (FV) – as porcentagens aqui adotadas são consideradas valores típicos de projetos rodoviários, segundo a CCR:
  - 20% vazios
  - 80% carregados com as cargas máximas legais (“Lei da Balança”)

Para a conversão de diversas classes de veículos comerciais em dano equivalente de eixo simples padrão, foram utilizados Fatores de Veículo (FV) da AASHTO e da USACE, que são compostos a partir do Fator de Equivalência de Carga por eixo (FC) que, pelo critério da AASHTO, baseia-se na perda de serventia (PSI) e varia com o tipo e resistência do pavimento e, pelo critério da USACE, avalia os efeitos do carregamento na deformação permanente devido às tensões de cisalhamento no subleito. Segundo o Manual de Estudos do Tráfego (DNIT, 2006), os valores de FC utilizados para chegar-se ao FV, tanto da AASHTO quanto da USACE estão indicados nos quadros 13 e 14 abaixo, respectivamente:

Quadro 13 - Fatores de Equivalência de Carga da AASHTO

Tipos de eixo	Equações (P em tf)
Simplex de rodagem simples	$FC = \left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$
Simplex de rodagem dupla	$FC = \left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$
Tandem duplo (rodagem dupla)	$FC = \left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$
Tandem triplo (rodagem dupla)	$FC = \left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$
P = Peso bruto total sobre o eixo	

Fonte: DNIT, 2006

Quadro 14 - Fatores de Equivalência de Carga da USACE

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

Fonte: DNIT, 2006

Para os cálculos de reforço estrutural, o N utilizado é o da AASHTO uma vez que o método que será aplicado para o cálculo (PRO 11/79 – Método B) foi desenvolvido utilizando-se os fatores de equivalência de carga da AASHTO. Já para o cálculo de reparos profundos, foi utilizado o N da USACE. Na tabela 2 encontra-se um exemplo de cálculo de N.

Tabela 2 – Cálculo do número N, referente ao trecho do quilômetro 183 ao 210

CÁLCULO DO NÚMERO N										
Rodovia	Pista	Trecho		Extensão	Projeto					
		km Inicial	Km Final		4ª Int Pav 129,6 ao 315,03					
SP280	Leste	183+000	210+000	27,0 km						
VDMa Comercial	Período de Projeto		Taxa de Crescimento		Ano Base do VDM	Ano de Abertura	Fator de Faixa	Fator Direcional	Fator Climático	
2.943	7 anos		2,50 %		2.016	2.019	1,00	1,00	1,00	
Distribuição			Sobrecarga sobre o PBT			Origem dos dados				
Vazio	Cheio	Sobrecarga				VDM		Distribuição da Frota		
20%	80%	0%	0%			Pedágio Km 208+400		Pedágio Km 208+400		
Eixo	Peso (t)			FEC USACE			FEC AASHTO			
	Vazio	Cheio	Sobrecarga	Vazio	Cheio	Sobrecarga	Vazio	Cheio	Sobrecarga	
ESRS	3,0	6,0	6,0	0,02	0,28	0,28	0,02	0,33	0,33	
ESRD	5,0	10,0	10,0	0,13	3,29	3,29	0,12	2,39	2,39	
ETD	7,0	17,0	17,0	0,14	8,55	8,55	0,04	1,64	1,64	
ETT	9,0	25,5	25,5	0,13	9,30	9,30	0,02	1,56	1,56	
nº de eixos	Tipo de veículo	Distribuição		ESRS	ESRD	ETD	ETT	FV USACE	FV AASHTO	
2	2C	17,8%		1	1			2,9	2,2	
3	3C	31,9%		1		1		7,1	1,6	
4	2S2	7,8%		1	1	1		9,8	3,5	
5	2S3	9,6%		1	1		1	10,3	3,5	
6	3S3	29,2%		1		1	1	14,6	2,8	
7	3D4	2,6%		1		3		20,8	4,2	
8	3D5	0,0%		1	1	3		23,5	6,2	
9	3T6	1,1%		1		4		27,7	5,6	
TOTAL		100%					FV FROTA		9,6	2,5
NÚMERO N - POR ANO DE PROJETO										
Ano	Ano de Projeto	VDMa	N USACE		N AASHTO					
			Anual	Acumulado	Anual	Acumulado				
2.016		2.943	1,0 E+07		2,7 E+06					
2.017		3.017	1,1 E+07		2,8 E+06					
2.018		3.092	1,1 E+07		2,8 E+06					
2.019	1	3.169	1,1 E+07	1,1 E+07	2,9 E+06	2,9 E+06				
2.020	2	3.249	1,1 E+07	2,3 E+07	3,0 E+06	5,9 E+06				
2.021	3	3.330	1,2 E+07	3,4 E+07	3,0 E+06	8,9 E+06				
2.022	4	3.413	1,2 E+07	4,6 E+07	3,1 E+06	1,2 E+07				
2.023	5	3.498	1,2 E+07	5,9 E+07	3,2 E+06	1,5 E+07				
2.024	6	3.586	1,3 E+07	7,1 E+07	3,3 E+06	1,9 E+07				
2.025	7	3.675	1,3 E+07	8,4 E+07	3,4 E+06	2,2 E+07				
2.026	8	3.767	1,3 E+07	9,7 E+07	3,4 E+06	2,5 E+07				
2.027	9	3.861	1,4 E+07	1,1 E+08	3,5 E+06	2,9 E+07				
2.028	10	3.958	1,4 E+07	1,2 E+08	3,6 E+06	3,2 E+07				

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

#### 7.2.1.1 Estudos Geotécnicos

Os estudos geotécnicos foram realizados para obter informações sobre as camadas do pavimento, como espessuras, materiais constituintes e coleta de material do subleito, por meio de: poços de inspeção; espessuras dos corpos de prova das camadas asfáltica, por meio de sondagens rotativas; e até mesmo o Dynamic Cone Penetrometer (DCP), os quais são complementados por ensaios em laboratório. Estes estudos são baseados em investigações geotécnicas - realizadas para este projeto (novembro de 2017) ou disponíveis de intervenções anteriores (novembro de 2012, setembro de 2002 e novembro de 2001).

Os poços de inspeção foram executados utilizando-se perfuratriz até se atingir o subleito. Então, mediu-se as espessuras de cada camada com uma trena e elas foram caracterizadas por um técnico habilitado. Foram realizadas também coletas de amostras do subleito devidamente encaminhadas para ensaios laboratoriais. Após todos esses procedimentos, foi feito o fechamento dos poços, constituindo as camadas com até 20 cm de material granular e na camada de rolamento, foi adotado o uso de PMF (pré-misturado a frio), objetivando a liberação imediata da rodovia. Seus resultados podem ser vistos nas tabelas 3 e 4.

As sondagens rotativas, cujos resultados encontram-se na tabela 5, utilizaram também perfuratriz e foram realizadas até a camada da base, para ser possível retirar o corpo de prova da camada de revestimento asfáltico e enviá-lo ao laboratório para registro fotográfico e determinação da espessura. A recomposição do material foi realizada da mesma forma descrita dos poços de inspeção.

Os ensaios laboratoriais foram feitos para se determinar curva granulométrica dos materiais, limites de liquidez e plasticidade e Índice de Suporte Califórnia. Foram realizados também ensaios de compactação na energia Normal (tabelas 6 e 7).

Por fim, houve a execução do Dynamic Cone Penetrometer, cujo objetivo é medir a resistência e espessura das camadas, bem como pode ser correlacionado com outros índices, como o CBR, já explicado anteriormente.

Tabela 3 - Poços de Inspeção – Intervenções Anteriores – Pista Leste

POÇOS DE INSPEÇÃO - PISTA LESTE							
RODOVIA	KM	PISTA	FAIXA	DATA SOND.	INFORMAÇÕES DAS CAMADAS		
					Nº	MATERIAL	ESP. (cm)
SP-280	310+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	5,0
					2	CBUQ	13,5
					3	Solo-Cimento	16,5
SP-280	295+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	3,0
					2	CBUQ (Binder)	12,0
					3	Solo-Cimento	18,0
SP-280	280+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	4,0
					2	CBUQ (Binder)	12,0
					3	Solo-Cimento	19,0
SP-280	265+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	8,3
					2	CBUQ (Binder)	3,7
					3	Solo-Cimento	31,0
SP-280	250+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	6,0
					2	CBUQ (Binder)	3,5
					3	Solo-Cimento	40,5
SP-280	240+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	4,5
					2	CBUQ (Binder)	13,5
					3	Solo-Cimento	22,0
SP-280	215+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	12,0
					2	PMF ou TS	2,5
					3	Solo-Cimento	29,5
SP-280	200+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	11,5
					2	PMF ou TS	2,5
					3	Solo-Cimento	28,0
SP-280	145+000	LESTE	2	07/11/2001	1	CBUQ	5,5
					2	CBUQ	12,5
					3	CBUQ	5,0
					4	Silte extratificado, muito duro	12,0

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Tabela 4 – Poços de Inspeção – 4ª Intervenção – Pista Leste

POÇO DE INSPEÇÃO - PISTA LESTE										
DATA	PI	KM	FAIXA	SENTIDO	COORDENADAS		ESPESSURA (cm)			
					N	E	CAMADA DE ROLAMENTO	CARACTERIZAÇÃO	BASE	CARACTERIZAÇÃO
17/10/2017	17	135+600	2	LESTE	7.424.900	206.857	26,5	CAUQ	13	SOLO CIMENTO
17/10/2017	18	153+680	2	LESTE	7.426.091	802.760	20	CAUQ	20	SOLO CIMENTO
17/10/2017	19	161+600	2	LESTE	7.427.008	795.124	21,5	CAUQ	10	MACADAME
19/10/2017	20	186+900	2	LESTE	7.435.727	772.260	22,5	CAUQ	30	SOLO CIMENTO
19/10/2017	21	197+040	2	LESTE	7.438.702	762.614	20	CAUQ	35	SOLO CIMENTO
19/10/2017	22	201+280	2	LESTE	7.440.177	758.653	19,5	CAUQ	30	SOLO CIMENTO
19/10/2017	23	207+520	2	LESTE	7.444.560	755.238	21	CAUQ	15	SOLO CIMENTO
18/10/2017	24	223+320	2	LESTE	7.451.267	741.049	17,5	CAUQ	26,5	SOLO CIMENTO
18/10/2017	25	236+080	2	LESTE	7.456.151	729.220	17,5	CAUQ	28	SOLO CIMENTO
18/10/2017	26	250+080	2	LESTE	7.460.732	716.346	19	CAUQ	20	SOLO CIMENTO
18/10/2017	27	255+120	2	LESTE	7.461.514	711.317	12,5	CAUQ	26	SOLO CIMENTO
18/10/2017	28	278+270	2	LESTE	7.469.434	689.827	25	CAUQ	11,5	SOLO CIMENTO
18/10/2017	29	291+560	2	LESTE	7.475.151	678.394	19	CAUQ	13	SOLO CIMENTO
06/09/2017	30	301+200	2	LESTE	7.477.275	669.175	21	CAUQ	17	SOLO CIMENTO
06/09/2017	31	313+960	2	LESTE	7.484.734	658.971	15	CAUQ	12	SOLO BRITA

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Tabela 5 - Sondagens rotativas - 4ª interferência - Pista Leste

Sondagens Rotativas - Pista Leste							
Rodovia	km	Sondagem Rotativa	Pista	Faixa	Data Sondagem	Material	Espessura
SP-280	141+000	SR-23	LESTE	2	2017	CAUQ	19
SP-280	149+000	SR-24	LESTE	2	2017	CAUQ	21
SP-280	169+000	SR-25	LESTE	2	2017	CAUQ	19,5
SP-280	180+000	SR-26	LESTE	2	2017	CAUQ	20
SP-280	184+000	SR-27	LESTE	2	2017	CAUQ	24,5
SP-280	191+000	SR-28	LESTE	2	2017	CAUQ	18
SP-280	217+000	SR-29	LESTE	2	2017	CAUQ	18
SP-280	228+000	SR-30	LESTE	2	2017	CAUQ	14,5
SP-280	242+000	SR-31	LESTE	2	2017	CAUQ	13,5
SP-280	246+000	SR-32	LESTE	2	2017	CAUQ	13,5
SP-280	262+000	SR-33	LESTE	2	2017	CAUQ	13,5
SP-280	268+000	SR-34	LESTE	2	2017	CAUQ	24,5
SP-280	274+000	SR-35	LESTE	2	2017	CAUQ	20
SP-280	284+000	SR-36	LESTE	2	2017	CAUQ	24
SP-280	298+000	SR-37	LESTE	2	2017	CAUQ	17
SP-280	307+000	SR-38	LESTE	2	2017	CAUQ	22

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Tabela 6 - Ensaios - 4ª Intervenção – Pista Leste

PI	Km	Classificação Tátil visual	Compactação e CBR - Energia				Classificação HRB			HRB	Classificação MCT - Método da Partilha
			Umidade ótima (%)	Dens. Seca Máx. (g/cm³)	CBR (%)	Expansão (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)		
1	136+720	Areia Argilosa	12,9	1,851	12	0,00	36	30	6	A-2-4	LA'
2	142+440	Areia Argilosa	15,7	1,795	9	0,20	43	31	12	A-2-7	LA'
3	153+620	Areia Argilosa	17,0	1,632	7	0,20	45	31	14	A-7-5	LA'·LG'
4	164+400	Areia Argilosa	12,5	1,810	9	0,20	30	17	13	A-2-6	LA'
5	199+300	Areia Argilosa	13,3	1,893	11	0,30	36	23	13	A-6	LA'
6	207+000	Areia Argilosa	16,1	1,750	9	0,40	35	21	14	A-6	LA'
7	219+240	Areia Argilosa	12,1	1,906	9	0,40	31	19	12	A-6	LA'
8	132+920	Areia Argilosa	12,6	1,891	10	0,40	29	21	8	A-4	LA'
9	239+280	Areia Argilosa	14,4	1,898	8	0,40	30	21	9	A-4	LA'
10	248+400	Areia Argilosa	12,1	1,946	12	0,50	37	22	15	A-6	LA'
11	251+920	Areia Argilosa	12,4	1,892	11	0,50	39	29	10	A-2-4	LA'
12	263+960	Areia Argilosa	12,1	1,908	7	0,90	42	26	16	A-2-7	LA'
13	276+160	Areia Argilosa	13,4	1,881	10	0,50	44	27	17	A-2-7	LA'
14	286+600	Areia Argilosa	12,7	1,873	9	0,30	40	25	15	A-6	LA'
15	300+000	Areia Argilosa	14,3	1,860	10	0,50	31	19	12	A-6	LA'·LG'
16	314+240	Areia Argilosa	14,2	1,826	13	0,20	29	21	8	A-4	LA'

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Tabela 7 - Ensaio - 4ª Intervenção - Pista Leste

PI	Km	Granulometria e sedimentação - % passante													
		Abertura das peneiras (mm)													
		38,0	25,4	19,1	9,51	4,76	2,00	1,2	0,59	0,42	0,25	0,14	0,075	■ 0,060	■ 0,002
1	136+720	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,90	99,70	98,50	94,50	77,70	44,30	23,20	4,10	12,00
2	142+440	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,40	99,30	99,20	98,50	79,40	56,00	23,20	17,30	16,20
3	153+620	100,00	100,00	100,00	96,60	95,00	93,30	91,50	84,20	75,50	62,80	52,90	45,10	3,40	40,00
4	164+400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,10	94,10	77,20	53,80	34,30	10,90	21,70
5	199+300	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,80	98,90	93,60	66,60	50,80	38,70	10,90	26,00
6	207+000	100,00	100,00	100,00	96,50	87,50	80,70	75,80	69,20	65,10	56,70	45,60	40,90	9,70	27,60
7	219+240	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,40	99,40	95,80	74,30	56,20	36,20	8,60	27,00
8	132+920	100,00	100,00	100,00	99,90	99,80	99,70	99,40	99,40	97,00	80,00	46,70	38,50	9,20	28,60
9	239+280	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,80	97,90	85,10	64,70	43,20	5,20	36,80
10	248+400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,30	99,30	96,10	80,10	46,70	39,10	15,40	24,10
11	251+920	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	99,40	95,70	78,70	43,60	32,90	13,20	17,50
12	263+960	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,90	98,90	93,00	70,70	39,90	30,30	10,80	18,60
13	276+160	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,70	99,70	94,70	75,80	45,30	34,90	10,30	22,90
14	286+600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,60	99,60	95,90	76,80	51,00	36,20	15,40	21,00
15	300+000	100,00	100,00	100,00	100,00	99,60	98,90	99,70	99,20	97,00	83,10	58,00	89,70	3,30	39,20
16	314+240	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,40	97,40	83,30	52,80	43,60	10,90	32,50

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

#### 7.2.1.2 Caracterização Estrutural e Funcional do Pavimento Existente

Originalmente, a maior parte da estrutura do pavimento do trecho analisado da SP-280 é semirrígido, constituído por camada de base de solo-cimento. Porém há algumas exceções em que se verifica a presença de base em macadame, devido às intervenções localizadas. A camada de revestimento é composta de concreto asfáltico, com recobrimento de microrrevestimento asfáltico a frio. As espessuras da base se encontram entre 14,0 cm e 20,0 cm e as espessuras de revestimento asfáltico variaram de 10,0 cm a 26,5 cm.

Além disso, o pavimento não manifesta problemas nos comportamentos estrutural e funcional, apresentando baixos níveis deflectométricos, dentro dos limites estabelecidos, e pequena incidência de defeitos superficiais.

A caracterização estrutural e funcional do pavimento existente foi realizada com base no levantamento de defeitos e determinação dos seguintes parâmetros das condições do pavimento remanescente:

- Deflexões recuperáveis com *FWD (Falling Weight Deflectometer)* na faixa de tráfego mais carregada (faixa 2);
- Irregularidade longitudinal (QI) em todas as faixas de tráfego;
- Trincamento (FC2, FC3) em todas as faixas de tráfego;
- Afundamento de Trilha de Roda (flecha) em todas as faixas de tráfego.

Para complementar e avaliar mais detalhadamente a condição da superfície do pavimento foi realizado Levantamento Visual Detalhado (LVD) para o mapeamento dos seguintes defeitos:

- Trincas isoladas (transversais, longitudinais, de retração) e trincas interligadas (“jacaré” e bloco);
- Afundamentos (plásticos e de consolidação);
- Escorregamento;
- Desgaste;
- Remendo.

Após a análise dos valores das deflexões individuais (picos de deflexão) e das condições funcionais do pavimento obtidos com o LVD, foi realizada a vistoria técnica de campo a fim de averiguar uma possível associação dessas patologias à falhas de drenagem, devido à deficiência ou até mesmo a inexistência de drenos, tanto subsuperficiais - drenos de pavimento - e/ou drenos profundos.

Parte da conclusão é que, de modo geral, toda a extensão da rodovia apresentava sistema de drenagem subsuperficial e profunda, com exceção de segmentos onde são previstos reparos profundos. Nestes casos, a solução proposta foi a implantação de drenos subsuperficiais.

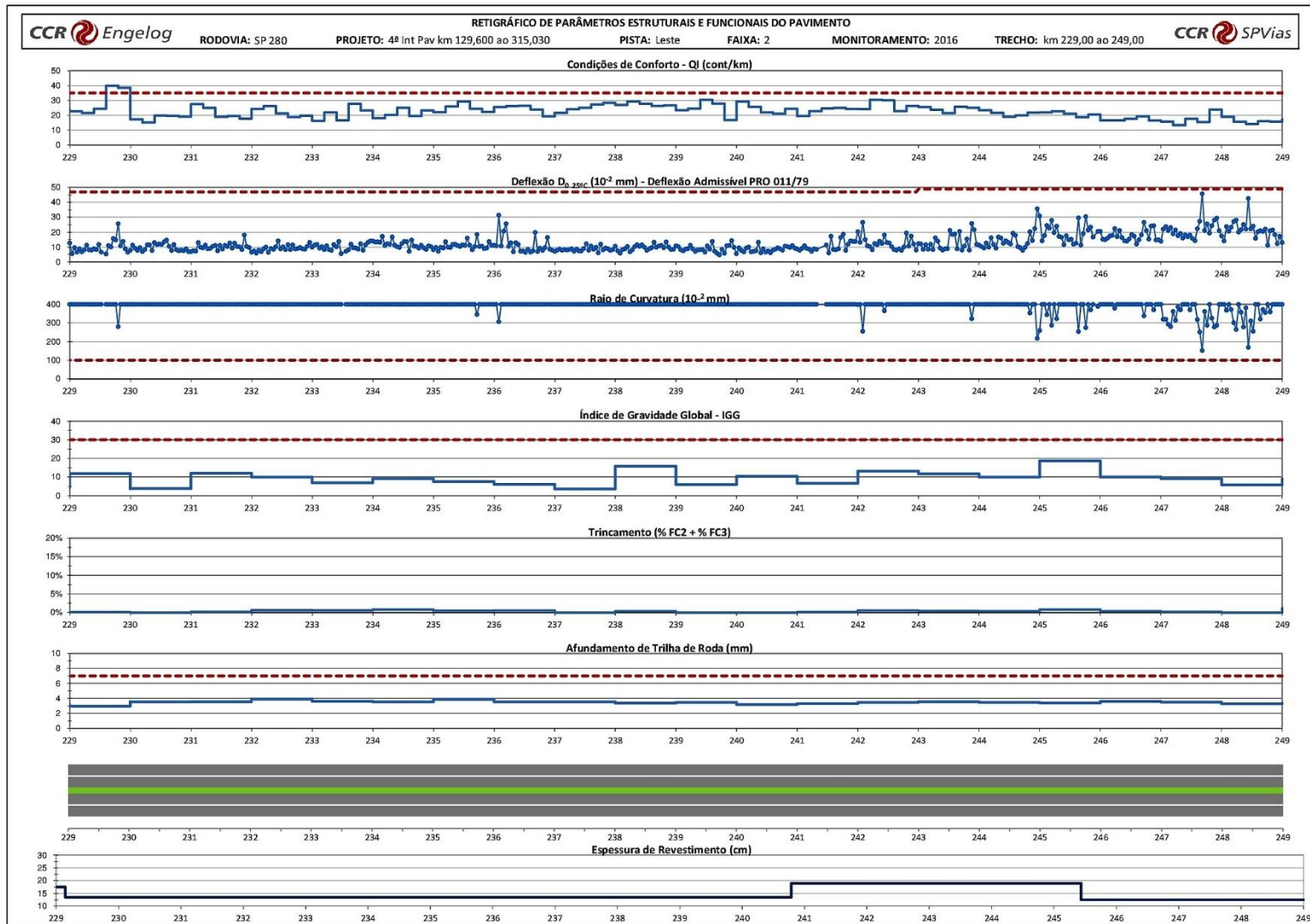
A seguir encontram-se a os parâmetros de caracterização encontrados em uma extensão de pista (tabela 8), bem como o retráfico unifilar (gráfico 2) e a síntese dos índices de monitoramento (9).

Tabela 8 - Parâmetros Funcionais e Estruturais do Pavimento - 4ª Intervenção – Pista Leste Faixa 2

SEGMENTOS HOMOGÊNEOS - LESTE				PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DOS ÍNDICES DO PAVIMENTO						
Nº	KM INICIAL	KM FINAL	EXTENSÃO (m)	Dc (0,01 mm)	RC (m)	IGG	%FC2	%FC3	AF/ATR (mm)	QI (Cont./km)
92	219,000	219,420	0,420	17,0	554	4,54	0,2%	0,0%	3,7	15
93	219,420	219,940	0,520	11,0	983	4,54	0,2%	0,0%	3,7	15
94	219,940	221,340	1,400	19,7	624	11,88	1,1%	0,0%	3,6	25
95	221,340	223,100	1,760	13,7	803	8,58	0,4%	0,0%	3,4	23
96	223,100	223,660	0,560	21,3	372	14,14	0,2%	0,0%	3,6	27
97	223,660	225,660	2,000	9,9	1169	5,90	0,1%	0,0%	3,5	25
98	225,660	227,660	2,000	9,5	1150	4,43	0,3%	0,0%	3,3	22
99	227,660	229,660	2,000	10,3	1009	6,75	0,2%	0,0%	3,1	25
100	229,660	231,660	2,000	11,6	1090	7,87	0,1%	0,0%	3,4	21
101	231,660	233,660	2,000	11,5	913	9,38	0,5%	0,1%	3,7	22
102	233,660	235,660	2,000	13,5	732	8,26	0,6%	0,0%	3,7	22
103	235,660	236,040	0,380	14,2	595	7,41	0,5%	0,0%	3,8	25
104	236,040	236,220	0,180	31,1	329	6,05	0,5%	0,0%	3,5	24
105	236,220	238,220	2,000	11,4	997	5,80	0,2%	0,0%	3,5	25
106	238,220	240,220	2,000	11,3	989	10,34	0,1%	0,0%	3,4	26
107	240,220	241,540	1,320	11,0	1003	8,93	0,1%	0,0%	3,2	24
108	241,540	243,000	1,460	18,6	485	11,01	0,4%	0,0%	3,4	26
109	243,000	243,500	0,500	14,6	604	11,69	0,4%	0,0%	3,6	24
110	243,500	243,940	0,440	23,9	397	11,69	0,4%	0,0%	3,6	24
111	243,940	244,900	0,960	17,3	573	10,06	0,4%	0,0%	3,5	21
112	244,900	245,300	0,400	31,7	265	16,03	0,7%	0,0%	3,4	21
113	245,300	245,620	0,320	17,6	576	18,65	0,8%	0,0%	3,4	21
114	245,620	247,020	1,400	23,8	391	12,52	0,5%	0,0%	3,5	18
115	247,020	247,580	0,560	23,4	318	9,18	0,2%	0,0%	3,5	17
116	247,580	248,540	0,960	28,5	291	7,33	0,1%	0,0%	3,4	17
117	248,540	249,000	0,460	23,3	381	5,76	0,0%	0,0%	3,3	16

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Gráfico 2 - Retigráfico de parâmetros estruturais e funcionais do pavimento



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Tabela 9 - Síntese dos índices de monitoramento

DIAGRAMA UNIFILAR RESUMO DOS ÍNDICES DO PAVIMENTO										
<b>Lote:</b> 20 <b>Rodovia:</b> SP-280 <b>Trecho:</b> km 315+034 ao km 129+600 <b>Pista:</b> Leste		<i>Obs: (1) O início das atividades de conservação de rotina deverá ser imediato, tão logo sejam detectados os segmentos com índices fora dos limites estipulados em edital.                  (2) O valor de Dadm é o mesmo considerado no projeto da última obra de conservação especial de pavimento ou poderá ser admitido com base em dados de tráfego da última intervenção no pavimento, considerando-se o período de projeção até a próxima obra de conservação especial.</i>						Informação da data dos levantamentos IGG: ago a nov-16    ICP: - QI / IRI: ago -16 Dadm: mar/13 ATR: ago a nov-16		Ano de Concessão: 17º
<b>LEGENDA</b>										
SP-280	QI (m/km) ≥ 30	ATR (mm) ≥ 5	IGG ≥ 20	FC-2 ≥ 10%	FC-3 ≥ 1%	IRI (m/km) < 2,3	Dc ≤ 0,85 × D <sub>adm</sub>	ICP ≥ 70	Não avaliado	
	30 < QI (m/km) < 35	5 < ATR (mm) < 7	20 < IGG < 30	10% < FC-2 < 15%	1% < FC-3 < 2%	2,3 < IRI (m/km) < 2,7	0,85 × D <sub>adm</sub> < Dc < D <sub>adm</sub>	60 < ICP < 70		
	QI (m/km) ≥ 35	ATR (mm) ≥ 7	IGG ≥ 30	FC-2 ≥ 15%	FC-3 ≥ 2%	IRI (m/km) > 2,7	Dc ≥ D <sub>adm</sub>	ICP ≤ 60		

km inicial	km final	Faixa 1								Faixa 2								Acost.					
		Dadm (2)	Dc	IRI	QI	ATR	IGG	ICP	%FC-2	%FC-3	Dadm (2)	Dc	IRI	QI	ATR	IGG	ICP	%FC-2	%FC-3	IGG			
249,0	248,0			1,20	15,66	3,04	3,09			0,00	0,00	52,00	29,07	1,24	16,12	3,29	5,76			0,00	0,00		0,00
248,0	247,0			1,26	16,35	3,02	3,12			0,00	0,00	52,00	30,04	1,33	17,24	3,49	9,18			0,20	0,00		17,20
247,0	246,0			1,35	17,61	2,75	2,81			0,00	0,00	52,00	21,94	1,33	17,32	3,61	10,06			0,36	0,00		3,20
246,0	245,0			1,25	16,22	2,95	3,00			0,00	0,00	52,00	26,38	1,61	20,97	3,38	18,65			0,80	0,00		8,00
245,0	244,0			1,25	16,21	2,95	3,01			0,00	0,00	52,00	21,45	1,63	21,19	3,46	9,91			0,36	0,00		4,40
244,0	243,0			1,61	20,91	3,12	3,24			0,00	0,00	52,00	19,71	1,87	24,29	3,56	11,69			0,40	0,00		0,00
243,0	242,0			1,69	21,95	3,04	3,98			0,20	0,00	46,00	19,01	2,05	26,70	3,45	13,13			0,52	0,00		0,00
242,0	241,0			1,52	19,82	3,19	3,26			0,00	0,00	46,00	15,37	1,79	23,25	3,30	6,59			0,16	0,00		0,00
241,0	240,0			1,56	20,27	3,26	3,30			0,00	0,00	46,00	10,83	1,88	24,47	3,18	10,45			0,00	0,00		0,00
240,0	239,0			1,71	22,18	3,34	4,18			0,12	0,00	46,00	11,10	1,89	24,58	3,45	5,93			0,00	0,00		12,80
239,0	238,0			1,75	22,71	3,22	3,28			0,00	0,00	46,00	11,47	2,11	27,41	3,35	15,83			0,36	0,00		1,60
238,0	237,0			1,88	24,39	3,10	6,02			0,12	0,00	46,00	9,84	1,94	25,28	3,53	3,59			0,00	0,00		6,40
237,0	236,0			1,90	24,66	3,12	4,03			0,20	0,00	46,00	18,32	1,87	24,26	3,55	6,05			0,52	0,00		12,80
236,0	235,0			2,11	27,49	3,29	4,95			0,20	0,00	46,00	13,40	1,91	24,80	3,85	7,56			0,48	0,00		24,00
235,0	234,0			1,84	23,87	3,11	4,82			0,32	0,00	46,00	14,13	1,63	21,22	3,54	9,19			0,80	0,00		22,80
234,0	233,0			1,55	20,20	3,13	3,99			0,24	0,00	46,00	12,25	1,63	21,16	3,61	6,92			0,40	0,16		18,80
233,0	232,0			1,50	19,48	3,22	3,26			0,00	0,00	46,00	10,98	1,70	22,04	3,89	10,00			0,60	0,00		20,00
232,0	231,0			1,75	22,75	3,05	3,11			0,00	0,00	46,00	11,32	1,67	21,76	3,57	12,04			0,20	0,00		27,60
231,0	230,0			1,66	21,64	2,92	3,04			0,00	0,00	46,00	11,18	1,40	18,24	3,55	3,76			0,00	0,00		0,00
230,0	229,0			1,79	23,28	2,67	2,85			0,00	0,00	46,00	14,09	2,26	29,36	2,94	11,87			0,12	0,00		0,00
229,0	228,0			1,73	22,46	2,90	4,61			0,16	0,00	46,00	10,43	1,81	23,47	3,18	4,40			0,22	0,00		3,16
228,0	227,0			1,38	17,98	3,01	3,06			0,00	0,00	46,00	9,41	1,66	21,61	3,27	4,14			0,25	0,00		7,14
227,0	226,0			1,55	20,12	2,69	2,75			0,00	0,00	46,00	9,42	1,74	22,57	3,31	4,97			0,40	0,00		8,00
226,0	225,0			1,38	17,99	2,66	2,73			0,00	0,00	46,00	10,33	1,68	21,81	3,40	3,47			0,00	0,00		0,80

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

### 7.3 METODOLOGIA DE PROJETO

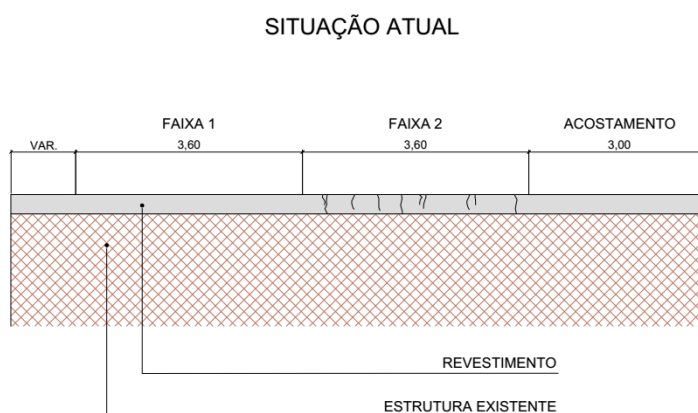
A partir de todos os estudos preliminares e monitoramento constante, chega-se a um diagnóstico do estado do pavimento, o qual utiliza o recurso de segmentação homogênea, a ser explicado a seguir. Após a determinação da atual situação da pista, determina-se a solução a ser adotada, utilizando-se métodos normatizados de cálculos.

#### 7.3.1 Diagnóstico do Pavimento

Com base nos principais parâmetros caracterizadores das condições do pavimento, comenta-se a seguir sobre o comportamento estrutural e funcional dele. De modo geral, o pavimento apresenta bom comportamento ao longo de toda a extensão do trecho, com baixos níveis deflectométricos e boa condição funcional. Observam-se segmentos curtos/pontos localizados com níveis deflectométricos mais elevados que necessitavam de um reforço estrutural em concreto asfáltico ou a execução de reparo profundo.

Nos aclives longos, foi identificada a existência de afundamentos de trilha de roda que, apesar de estarem inferiores aos parâmetros de desempenho, provavelmente atingirão o limite no decorrer do período de projeto. Abaixo, na figura 24, tem-se a representação da situação atual:

Figura 24 - Seção do pavimento com representação de defeitos atualmente



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Foi utilizada a técnica de segmentação homogênea do trecho, baseada nos comportamentos estrutural e funcional citados, bem como nas solicitações de tráfego, geometria da seção transversal e constituição das estruturas de pavimento existente.

#### 7.3.1.1 Segmentação Homogênea do Pavimento

A metodologia para se realizar a segmentação homogênea levou em consideração a análise conjunta dos seguintes aspectos e parâmetros do pavimento:

- Características de solicitação de tráfego, delimitando segmentos que apresentem semelhanças sob esse aspecto;
- Características da seção transversal, considerando o número de faixas de tráfego, delimitando segmentos dotados de faixas adicionais;
- Constituição das estruturas de pavimento existente, considerando variações de tipo de estrutura, espessura do revestimento asfáltico, constituição das camadas, natureza dos materiais do subleito, etc;
- Condições estruturais do pavimento, expressas pelas deflexões individuais *FWD* normalizadas quanto à temperatura do revestimento do pavimento (cálculo das deflexões *FWD* a 25° C), convertidas para valores de referência de deflexões individuais com viga Benkelman, bem como pelo raio de curvatura da bacia de deformação (*Rc*);
- Condições de conforto utilizando a irregularidade longitudinal - *QI* (cont/km);
- Condições da superfície do pavimento, expressas pelo *IGG* e trincamento classe 2 e 3 (%*FC2* + %*FC3*);
- Flechas ou Afundamento nas Trilhas de Roda (*ATR*)

A segmentação homogênea do trecho foi realizada por meio da determinação dos segmentos do pavimento de mesmo comportamento/desempenho estrutural e funcional, incluindo também os demais aspectos mencionados (solicitações de tráfego, número de faixas de rolamento e composição estrutural do pavimento existente).

Para cada segmento homogêneo foi realizado estudo estatístico e determinação dos seguintes parâmetros caracterizadores do comportamento do pavimento:

- Deflexão, com determinação da deflexão característica ( $D_c = D_o + \sigma$ );
- Raio de curvatura da bacia de deformação, com a determinação do raio de curvatura característico ( $R_c$ ) da bacia característica representativa do segmento homogêneo;
- Índice de Gravidade Global (IGG);
- Média do trincamento classe 2 (% FC2);
- Média do trincamento classe 3 (% FC3);
- Média das flechas nas trilhas de roda (ATR);
- Média do QI.

### 7.3.2 Cálculos de Dimensionamento Estrutural do Pavimento

Em relação ao reforço estrutural, escopo do presente trabalho, foi realizado o dimensionamento de acordo o Procedimento DNER-PRO 11/79 - “Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis” - Procedimento “B”, o qual foi detalhado anteriormente, nesse trabalho. Porém, etapas preliminares foram realizadas para então aplicar-se o método.

Primeiramente, as deflexões individuais foram obtidas com *FWD* e precisavam ser normalizadas quanto à temperatura do revestimento do pavimento, ou seja, foi feito o cálculo das deflexões *FWD* a 25°C. A correção das deflexões individuais obtidas com *FWD* para a temperatura de 25°C, considerada a espessura do revestimento, foi realizada com base nas seguintes equações:

$$D_{FWD}(25^{\circ} C) = D_{FWD}(t^{\circ}) \times F \quad \text{Equação 28}$$

$$F = e^{(n \times (25^{\circ} - t^{\circ}))} \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

t: temperatura do revestimento do pavimento durante a determinação da deflexão *FWD*;

n: variável em função da espessura do revestimento asfáltico, conforme quadro a seguir.

Tabela 10– Parâmetro n em função da espessura do revestimento

<b>H<sub>rev</sub> (cm)</b>	<b>n</b>
3	0,00196
6	0,00467
10	0,00836
15	0,0115
20	0,01339

Fonte:Engellog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Tal correlação é oriunda de regressões múltiplas dos gráficos apresentados na publicação DNER 691/50 – “Influência das Cargas, Temperaturas e Estações nas Deflexões” – RJ, 1982.

As deflexões características resultantes de cada segmento homogêneo foram então convertidas para valores de referência de deflexões com viga Benkelman com base na seguinte correlação (PINTO, S. 1991):

$$D_B = -5,73 + 1,396 \times D_{FWD} \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

$D_B$  = deflexão característica obtida por viga Benkelman;

$D_{FWD}$  = deflexão característica obtida por *FWD*.

Um fator de redução da deflexão admissível foi adotado para as estruturas de pavimento com camadas de base cimentada. O quadro com os fatores de redução encontra-se abaixo:

Quadro 15 - Fatores de redução da deflexão admissível

<b>Condição inferida da camada cimentada</b>	<b>Risco de trincamento durante o período de vida útil considerado</b>	<b>Coefficiente redutor da deflexão admissível</b>
Íntegra	Médio a alto	0,50
Parcialmente deteriorada	Médio a alto	0,70

Totalmente deteriorada	Baixo a médio	0,85
------------------------	---------------	------

Fonte:Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Na determinação da condição da camada cimentada, podem ocorrer equívocos, pois observar visualmente o trincamento superficial apenas na área de ocorrência do defeito não necessariamente revela a condição real em todo o trecho. Além disso, a análise visual para a classificação (“íntegra”, “parcialmente deteriorada” e “totalmente deteriorada”) leva em consideração a subjetividade do avaliador e apenas a condição superficial.

Visando utilizar uma metodologia objetiva que, minimize os equívocos mencionados, a concessionária desenvolveu um método de avaliação da condição estrutural média da camada cimentada, em cada um dos segmentos homogêneos, para a classificação da deterioração da base cimentada. Tal metodologia apresenta as seguintes etapas:

- I. Cálculo do Raio de Curvatura Característico de cada segmento homogêneo, sabendo-se que o raio de curvatura de uma bacia de deflexão é um indicativo da condição estrutural da base;
- II. Com auxílio do *software Elsym5*, foram feitas simulações de estruturas de pavimento, variando-se as espessuras das camadas e o Módulo de Resiliência da camada cimentada;
- III. Foi realizada uma correlação entre o módulo de resiliência da camada cimentada e raio de curvatura da bacia de deflexão. De maneira geral, para pavimentos semirrígidos, a correlação resultante entre o raio de curvatura, o módulo de resiliência e sua classificação se encontra na tabela 24.

Ou seja, foi determinado o intervalo de “raios de curvatura” correspondentes a bases íntegras, parcialmente deterioradas e totalmente deterioradas, as quais tinham certos módulos de resiliência a partir de simulações no *software*, como mostra o quadro 16.

Quadro 16 - Correlação entre raio de curvatura, bacía de deflexão e classificação

Raio de Curvatura	Módulo de Resiliência (kgf/cm <sup>2</sup> )	Classificação
> 800	> 70000	Íntegra
500 < R <sub>c</sub> < 800	20000 < MR < 70000	Parcialmente deteriorada
< 500	< 20000	Totalmente deteriorada

Fonte: Engelog- Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Vale lembrar que uma base que apresente raio de curvatura inferior a 100 é passível de reconstrução. Na tabela 11, há um exemplo da aplicação do método de projeto em uma extensão da pista.

Tabela 11 - Dimensionamento DNER-PRO 011/79 - Pista Leste - Faixa 2

Seg. Homog.	Início (km)	Fim (km)	Extensão (km)	R <sub>c</sub> (m)	D <sub>c</sub> FWD (10 <sup>-2</sup> mm)	D <sub>c</sub> FWD 25°C (10 <sup>-2</sup> mm)	D <sub>c</sub> - VBK 25°C (10 <sup>-2</sup> mm)	Tipo de Base Existente	Coeficiente multiplicativo (Dadm)	Número N			PRO 11		
										N <sub>pista</sub>	Fator de Faixa	N <sub>FAIXA</sub>	D <sub>p</sub> (10 <sup>-2</sup> mm)	D <sub>adm</sub> (10 <sup>-2</sup> mm)	H Reforço (cm)
92	219,000	219,420	0,420	554	17,0	14,7	14,7	Cimentada	0,7	1,60E+07	0,90	1,44E+07	14,7	39,4	0
93	219,420	219,940	0,520	983	11,0	9,3	7,2	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	7,2	28,1	0
94	219,940	221,340	1,400	624	19,7	17,5	18,7	Cimentada	0,7	1,60E+07	0,90	1,44E+07	18,7	39,4	0
95	221,340	223,100	1,760	803	13,7	12,7	12,0	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	12,0	28,1	0
96	223,100	223,660	0,560	372	21,3	19,9	22,1	Cimentada	0,85	1,60E+07	0,90	1,44E+07	22,1	47,8	0
97	223,660	225,660	2,000	1169	9,9	9,1	7,0	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	7,0	28,1	0
98	225,660	227,660	2,000	1150	9,5	9,1	7,0	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	7,0	28,1	0
99	227,660	229,660	2,000	1009	10,3	10,1	8,4	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	8,4	28,1	0
100	229,660	231,660	2,000	1090	11,6	12,5	11,7	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	11,7	28,1	0
101	231,660	233,660	2,000	913	11,5	12,0	11,0	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	11,0	28,1	0
102	233,660	235,660	2,000	732	13,5	13,6	13,2	Cimentada	0,7	1,60E+07	0,90	1,44E+07	13,2	39,4	0
103	235,660	236,040	0,380	595	14,2	14,2	14,1	Cimentada	0,7	1,60E+07	0,90	1,44E+07	14,1	39,4	0
104	236,040	236,220	0,180	329	31,1	30,8	37,2	Cimentada	0,85	1,60E+07	0,90	1,44E+07	37,2	47,8	0
105	236,220	238,220	2,000	997	11,4	11,5	10,3	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	10,3	28,1	0
106	238,220	240,220	2,000	989	11,3	11,3	10,1	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	10,1	28,1	0
107	240,220	241,540	1,320	1003	11,0	10,2	8,5	Cimentada	0,5	1,60E+07	0,90	1,44E+07	8,5	28,1	0
108	241,540	243,000	1,460	485	18,6	16,7	17,6	Cimentada	0,85	1,60E+07	0,90	1,44E+07	17,6	47,8	0
109	243,000	243,500	0,500	604	14,6	12,9	12,3	Cimentada	0,7	1,25E+07	0,90	1,13E+07	12,3	41,1	0
110	243,500	243,940	0,440	397	23,9	22,1	25,2	Cimentada	0,85	1,25E+07	0,90	1,13E+07	25,2	49,9	0
111	243,940	244,900	0,960	573	17,3	16,0	16,6	Cimentada	0,7	1,25E+07	0,90	1,13E+07	16,6	41,1	0
112	244,900	245,300	0,400	265	31,7	29,5	35,4	Cimentada	0,85	1,25E+07	0,90	1,13E+07	35,4	49,9	0
113	245,300	245,620	0,320	576	17,6	16,6	17,5	Cimentada	0,7	1,25E+07	0,90	1,13E+07	17,5	41,1	0
114	245,620	247,020	1,400	391	23,8	22,7	26,0	Cimentada	0,85	1,25E+07	0,90	1,13E+07	26,0	49,9	0
115	247,020	247,580	0,560	318	23,4	20,7	23,2	Cimentada	0,85	1,25E+07	0,90	1,13E+07	23,2	49,9	0
116	247,580	248,540	0,960	291	28,5	25,5	29,9	Cimentada	0,85	1,25E+07	0,90	1,13E+07	29,9	49,9	0
117	248,540	249,000	0,460	381	23,3	20,7	23,2	Cimentada	0,85	1,25E+07	0,90	1,13E+07	23,2	49,9	0

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

## 7.4 SOLUÇÕES ADOTADAS NO TRECHO DO ESTUDO

### 7.4.1 Materiais e serviços

De acordo com as soluções propostas nos segmentos, nos quais há irregularidade longitudinal ou o afundamento de trilha de roda próximos ano nível admissível, há a necessidade de executar reforço estrutural.

Esta solução especifica as seguintes alterações nas camadas:

1. Revestimento em CAUQ faixa EGL 16-19 mm com CAP 30/45;
2. Pintura de ligação;
3. Fresagem de pavimento;
4. Pintura de ligação;
5. CAUQ descontínuo CAP polímero;

Quanto aos materiais e serviços especificados, existem algumas observações: o CAUQ descontínuo deverá ser produzido com CAP modificado por polímero tipo RET (ELVALOY 60/85) e aditivo surfactante para redução de temperatura da mistura; O CAUQ faixa EGL 16-19 mm deverá ser produzido com CAP 30/45 e aditivo surfactante também; e a pintura de ligação asfáltica a ser utilizada é a emulsão asfáltica RR-2C.

A execução de todos os serviços deve seguir diretrizes e especificações de serviços do DER/SP e especificações particulares da CCR Engelog. A especificação técnica da DER/SP sobre execução das camadas envolvendo CAUQ é a ET-DE-P00/027, em que detalham-se os materiais presentes na mistura, os equipamentos que envolvem sua produção, desde a usina asfáltica à sua aplicação, instruções sobre sua execução e controle, critérios de aceitação, controle ambiental e até mesmo critérios de medição e pagamento. Já a especificação técnica relacionada à imprimação betuminosa ligante é regulamentada pela ET-DE-P00/020, em que se encontram os mesmos detalhamentos citados para a ET-DE-P00/027.

Quadro 17 - Resumo das obras previstas e seu atendimento à vida remanescente

SP 280 - km 129,6 ao 315,03 - Soluções Atendimento à Vida Remanescente					
PISTA LESTE					
kmi	kmf	Situação / Solução Projeto	kmi	kmf	Situação / Solução Projeto
316+000	314+000	Atende V.R.	222+000	220+000	Atende V.R.
314+000	312+000	FR	220+000	218+000	Atende V.R.
312+000	310+000	Atende V.R.	218+000	216+000	Atende V.R.
310+000	308+000	FR e MRAF	216+000	214+000	Atende V.R.
308+000	306+000	FR	214+000	212+000	Atende V.R.
306+000	304+000	FR	212+000	210+000	Atende V.R.
304+000	302+000	Atende V.R.	210+000	208+000	Atende V.R.
302+000	300+000	FR e MRAF	208+000	206+000	FR
300+000	298+000	Atende V.R.	206+000	204+000	FR e MRAF
298+000	296+000	Atende V.R.	204+000	202+000	Atende V.R.
296+000	294+000	Atende V.R.	202+000	200+000	FR + MRAF
294+000	292+000	Atende V.R.	200+000	198+000	Atende V.R.
292+000	290+000	Atende V.R.	198+000	196+000	Atende V.R.
290+000	288+000	FR e MRAF	196+000	194+000	FR
288+000	286+000	FR e MRAF	194+000	192+000	Atende V.R.
286+000	284+000	FR e MRAF	192+000	190+000	Atende V.R.
284+000	282+000	FR e MRAF	190+000	188+000	Atende V.R.
282+000	280+000	FR e MRAF	188+000	186+000	Atende V.R.
280+000	278+000	FR e MRAF	186+000	184+000	Atende V.R.
278+000	276+000	FR e MRAF	184+000	182+000	Atende V.R.
276+000	274+000	FR e MRAF	182+000	180+000	Atende V.R.
274+000	272+000	FR e GAP	180+000	178+000	Atende V.R.
272+000	270+000	FR e GAP	178+000	176+000	Atende V.R.
270+000	268+000	FR e GAP	176+000	174+000	Atende V.R.
268+000	266+000	FR e GAP	174+000	172+000	FR e GAP
266+000	264+000	FR e GAP	172+000	170+000	Atende V.R.
264+000	262+000	FR e GAP	170+000	168+000	Atende V.R.
262+000	260+000	FR e GAP	168+000	166+000	Atende V.R.
260+000	258+000	FR e GAP	166+000	164+000	Atende V.R.
258+000	256+000	FR e GAP	164+000	162+000	Atende V.R.
256+000	254+000	Atende V.R.	162+000	160+000	Atende V.R.
254+000	252+000	Atende V.R.	160+000	158+000	Atende V.R.
252+000	250+000	Atende V.R.	158+000	156+000	Atende V.R.
250+000	248+000	Atende V.R.	156+000	154+000	Atende V.R.
248+000	246+000	Atende V.R.	154+000	152+000	Atende V.R.
246+000	244+000	FR e GAP	152+000	150+000	Atende V.R.
244+000	242+000	FR e GAP	150+000	148+000	Atende V.R.
242+000	240+000	FR e MRAF	148+000	146+000	Atende V.R.
240+000	238+000	FR e MRAF	146+000	144+000	Atende V.R.
238+000	236+000	FR e MRAF	144+000	142+000	Atende V.R.
236+000	234+000	FR e MRAF	142+000	140+000	Atende V.R.
234+000	232+000	FR e MRAF	140+000	138+000	Atende V.R.
232+000	230+000	FR e MRAF	138+000	136+000	FR e GAP
230+000	228+000	FR e MRAF	136+000	134+000	FR
228+000	226+000	Atende V.R.	134+000	132+000	Atende V.R.
226+000	224+000	FR	132+000	130+000	Atende V.R.
224+000	222+000	Atende V.R.	130+000	129+600	Atende V.R.

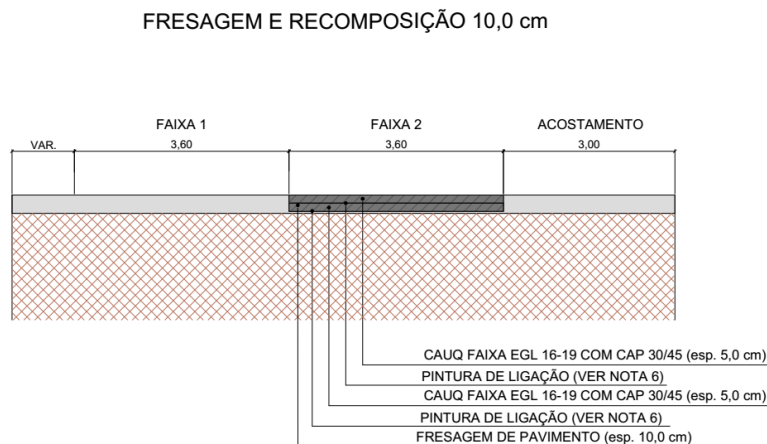
Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

### 7.4.2 Desenhos

Com base no diagnóstico do pavimento e nos resultados do dimensionamento do reforço estrutural (PRO 011/79), são previstas as seguintes intervenções no pavimento:

- Fresagem e recomposição em concreto asfáltico, espessura 10,0 cm, 5,0 cm ou 4,0 cm, nos segmentos com boa capacidade estrutural e defeitos funcionais localizados (Figura 25, 26 e 27);
- Microrrevestimento asfáltico nos segmentos com desgaste do revestimento existente e nos segmentos com fresagem e recomposição sucessivas (Figura 28);
- Reforço estrutural em *Gap Graded*, na espessura de 2,0 cm ou 3,0 cm nos segmentos na qual a irregularidade longitudinal ou o afundamento de trilha de roda estavam próximos à admissível (Figura 29);

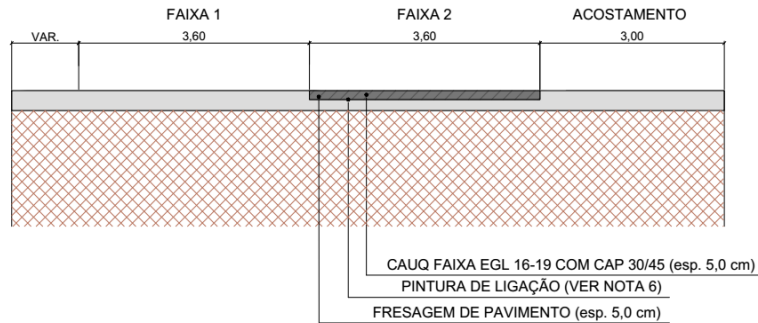
Figura 25 - Seção pós fresagem e recomposição em concreto asfáltico com espessura 10,0 cm



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Figura 26 - Seção pós fresagem e recomposição em concreto asfáltico com espessura 5,0 cm

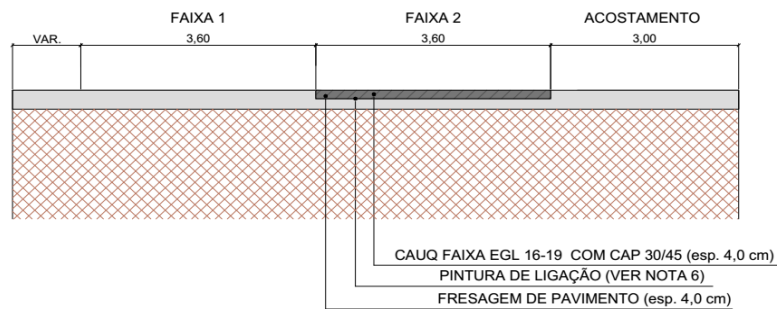
FRESAGEM E RECOMPOSIÇÃO 5,0 cm



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

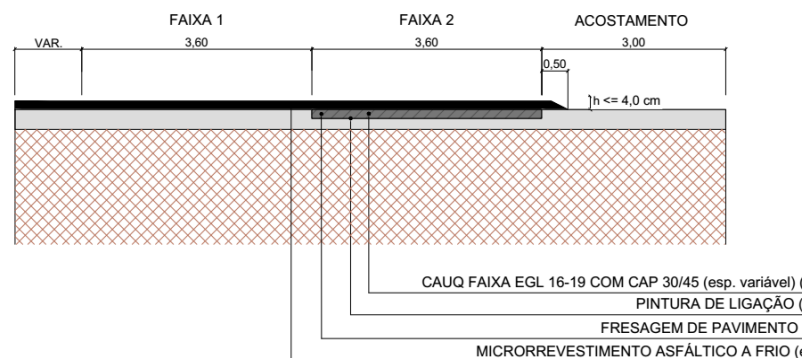
Figura 27 - Seção pós fresagem e recomposição em concreto asfáltico com espessura 4,0 cm

FRESAGEM E RECOMPOSIÇÃO 4,0 cm



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

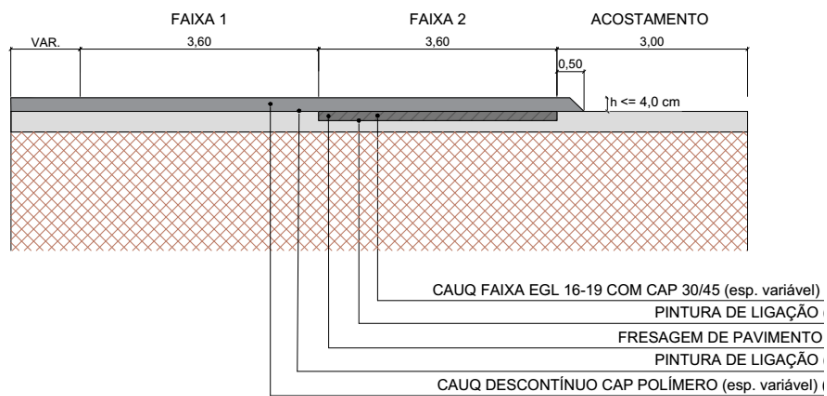
Figura 28 - Seção com aplicação de microrrevestimento  
 REVESTIMENTO EM MICRORREVESTIMENTO ASFÁLTICO A FRIO



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Figura 29 - Seção pós reforço estrutural

REVESTIMENTO/REFORÇO EM CAUQ DESCONTÍNUO



Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

## **8 A EXECUÇÃO DAS OBRAS**

### **8.1 EMPRESAS ENVOLVIDAS – RESPONSABILIDADES**

A execução da obra de reforço do estudo de caso abordado envolve algumas empresas, cujos papéis e responsabilidades devem ser definidos para haver um entendimento de todo o processo da obra.

À concessionária cabe monitorar e acompanhar aspectos funcionais, estruturais e de segurança das rodovias, realizando esse gerenciamento por meio dos métodos avaliativos citados, como ensaios geotécnicos, testes para diagnósticos de problema estruturais como os que analisam as deflexões e exames de aspectos funcionais como acompanhamento de defeitos superficiais na camada de rolagem. A partir desse gerenciamento, opta-se pela intervenção na rodovia caso se faça necessário e, para tanto, um projeto é desenvolvido com a solução a ser adotada. Porém, a execução dele não é de responsabilidade da concessionária, a qual busca uma empresa construtora terceirizada para o fazer.

A busca pela empresa que executará a obra ocorre por meio de processos de licitação, em que são informados o projeto de intervenção e a remuneração por parte da concessionária à construtora. À última compete analisar os custos da obra e averiguar se é vantajoso ou não tentar ganhar a licitação.

Uma vez que a construtora ganhe a licitação, ela se torna responsável pelo fornecimento e controle do material utilizado na intervenção, bem como a execução dela, de fato. Após a execução da obra, o responsável pela entrega do serviço respeitando os padrões de qualidade é da empresa construtora, então ela deve assegurá-los. Se tais padrões não forem respeitados, ela deve refazer o serviço.

No presente estudo de caso, a empresa construtora ganhadora da licitação aberta pela CCR, foi a Ellenco Construções LTDA, com sede localizada em Sorocaba e especializada em infraestrutura, pavimentação e usinas de asfalto.

## 8.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

### 8.2.1 Materiais

A empresa construtora obedece às especificações de materiais, como mostrado no quadro 17, e segue as especificações de serviços do DER/SP e especificações particulares da CCR Engelog, como mostrado nos quadros 18 E 19.

Quadro 18 - Tipo de material e especificações a seguir

MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAP polímero tipo RET (ELVALOY da DUPONT) 60/85E (ponto de amolecimento mínimo/recuperação elástica a 25°C mínima)</li> </ul>	DNIT 129/2011-EM - Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado por Polímero Elastomérico
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAP 30/45 com aditivo surfactante para redução de temperatura</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emulsão asfáltica impermeabilizante (EAI)</li> </ul>	Resolução nº 36, de 13/112012, da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) Regulamento Técnico ANP nº 6/2012

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Quadro 19 - Tipo de serviço e especificações a seguir

SERVIÇO	ESPECIFICAÇÃO
GAP-GRADED <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAP polímero tipo RET (ELVALOY da DUPONT) 60/85E</li> <li>• Faixa granulométrica 3 (6 mm)</li> </ul>	PARTICULAR (ENGELOG) EN-000/00-0000.00-GER-A1-PV/ES-E-018
CONCRETO ASFÁLTICO USINADO À QUENTE <ul style="list-style-type: none"> <li>• CAP 30/45 com aditivo surfactante para redução de temperatura</li> <li>• Faixa granulométrica EGL 16-19 mm (ENGELOG)</li> </ul>	DER/SP ET-DE-P00/027 PARTICULAR (ENGELOG) EN-000/00-0000.00-GER-A1-PV/ES-E-002
IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emulsão asfáltica tipo RR-2C</li> </ul>	DER/SP ET-DE-P00/020
IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emulsão asfáltica impermeabilizante (EAI)</li> </ul>	DER/SP ET-DE-P00/019
IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA DE CURA <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emulsão asfáltica impermeabilizante (EAI)</li> </ul>	DER/SP ET-DE-P00/019
RAP + BRITA + CIMENTO <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faixa granulométrica constante da especificação</li> <li>• Grau de compactação - GC <math>\geq</math> 100% (Proctor modificado)</li> <li>• Resistência à compressão simples aos 7 dias de cura: 20,0 a 25,0 kgf/cm<sup>2</sup>;</li> <li>• Resistência à compressão simples aos 28 dias de cura: 25,0 a 35,0 kgf/cm<sup>2</sup>;</li> <li>• Resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias de cura: 3,0 a 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>.</li> </ul>	DER/SP ET-DE-P00/009
MACADAME SECO <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faixa granulométrica A (camada 20 cm)</li> </ul>	DER/SP ET-DE-P00/011 PARTICULAR (ENGELOG) EN-SP000/00-0000.00-GER-A1-PV/ES.E-009

Fonte: Engelog - Projeto Executivo de Conservação Especial do Pavimento - 4ª Intervenção

Os agregados são o pó de pedra, o pedrisco, a brita 1/2 e a brita 1, que são comprados da Pedreira Diabásio, pertencente ao Grupo Siqueira Empreendimentos, localizada em Lençóis Paulistas, e são transportados por caminhões. O CAP e a emulsão asfáltica são provenientes da Petrobrás, comprados através da NTA - Novas Técnicas de Asfaltos Ltda.

O armazenamento dos agregados é feito no terreno (figura 30) onde está a usina móvel para que depois eles sejam colocados nos silos da mesma (figura 31), através de caminhões basculantes, como mostrado nas imagens que seguem. Como os materiais ficam expostos às variações climáticas, eles podem interferir na dosagem da mistura asfáltica devido a presença de água. Assim, os técnicos fazem ensaios para cálculo da umidade no laboratório, de forma a minimizar essa interferência.

Figura 30 - Estocagem dos agregados na usina móvel



Fonte: do autor

Figura 31 - Silos da usina móvel



Fonte: do autor

Já o CAP é transportado por caminhões-tanque, que devem manter o produto aquecido, com baixa viscosidade. Ele é armazenado em dois tanques adjacentes à usina móvel (figura 32), que devem ser isolados termicamente por lã de vidro e ter paredes externas com material de elevada refletividade ao calor e resistente à oxidação em altas temperaturas, como o alumínio. Eles têm tubulações para circulação de óleo térmico para manter o fluido aquecido, com temperatura controlada por termômetro na parte externa dos tanques e no painel de comando da usina (GEWEHR e ZUBARAN, 2012).

Figura 32 – Tanques de armazenamento de CAP



Fonte: do autor

A emulsão asfáltica RR-2C, destinada a pintura de ligação, também é recebida por caminhões-tanque e é armazenada em um tanque. Segundo a Ficha de Segurança (2005) da própria Petrobrás para esse produto químico, não são necessárias medida técnicas específicas de armazenamento, mas é adequado que se armazene em tanques (com respiros e escotilhas) em locais limpos, com boa ventilação e à temperatura ambiente, como foi possível observar na usina, na figura 33.

Figura 33 - Tanque de armazenamento da emulsão asfáltica RR-2C



Fonte: do autor

Na usina móvel, os agregados passam pelo processo de secagem e são aquecidos para, então, serem misturados ao CAP e formarem a massa asfáltica especificada. Ela é depositada nos caminhões basculantes que as levarão à pista (figura 34).

Figura 34 - Massa asfáltica sendo despejada no caminhão para transporte



Fonte: do autor

## 8.2.2 Equipamentos

- Fresagem:

Fresadora modelo W1900 da Wirtgen, pertencente a Tecnopav (figura 35).

Figura 35 - Equipamento para fresagem



Fonte: do autor

- Acerto das bordas:

Cortadora mecânica a disco (figura 36), britadeira e pá (figura 37).

Figura 36 - Equipamento para acerto de bordas: cortadora mecânica



Fonte: do autor

Figura 37 - Equipamento para acerto de bordas: britadeira e pá



Fonte: do autor

- Limpeza da pista:

Vassoura mecânica rotativa modelo VSM-1205 da Caterpillar (figura 38) e soprador (figura 39).

Figura 38 - Equipamentos de limpeza: vassoura mecânica



Fonte: do autor

Figura 39 - Equipamentos de limpeza: Soprador



Fonte: do autor

- Aplicação da pintura de ligação:  
Caminhão espargidor com barra espargidora e bico de distribuição (figura 40).

Figura 40 - Equipamentos de aplicação de pintura de ligação



Fonte: do autor

- Aplicação da massa asfáltica:  
Vibro acabadora de asfalto modelo VDA-700 da Terex (figura 41)

Figura 41 - Equipamento para aplicação da massa asfáltica



Fonte: do autor

- Compactação:

Rolo pneumático modelo CW34 da Catterpillar (figura 42);

Rolo chapa ou tandem modelo CC-422 da Dynamic (figura 43);

Rolo chapa ou tandem modelo STR30C da Trimak (figura 44).

Figura 42 - Equipamento para compactação: Rolo pneumático



Fonte: do autor

Figura 43 - Equipamentos para compactação: rolo chapa



Fonte: do autor

Figura 44 - Equipamento para compactação: Rolo chapa



Fonte: do autor

- Transporte:

Caminhões basculantes (figura 45) e caminhões tanque de diversos modelos para transporte de: material fresado e massa asfáltica e pintura de ligação (figura 46), água (figura 47) para a obra, respectivamente.

Figura 45 - Caminhão basculante



Fonte: do autor

Figura 46 - Caminhão tanque: RR-2C



Fonte: do autor

Figura 47 - Caminhão tanque: água



Fonte: do autor

### 8.3 ETAPAS DE EXECUÇÃO

Este estudo de caso contempla a análise da execução de soluções observadas nos trechos da obra na altura dos quilômetros 208, 222 e 236 da rodovia. Em todos eles a solução executada foi a primeira apresentada no capítulo de soluções, observada na figura 26, que consiste na fresagem do tipo padrão de 5,0 cm de espessura, espargimento de camada de pintura com ligante de ruptura rápida RR-2C com conseguinte deposição e compactação do CAUQ com faixa EGL 16-19, com CAP 30/45.

As equipes de obra, responsáveis pela realização do trabalho são compostas, em média, por 18 pessoas, chamados pela empresa construtora de operadores de

pavimentação, e outras 7 pessoas responsáveis pelos serviços preliminares de sinalização, resultando em frentes de trabalho de 25 pessoas. Essas frentes são alocadas de acordo com o volume total de serviço a ser executado no prazo estipulado. No momento em que o presente estudo de caso foi realizado, havia 4 frentes de trabalho implementando as soluções estipuladas.

### 8.3.1 Serviços preliminares

Os serviços preliminares contemplam a demarcação do trecho em que o serviço será realizado, com o isolamento da pista nessa área, feito pela Ellenco, utilizando cones refletivos de cor laranja, conforme figura 48. Um fiscal da CCR analisa o que foi planejado para aquele texto, presente no retrográfico de projeto e averigua a conformidade dele com a situação real em pista, podendo retirar serviços contabilizados a mais, ou adicionar serviços referentes a defeitos de pista posteriores ao projeto, como nas figuras 49, 50 e 51, chamados de “Serviços Não Previstos”, ou apenas NP (figura 52 e 53). É formado um novo retrográfico com essas alterações, o chamado retrográfico “*as built*”, cujo exemplo se encontra na figura 54.

Figura 48 - Serviço preliminar: isolamento da pista



Fonte: do autor

Figura 49 - Serviços preliminares: Determinação de trechos pelo fiscal da CCR



Fonte: do autor

Figura 50 - Exemplo de deformação que resulta em uma NP



Fonte: do autor

Figura 51 - Exemplo de deformação que resulta em uma NP



Fonte: do autor

Figura 52 - Exemplo de determinação de NP



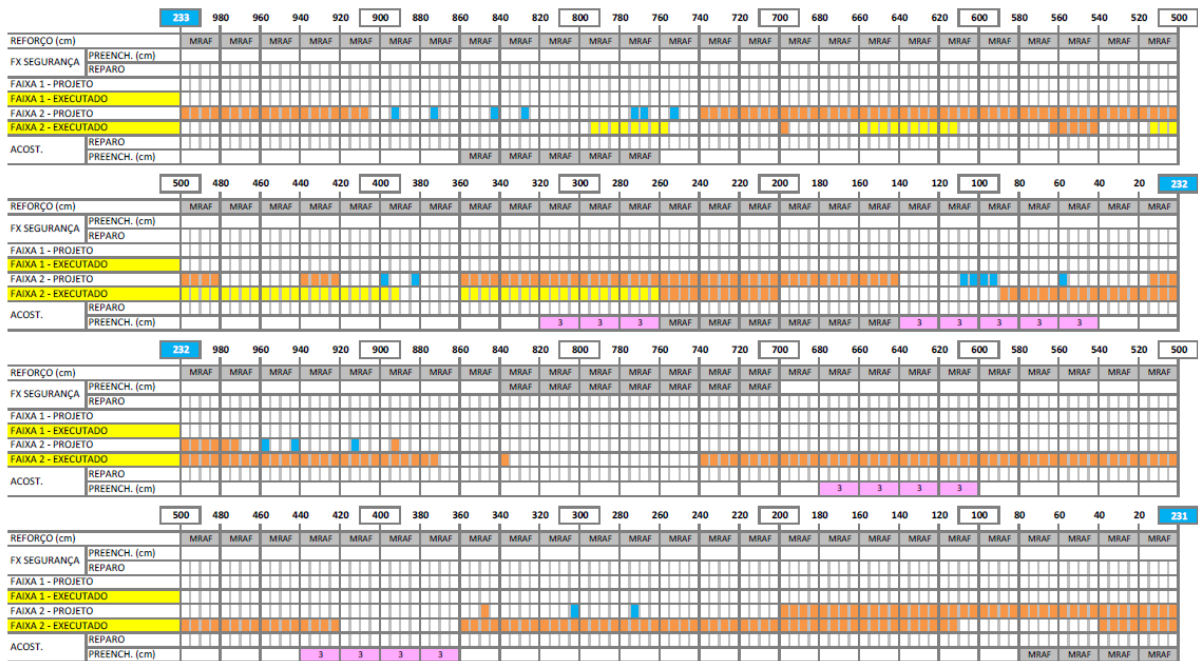
Fonte: do autor

Figura 53 - Registro de ordem de serviço: em campo

CONCESSIONÁRIA:		RFELM - REGISTRO DE FRESAGEM E LANÇAMENTO DE MASSA BETUMINOSA		INÍCIO DA ATIVIDADE 20,09,2018			
OBRA: SP280		CONTRATADA:		FIM DA ATIVIDADE 20,09,2018			
MATERIAL: CBUQ 16/19		CAMADA: Rolamento		Sentido da Pista: Norte <input type="checkbox"/> Sul <input type="checkbox"/> Leste <input type="checkbox"/> Oeste <input checked="" type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/> Km	<input type="checkbox"/> Estaca	LARGURA (m)	EXTENSÃO (m)	ESPESSURA (m)	TIPO DE SERVIÇO	DMT	OBSERVAÇÃO
INICIAL	FINAL	FAIXA			MIC SL FS HR MQ PR		
250+755	250+760	2	3,60	5,00	0,04		NP (NÃO PREVISTO)
250+783	250+798	2	3,60	15,00	0,05	X	NP (NÃO PREVISTO)
250+798	250+803	2	3,60	5,00	0,05	X	PROJETO.
<p>Legenda:</p> <p>Importante: Informar a quantidade de imprimação aplicado. Quando for somente fresagem de encaixe informar no campo observações, assim como outras ressalvas.</p> <p>TIPOS DE SERVIÇOS:</p> <p>MIC: Microfresagem      HR: Reforço      PR: Preenchimento</p> <p>FS: Reparo                      MQ: Microrevestimento a Frio      SL: Selagem de Trincas</p>							
CONTRATADA				FISCAL			

Fonte: documento da empresa Ellenco

Figura 54 - Unifilar das soluções para trechos de 5km



Fonte: documento da empresa Ellenco

### 8.3.2 Execução da solução

A execução da solução do trecho segue as seguintes etapas:

1. Fresagem: executada ao longo de toda a largura da pista, o que exige que a fresadora, cujos tambor e bits têm o tamanho de acordo com o tipo de fresagem a ser realizado (figura 55), passe duas vezes pela pista (figura 56) havendo o controle da espessura retirada em cada uma das passadas com o uso de barbante e trena (figura 57). Esse serviço é realizado em conjunto com um caminhão que apresenta um dispositivo tipo esteira para elevação do material fresado do pavimento para a caçamba dele recolhendo o material fresado, que é levado de volta à usina de asfalto da terceirizada (figura 58) e é, geralmente, oferecido às prefeituras da região. O resultado obtido é o observado na figura 59.

Figura 55 - Detalhe do tambor da fresadora



Fonte: do autor

Figura 56 - Fresagem de trecho, com largura superior a oferecida pela fresadeira (2 passadas)



Fonte: do autor

Figura 57 - Controle da espessura fresada com uso de barbante e trena



Fonte: do autor

Figura 58 - Fresadeira durante serviço e caminhão basculante para coletar material fresado



Fonte: do autor

Figura 59 - Pavimento fresado em 5 cm



Fonte: do autor

2. Delimitação do perímetro da área fresada: as bordas da área que teve seu material de revestimento retirado são aperfeiçoadas, de modo que elas fiquem verticais, formando um ângulo de  $90^\circ$  com a horizontal. Para isso realiza-se um corte nessas bordas (figura 60), com posterior acerto delas utilizando-se uma britadeira. O material resultante desses cortes é retirado manualmente com o uso de pás (figura 61).

Figura F

Figura 60: Corte das bordas transversais



Fonte: do autor

Figura 61 - Retirada do excesso cortado



Fonte: do autor

3. Limpeza do trecho e pintura de ligação: primeiramente remove-se o material gráudo residual da fresagem com vassoura mecânica (figura 62) e o material solto menor é removido com soprador (figura 63). Essa etapa é bastante importante para garantir a limpeza do trecho e a qualidade da pintura de ligação, realizada com a emulsão RR-2C, que será aplicada através de barra espargidora (figura 64) em trechos de maior extensão ou bico espargidor, do tipo caneta (figura 65), em trechos curtos. Destaca-se a importância de garantir que tanto a barra quanto o bico espargidor não estejam obstruindo, para que o fluxo de ligante seja constante. Após sua aplicação, com a emulsão de coloração marrom, ocorre a evaporação da água e conseqüente rompimento do ligante, passando para a coloração preta (figuras 66 e 67).

Figura 62 - Limpeza: vassoura mecânica



Fonte: do autor

Figura 63 - Limpeza: Soprador



Fonte: do autor

Figura 64 - Caminhão tanque com barra espargidora



Fonte: do autor

Figura 65 - Pintura realizada com caneta espargidora



Fonte: do autor

Figura 66 - Pintura de ligação não rompida (tonalidade marrom)



Fonte: do autor

Figura 67 - Pintura de ligação após rompimento (tonalidade preta brilhante)



Fonte: do autor

4. Recomposição do revestimento asfáltico: Recomposição do revestimento asfáltico: o material que fará parte da recomposição vem diretamente da usina da Ellenco, através de caminhões que executam o depósito do novo material em vibro acabadoras de asfalto (figura 68). Por sua vez, elas espalham o material pelo trecho a ser recomposto por sua parte traseira (figura 69). Os trabalhadores realizam manualmente o ajuste do material asfáltico nas bordas do trecho, com o excesso de material sendo retirando com pá e carrinho de mão (figura 70). Por se tratar de uma intervenção num trecho de uma faixa de rolamento, deve haver um maior cuidado com as emendas dessa modificação, para minimizar os riscos de desenvolvimento de defeitos nelas. Para tanto, realiza-se a queima das emendas: tanto em sentido longitudinal, quanto em sentido transversal, utilizando-se compactador de rolo menor (figura 71). Ocorre então o processo de compactação, com compactador de rolo liso vibratório com baixa frequência e alta amplitude, o qual compacta de baixo para cima, com 4 a 5 ciclos completos, definido pelo laboratório diariamente (figura

72). Ainda é passado um compactador de pneus, também com 4 a 5 ciclos e que compacta de cima para baixo (figura 73).

Figura 68 - Carregamento da vibro acabadora pelo caminhão basculante vindo da usina



Fonte: do autor

Figura 69 - Material sendo depositado no trecho



Fonte: do autor

Figura 70 - Assentamento do material no perímetro



Fonte: do autor

Figura 71 - Queima da emenda transversal



Fonte: do autor

Figura 72 - Compactação: compactador de rolo liso



Fonte: do autor

Figura 73 - Compactação: compactador de pneus



Fonte: do autor

### 8.3.3 Serviços de acabamento

Os serviços de acabamento começam com a passagem do rolo compactador liso novamente, mas sem vibração, pois sua função é estética, visando uniformizar o pavimento e remover as marcas de pneus do compactador anterior. Após essa etapa,

alguns testes são realizados, como o controle da superfície do trecho com a barra de 3 pontos, o teste de atrito com pêndulo e teste de areia, que serão expostos adiante, e prossegue-se à pintura de sinalização horizontal da rodovia, a qual é liberada para o tráfego em seguida. Embora seja ideal que se aguarde o resfriamento do pavimento até os 70°C, nos foi informado que por diversas vezes esse objetivo não é alcançado devido a Polícia Rodoviária que não permite a o impedimento do fluxo nesse período. Um corpo de prova é extraído para ensaio de qualidade 24 horas após a execução do serviço.

#### 8.4 SEGURANÇA NO TRABALHO

Os riscos na atividade de pavimentação asfáltica podem ser divididos como o quadro 20, com base no estudo de BARROS (2014):

Quadro 20 - Riscos das atividades

RISCO	AGENTE	FONTE
Físico	Nível de pressão sonora	Máquinas
	Vibração	Máquinas
	Radiação UV	Sol
	Temperatura	Massa/Pintura
	Esmagamento	Máquinas
Químico	Intoxicação	Pintura de Ligação
	Inalação	Poeira
Biológico	Doenças	Insetos/animais
Acidente	Atropelamento	Veículos
	Queda do veículo	Máquinas
Ergonômico	Movimentos repetitivos	Serviço

Fonte: BARROS, 2014

Os operadores de máquinas ficam nas cabines dos equipamentos e podem sofrer com vibrações causadas por desbalanceamentos, o que levaria a problemas na coluna vertebral. Por isso, se faz necessário manutenções preventivas e corretivas das máquinas.

Todos os trabalhadores estão sujeitos a risco elevado de nível de pressão sonora, podendo chegar à surdez, devido aos ruídos causados pelas máquinas. Portanto, eles devem usar protetores auriculares, como a figura 74.

Figura 74 - Trabalhador usando protetor auricular



Fonte: do autor

Também estão constantemente expostos à radiação solar, podendo desenvolver doenças de pele graves, como por exemplo, o câncer. É adequado que eles usem roupas de mangas compridas, chapéus e proteções para minimizar a exposição aos raios UV (figura 75).

Figura 75 - Uso de vestimenta adequada



Fonte: do autor

Há também o risco de atropelamento devido à proximidade da área de serviço e a pista que continua com o fluxo de veículos (figura 76). Estão ainda em risco maior os trabalhadores que auxiliam na aplicação da massa asfáltica, pois ficam muito próximos à pista e às máquinas, que podem atingi-los em algum acidente. Para minimizar tais riscos, são usadas sinalizações para alertar os veículos sobre a obra e os trabalhadores devem usar roupas com cores fluorescentes e reflexivas, como as mostradas na imagem anterior.

Figura 76 - Proximidade dos veículos em tráfego com alta velocidade



Fonte: do autor

A presença de muita poeira, ocasionada pela fresagem e limpeza da pista, pode causar danos aos pulmões dos trabalhadores que a inalarem. Assim, é necessário que eles utilizem máscaras para protegê-los (figura 77).

Figura 77 - Trabalhador usando máscara



Fonte: do autor

O auxiliar de caminhão espargidor de pintura asfáltica sofre ainda o risco químico de intoxicação devido à inalação de vapores e de partículas suspensas provenientes do material betuminoso, o que pode causar náuseas e dor de cabeça, por isso também

deve usar máscaras. Ele precisa utilizar luvas e botas de proteção para evitar o contato com o produto em elevada temperatura (figura 78).

Figura 78 - Trabalhador usando proteções



Fonte: do autor

## 8.5 CONTROLE DE QUALIDADE

Para garantir a qualidade do serviço realizado, assim como da mistura utilizada, em comparação com o estipulado em projeto, são realizados diversos testes. A maioria é de responsabilidade da empresa contratada, a Ellenco, outros são feitos também pela concessionária da CCR, a SPVias, a fim de que o serviço seja aprovado. Ao final de cada aceite, caso algum trecho esteja abaixo do mínimo acordado, deverá ser refeito, com prejuízo da parte contratada.

Diariamente, no laboratório técnico da usina, são feitos testes para verificar se o traço da massa asfáltica e suas propriedades atingiram o esperado. Com uma mesma amostra são realizados os seguintes testes: uma parcela da amostra, com peso inicial conhecido, é colocada na mufla, na qual, à medida que o ligante queima e evapora, a mudança de peso é registrada. Ao fim, o material excedente na bandeja, formado apenas pelos agregados, passa pelas diferentes peneiras. Com esses dados, é possível determinar o traço dos agregados presentes e o teor de ligante evaporado, conforme observado na sequência de figuras de Figura 79 a Figura 83.

Com o material restante, são feitos corpos de prova para passarem por testes de estabilidade Marshall, de resistência à tração diametral e de determinação do índice de vazios através do Rice Test (Figura 84 a Figura 85).

Figura 80 - Material a ser utilizado



Figura 79 - Material sendo trabalhado



Figura 82 - Preparação do ensaio



Figura 81 - Colocação do material no forno



Fonte: do autor

Figura 83 - Resultado do ensaio da análise granulométrica (forno e passagem pela peneira do material não evaporado)

Elapsed Time: 28:00  
 Sample Weight: 1554g  
 Weight Loss: 78.1g  
 Percent Loss: 5.03%  
 Temp Comp: 0.19%  
 Calib. Factor: 0.20%  
 Bitumen Ratio: 4.90%

Calibrated Asphalt Cnt  
 4.63%

28	539	78.1	5.03*
27	539	78.1	5.03
26	540	78.0	5.02
25	541	77.9	5.01
24	543	77.8	5.01
23	544	77.6	4.99
22	545	77.4	4.98
21	546	77.2	4.97
20	547	76.7	4.94
19	548	76.1	4.90
18	549	75.2	4.84
17	550	74.0	4.76
16	550	72.5	4.67
15	551	70.6	4.54
14	551	68.6	4.41
13	552	66.3	4.27
12	555	64.0	4.12
11	562	61.7	3.97
10	571	59.4	3.82
9	568	53.0	3.41
8	548	40.5	2.61
7	522	30.2	1.94
6	495	21.1	1.36
5	475	11.6	0.75
4	469	7.6	0.49
3	463	5.0	0.32
2	457	2.8	0.18
1	452	1.1	0.07

Filter Set Pt: 631 C  
 Chamber Set Pt: 560 C

Tested By: \_\_\_\_\_  
 Mix Type: \_\_\_\_\_  
 Sample ID: \_\_\_\_\_  
 Time: 7:20:11  
 Date: 11-28-18

**ELLENCO** CONTROLE DE QUALIDADE - EGL 16-19

Obra: CCR - SPVIAS  
 Trecho: SP-280 CASTELO BRANCO  
 Sub-Trecho: \_\_\_\_\_  
 Pista: \_\_\_\_\_

Camada: \_\_\_\_\_  
 Usina: \_\_\_\_\_  
 Data: 31-Ago-2018  
 Laboratorista: Diogo Lourenço  
 Caminhão (placa): BRW 3148

ROLAMENTO  
 ELLENCO - ITATINGA  
 Horário: 14:30

**ANÁLISE GRANULOMÉTRICA - DNER M 44/61**

Peneiras	Peso retido	Peso que passa	% que passa	Faixa de Trabalho			Especificação da Faixa
				1	2	3	
1"	-	-	-	100	100	100	100
3/4"	23,2	-	98,71	96	100	98	100
5/8"	112,6	-	93,78	90	100	90	100
1/2"	269,0	-	85,63	80	90	80	95
3/8"	422,8	-	76,63	66	80	66	85
Nº 4	846,2	-	59,24	46	56	42	64
Nº 10	1209,2	-	33,19	28	37	28	48
Nº 40	1519,0	-	16,07	10	20	8	21
Nº 80	1629,6	-	9,95	7	13	4	14
Nº 200	1701,6	-	5,98	4	8	2	10

**CORPO DE PROVA**

	1	2	3
Peso ao AR (g)			
Peso IMERSO (g)			
Peso SSS (g)			
Volume do CP (cm³)			
Densidade Aparente (g/cm³)			
Leitura do Extensômetro (ruptura axial)			
Fluência (mm)			
Fluência (pol)			

**EXTRAÇÃO DE BETUME**

	FORNO NCAT	SOXLET	ROTAREX
Tara/Massa do Papel (g)			
Amostra + Tara/Papel (g)			
Amostra (g)			
Insolúvel + Tara/Papel (g)			
Insolúvel (g)	1609,8		
Solúvel (g)			
% Betume (%)			
Teor Ótimo (%)	4,50%	4,50%	4,50%

**RESISTÊNCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL - DNER ME 138**

	1	2	3	Cálculo
Corpo de Prova				H
Altura do CP (cm)				D
Diâmetro do CP (cm)				F
Carga de Ruptura (kgf) / Leitura				2 x F / (3,14 x D x H)
Resistência a Tração				

Observação: \_\_\_\_\_  
 TEMP: 150 UMIDADE PONDERADA: 13%

Fonte: do autor

Figura 84 - Preparação para Ricetest



Fonte: do autor

Figura 85 - Material na mesa vibratória orbital



Fonte: do autor

Além dos testes feitos com os materiais, são feitos testes de qualidade no pavimento, logo após a execução da sua manutenção. Dentre eles, citamos o controle do nivelamento da pista, o controle da resistência oferecida pela superfície do pavimento à derrapagem e da macrotextura do pavimento.

O controle do nivelamento é feito com o uso de duas réguas, Figura 86, uma de 3,00m e outra de 1,20m, dispostas perpendicularmente entre si e com o lado maior

transversalmente ao sentido do fluxo da pista. Conforme será citado mais a frente, a variação de superfície, entre dois pontos quaisquer de contato não pode ultrapassar até 0,5 cm (figura 86).

Figura 86 - Verificação do nivelamento do pavimento



Fonte: do autor

Os valores de resistência à derrapagem, por sua vez, são obtidos por meio do Pêndulo Britânico. Para fazer a medição, deve-se garantir o nivelamento do mesmo na pista, utilizando 3 apoios reguláveis e uma bolha de nível (Figura 87). Em seguida, a altura do pêndulo é regulada (Figura 88), com o auxílio de um esquadro, para que toque na superfície apenas em um trecho de 12 cm. Por fim, a superfície ensaiada é aspergida com água (Figura 89) para gerar um cenário desfavorável, simulando a pista em dias de chuva, em que o atrito do pneu com o pavimento é reduzido, e o pêndulo é liberado de uma altura padronizada. Mede-se então, a altura que o pêndulo alcança, devendo ela ser maior do que 55 (Figura 90).

Figura 87 - Verificação de atrito: Nivelamento do equipamento



Fonte: do autor

Figura 88 - Verificação de atrito: Determinação da altura do pêndulo



Fonte: do autor

Figura 89 - Verificação de atrito: Umidificação do pavimento



Fonte: do autor

Figura 90 - Verificação de atrito: Obtenção do resultado



Fonte: do autor

Por fim, é realizado o teste de areia, no qual, após o espalhamento, Figura 92, de uma quantidade padronizada (Figura 91) de uma areia especial, medem-se dois diâmetros, perpendiculares entre si, Figura 93, da mancha obtida. Com esses valores, calcula-se a altura de areia, que possui limites que serão apresentados no próximo item.

Figura 91 - Depósito da areia com volume padronizado



Fonte: do autor

Figura 92 - Espalhamento da areia



Fonte: do autor

Figura 93 - Medidas dos diâmetros



Fonte: do autor

Passadas 24 horas do serviço de recapeamento, são retirados corpos de prova da pista que passou por manutenção, Figura 94, para que sejam feitos testes de avaliação da compactação para a aprovação ou não do serviço pela CCR.

Após retirar o corpo de prova do pavimento, o buraco é seco internamente e preenchido com uma massa fria e compactada manualmente, conforme observado na sequência de figuras 94 a 99.

Figura 94 - Extração do corpo de prova



Fonte: do autor

Figura 95 - Retirada do corpo já solto



Fonte: do autor

Figura 96 - Defeito criado no pavimento



Fonte: do autor

Figura 97 - Secagem do buraco com um pano



Fonte: do autor

Figura 98 - Preenchimento com massa fria



Fonte: do autor

Figura 99 - Compactação manual



Fonte: do autor

## 8.6 CONFORMIDADES E NÃO-CONFORMIDADES NORMATIVAS

O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir a execução dos procedimentos referentes à obra de reforço, como produção, execução, aceitação e medição do concreto asfáltico usinado a quente e também quanto à execução da fresagem. Ainda, foram analisados alguns métodos de avaliação do estado funcional e estrutural e também métodos de dimensionamento de reforço e dosagem de misturas. Foram postas discussões quanto a alguns aspectos da obra que foram considerados mais significativos pelo grupo e verificadas as conformidades com as normas do IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNIT e do DER-SP. O IPR é responsável por realizar pesquisas e consolidar normas e manuais que se tornam referência para todas as obras rodoviárias do país; e o DER, por sua vez, também define seus critérios que orientam a que é aplicado em obras rodoviárias de sob a jurisdição do Estado de São Paulo, como é o caso desta obra.

### **8.6.1 Método de Dimensionamento de Reforço Estrutural**

Para o projeto de Reforço Estrutural, a Engelog guiou-se pela norma DNER-PRO 011/79 - Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - Procedimento "B". Em conformidade foram realizados estudos preliminares e definitivos. Entre os estudos preliminares, está o estudo do tráfego na rodovia para obtenção do número N utilizado no projeto. Nesta primeira etapa já é possível mencionar uma disparidade com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT quanto à forma de obtenção do Fator de Equivalência de Carga, onde podem ser utilizados os critérios da AASHTO ou da USACE. A Engelog fez uso do método da da AASHTO, diferentemente do proposto pelo manual, e sendo contestado pela ARTESP justificou:

Apesar de projetistas adotarem o fator de equivalência de carga da USACE para o procedimento de cálculo de reforço da PRO11/79, ele foi, de fato, elaborado para os fatores de equivalência de carga da AASHO (posteriormente, AASHTO).

Segundo justificativa apresentada por um engenheiro da Engelog. Ele argumenta que, devido ao histórico de criação do método da norma DNER-PRO 011/79, desenvolvido com base nos estudos mencionados anteriormente, de Lassalle, Langumier e Celestino Ruiz sobre potencial de redução de deflexão em função da execução de reforço e a necessidade de se manter a deflexão abaixo de uma "deflexão admissível" visando manter o pavimento na "fase elástica" e não entrar na "fase de fadiga". De fato, o cálculo da deflexão admissível foi extraído do Asphalt Institute, (Pinto e Preussler, Pavimentação Rodoviária, 2ª Edição, 2002) e calculado para pavimentos flexíveis de revestimento betuminoso. Nesse estudo, foi elaborada uma correlação entre a deflexão máxima admissível, obtida pelo ensaio de Viga Benkelman, e o número de repetições de eixo padrão, utilizando-se os fatores de equivalência obtidos na AASHO Road Test. É importante ressaltar que no procedimento DNER-PRO 011/79 não há menção sobre quais fatores de carga deverão empregados no número N.

Na memória de cálculo pôde-se observar que os valores de N pelo critério USACE são mais elevados quando comparados aos valores de N obtidos pelo critério da AASHTO, o que tornaria a avaliação estrutural mais conservadora.

A Engelog realizou verificações mecanicistas da estrutura dimensionada, onde foram empregados:

- N AASHTO: verificação da Deflexão máxima no topo do pavimento conforme equação da PRO-011;
- N AASHTO: verificação da deformação específica horizontal de tração admissível na fibra inferior do revestimento asfáltico, pela equação do Asphalt Institute (1982);
- N USACE: verificação da deformação específica vertical de compressão no topo do subleito pela equação de Dormon e Metcalf (Shell, 1965).

O desenvolvimento do projeto apresentou também divergências quanto aos critérios de avaliação estrutural baseados no raio de curvatura da bacia de deflexão. O raio de curvatura é um parâmetro afetado essencialmente pelas características elásticas dos componentes da porção superior da estrutura, ou seja, o próprio revestimento e a base. Assim, um baixo raio de curvatura é normalmente um indicativo de que os módulos elásticos das camadas superiores do pavimento apresentam valores aquém dos desejáveis. Definir um valor crítico para o raio de curvatura é uma tarefa difícil, uma vez que cada estrutura apresenta características particulares. No entanto, parece importante uma análise mais aprofundada de estruturas flexíveis com revestimento em concreto asfáltico que exibem raios de curvatura inferiores a 100 m (Quadro 20), considerados críticos.

Assim, os projetistas investigaram os valores do Raio de Curvatura, classificando os intervalos correspondentes a estruturas com baixos valores de módulo de resiliência na camada de base (cimentada), ou seja, camada parcialmente ou muito deteriorada. Para tal, foram feitas diversas simulações no ELSYM-5 para estruturas com base cimentada em boas condições, em condições medianas e em más condições utilizando os módulos de resiliência. Ao final, com base nos resultados do programa, foram calculados os Raios de Curvaturas para cada simulação e finalmente, determinadas as faixas de valores correspondentes (Quadro 16).

Quadro 21 - Critérios para o estabelecimento das diretrizes de projeto

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

Fonte: DNER-PRO 011/79

### 8.6.2 Execução da Obra

- Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos

A norma DNIT 154/2010-ES - Pavimentação asfáltica - Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos, também desenvolvida pelo IPR, estabelece os procedimentos para os reparos do pavimento em locais restritos, abrangendo os remendos superficiais, reforços estruturais e profundos, trincas, além de outros tipos de ocorrência. Esta norma apresenta requisitos referentes a materiais, equipamentos e execução, porém por abranger uma vasta gama de serviços que podem ser executados no reparo dos pavimentos, aprofunda-se pouco em cada tipo de reparo.

O item 7.2.b da norma em questão recomenda para reforços estruturais: “No caso de reposição de revestimentos, incluindo camadas inferiores, devem ser realizados reparos utilizando os mesmos critérios recomendados para o controle específico do tipo de serviço indicado”, ou seja, recomenda-se o estudo das normas dos serviços de fresagem, pintura de ligação e execução de concreto asfáltico.

- Fresagem

A norma DNIT 159/2011 - ES especifica as diretrizes a serem empregadas na execução da fresagem a frio de pavimentos asfálticos de rodovias federais. Este serviço também tem critérios definidos pela norma ET-DE-P00/038 do DER-SP. Estas duas versões são muito semelhantes quanto à orientação de execução, porém, a norma do DNIT é mais específica quanto aos equipamentos necessários e controle geométrico. No canteiro de obras pôde-se observar a presença dos equipamentos especificados em norma (figura 100).

Na execução, foi observado, em desconformidade com a norma, que a superfície fresada nem sempre apresentou textura uniforme e os sulcos resultantes, em alguns casos, ultrapassaram o limite de 0,5 cm (figura 101).

De acordo com a norma do DER-SP, deve-se medir a espessura da fresagem a cada passada, admitindo-se variações de mais ou menos 0,3 cm em relação à profundidade indicada no projeto. Neste aspecto, o engenheiro responsável pela obra questionou a diferença entre as especificações do projeto de fresagem de recomposição de 4 cm ou de 5 cm. Conforme a figura 102, houve disparidade entre o serviço executado e o serviço dimensionado em projeto de acordo com a norma do DER-SP, que define limite de 0,3 cm de variação: no km 208,400 da pista Leste, em trecho adjacente à praça de pedágio de Itatinga, o projeto especifica fresagem e recomposição de 5 centímetros, enquanto a fresagem apresentou medidas menores que 4,7 centímetros. O limite proposto pela norma do DNIT que define que para espessuras de corte inferiores a 5 cm, a média aritmética da espessura obtida deve situar-se no intervalo de  $\pm 10\%$ , em relação à espessura prevista no projeto, 0,5 cm para este caso, tolera a variação presente neste trecho.

Figura 100 - Equipamentos especificados em norma



Fonte: do autor

Figura 101 - Superfície não uniforme após fresagem a frio



Fonte: do autor

Figura 102 - Medição de profundidade de fresagem e recomposição



Fonte: do autor

- Execução da pintura de ligação

A pintura de ligação é regulada pela norma ET-DE-P00/020 sobre Imprimação Betuminosa Ligante do DER-SP e pela Revisão da Norma DNER – ES 307/97 de 2009, Especificação de Serviço de Pintura de Ligação para Pavimentos Flexíveis.

A aplicação da pintura de ligação dá-se logo após a fresagem, limpeza da superfície e aparamento de bordas. Antes da aplicação da imprimação asfáltica foi realizada limpeza da superfície, com vassoura mecânica e soprador de ar, removendo todos os materiais soltos encontrados sobre a superfície da camada. A execução da imprimação dava-se através de um caminhão com compartimento para armazenar a emulsão, dotado de bomba, pressurizador, termômetro e equipamento espargidor, carregado por um operador, conforme ambas as normas especificam na descrição do equipamento (figura 103).

Apesar de as normas não definirem temperatura ótima da emulsão para aplicação, mas sim viscosidade ótima, o material asfáltico não deve ser distribuído com temperatura ambiente abaixo de 10° C, em dias de chuva ou sob o risco de chuva. Essa recomendação foi seguida pela Ellenco durante todo o acompanhamento da obra realizado pelo grupo.

A imprimação da pista deve ser realizada em um mesmo turno de trabalho e o tráfego na pista deve ser fechado para que não haja ação direta das cargas e da abrasão do trânsito antes da verificação das condições de cura e ruptura. Apesar da pista estar fechada ao tráfego usual e devidamente sinalizada com cones, durante o acompanhamento da obra no km 208,600, próximo à praça de pedágio de Itatinga, observou-se o tráfego dos próprios equipamentos em operação sobre a pintura de ligação antes do fim da ruptura, conforme figura 104. Além disso, notou-se que parte da pintura de ligação ainda não havia tido ruptura completa enquanto iniciava-se o preenchimento com concreto asfáltico (figura 105). Desta maneira, pode-se criar pontos fracos no reforço a ser implementado, aumentando as chances da ocorrência de defeitos como o escorregamento, que é o movimento horizontal do revestimento ocasionado pelos esforços tangenciais transmitidos pelos eixos dos veículos (frenagem e aceleração); ou como a exsudação, quando ocorre a migração e concentração do ligante na superfície do revestimento.

Para evitar excesso, nos pontos inicial e final das aplicações, conforme visto em campo, a revisão da DNIT propõe o uso de faixas de papel transversalmente na pista, de modo que o início e o término da aplicação do ligante betuminoso situem-se sobre essas faixas, as quais serão posteriormente retiradas. No entanto, esta prática de correção não foi realizada.

Figura 103 - Aplicação de imprimação betuminosa ligante



Fonte: do autor

Figura 104 – Marcas de pneus sobre a pintura de ligação, mostrando a retirada da camada ligante



Fonte: do autor

Figura 105 - Pintura de ligação acumulada nas bordas no momento de aplicação de CAUQ



Fonte: do autor

- Concreto asfáltico

Após a aplicação da pintura de ligação, é lançado o concreto asfáltico, para preenchimento. Este procedimento tem diretrizes baseadas na norma do DNIT 031/2006 - ES - Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico e na norma ET-DE-P00/027 - Concreto Asfáltico do DER-SP.

Assim como a pintura de ligação, não é permitida a aplicação do concreto asfáltico em dias de chuva e somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C e, de fato, todos os serviços de recuperação da pista foram paralisados em dias de condições climáticas desfavoráveis no período.

O concreto asfáltico produzido deve ser transportado, da usina ao ponto de aplicação por meio de caminhões basculantes cobertos com lona para proteger a mistura. Neste quesito, puderam se observar algumas irregularidades: a primeira é a ausência de lona protetora e a segunda é quanto à carga transportada pelos caminhões basculantes. Apesar de não haver especificação quanto à carga transportada na norma, é um aspecto a ser considerado nesta análise, uma vez que a própria operação da obra causa danos ao pavimento. O peso bruto total, máximo permitido, é definido pelo fabricante do veículo. Esse peso que é utilizado pelos órgãos rodoviários nos postos de pesagem, com base na informação fornecida pelo fabricante. O CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), através das Resoluções nº 12/98, 184/05 e nº 62/98, regulamentou os artigos 99 e 100 do Código de Trânsito Brasileiro, nos quais constam os limites para dimensões, peso bruto total e peso por eixo, que devem ser observados para todos os veículos de carga que circulam nas vias terrestres. De acordo com a Figura 106, o Peso Bruto Total (PBT) do caminhão é de 23 toneladas, enquanto foi afirmado que eram carregados até 52 toneladas por viagem. Segundo a Ellenco, esta prática é realizada devido a questões econômicas: o custo por viagem com o caminhão basculante é oneroso caso respeite os limites estabelecidos.

Figura 106 - Limites de carga do caminhão vasculante para transporte de concreto asfáltico



Fonte: do autor

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de vibro acabadoras capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto, equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade. Devem ser efetuadas medidas de temperatura durante o espalhamento da massa imediatamente antes de iniciada a compactação. Estas temperaturas devem ser as indicadas, com uma tolerância de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Durante as duas primeiras visitas à obra não foram observadas medições de temperatura do CAUQ no momento de sua aplicação sobre a pintura de ligação. Na terceira visita do grupo à obra, no trecho acompanhado próximo à praça de pedágio (km 208,600), a equipe tomou medidas da temperatura, onde puderam ser observadas temperaturas de  $140^{\circ}\text{C}$  na pavimentadora e  $130^{\circ}\text{C}$  após o espalhamento sobre a pista. Devido ao uso de aditivo surfactante, a mistura asfáltica pode ser aplicada morna, podendo chegar a até  $100^{\circ}\text{C}$ . Em um segundo momento, porém, verificou-se mistura asfáltica deixada em repouso durante pausa dos operadores, o que ocasiona perda de calor do material, podendo chegar a uma temperatura inferior à tolerável.

Caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas devem ser sanadas pela adição manual de concreto asfáltico (Figura 107), sendo esse espalhamento efetuado por meio de rastelos e rodos metálicos. Após a distribuição do concreto asfáltico, tem início a rolagem. Como norma geral, a temperatura de rolagem é mais elevada que a temperatura do próprio material asfáltico e menor que a tolerância do material, temperatura essa fixada, experimentalmente, para cada caso. A compactação iniciou-se por rolo liso vibratório, e, posteriormente, foi usado rolo de pneus. A compactação foi, nas conformidades da norma, iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista, e depois transversalmente. Em qualquer caso, a operação de rolagem perdurará até o momento em que seja atingida a compactação especificada. Durante a rolagem ocorreram mudanças de direção e inversões bruscas da marcha, que não são permitidas pela norma. Na compactação com rolo vibratório de baixa frequência e alta amplitude, foram feitos 4 a 5 ciclos e com rolo de pneus, também foram feitos 4 a 5 ciclos, como citado no capítulo 8.3.2. De acordo com a Ellenco foram realizados ajustamentos empíricos para a obtenção do grau de compactação exigido pela DNIT 031/2006 - ES, acima de 97% e abaixo de 101%, para determinação do número de ciclos de compactação. O controle do grau de compactação - GC da mistura asfáltica deve ser feito, medindo-se a densidade aparente de corpos-de-prova extraídos da mistura espalhada e compactada na pista, por meio de brocas rotativas (Figura 108) e comparando-se os valores obtidos com os resultados da densidade aparente de projeto da mistura.

Nos casos em que a Polícia Rodoviária Federal solicitou a abertura das pistas imediatamente após o fim do serviço, a obtenção das amostras foi realizada após 48 horas da compactação. A amostragem deve ser feita em locais escolhidos ou aleatoriamente, durante a jornada de trabalho.

É importante notar que uma má compactação do concreto asfáltico seja pela temperatura de aplicação do material asfáltico, seja pela rolagem insuficiente de compactadores, ou mesmo pela liberação precoce da pista pode resultar em defeitos na pista como o escorregamento, já citado anteriormente. A liberação da pista com revestimento ainda a altas temperaturas pode inclusive gerar resultados imprecisos quanto ao CG, se coletado após 48 horas, uma vez que o tráfego pode alterar os resultados.

Os revestimentos recém-acabados devem ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento. Esta conduta não pôde ser respeitada em todos os casos pela contratada uma vez que houve demanda da Polícia Rodoviária Federal para que a pista recuperada fosse liberada logo que se desse a compactação do Concreto Asfáltico, como já visto previamente.

Figura 107 - Espalhamento do material asfáltico



Fonte: do autor

Figura 108 - Coleta de amostra para verificação de Grau de Compactação



Fonte: do autor

O controle da execução do concreto asfáltico deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória. Os controles da quantidade de ligante na mistura são efetuadas com extrações de amostras de asfalto coletadas do caminhão antes da saída da usina para a pista, diferentemente do orientado pelas normas, que instruem coleta na pista, logo após a passagem da acabadora (DNER-ME 053). A porcentagem de ligante na mistura deve respeitar os limites estabelecidos no projeto da mistura, devendo-se observar a tolerância máxima de  $\pm 0,3$ . Com a mesma amostra é procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 083). A moldagem de corpos in loco, por sua vez, usados para ensaios Marshall (DNER-ME 043) e para o ensaio de tração por compressão diametral a 25°C (DNER-ME 138), não foram presenciados pelo grupo durante as visitas realizadas. Esses ensaios devem ser realizados por mistura, por jornada de oito horas, imediatamente antes do início da compactação da massa.

A verificação final da qualidade do revestimento de concreto asfáltico deve ser exercida através das seguintes determinações:

- espessura da camada: medida por ocasião da extração dos corpos de prova na pista para verificação de GC, admitindo-se a variação de  $\pm 5\%$  em relação às espessuras de projeto;
- alinhamentos: a verificação do eixo e dos bordos foi feita durante os trabalhos de locação. Pode-se considerar que os desvios foram reduzidos uma vez que os reparos foram realizados sempre na largura da faixa de rolamento;
- acabamento da superfície: após a execução de cada trecho o controle de acabamento da superfície do revestimento foi realizado conforme norma com o auxílio de duas réguas (Figura 86) para verificação de variação de superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, de até 0,5 cm. O acabamento longitudinal da superfície deveria ser verificado por aparelhos medidores de irregularidade (sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter, regulados pela DNER-PRO 164 e DNER-PRO 182) ou outro dispositivo equivalente para esta finalidade, apresentando QI com valor inferior ou igual a 35 contagens/km ( $IRI \leq 2,7$ ), porém esta etapa do serviço não foi executada.
- condições de segurança: o revestimento de concreto asfáltico acabado deve foi verificado quanto a Valores de Resistência à Derrapagem medido com o Pêndulo Britânico (regulado pela ASTM-E 303) e quanto à mancha de areia (regulado por NF P-98-216-7).

## 9 ANÁLISE CRÍTICA

Diante de todas as etapas necessárias para a compreensão da obra executada na SP-280, desde o estudo dos princípios da manutenção até o acompanhamento presencial da obra na via, o grupo buscou ter visão crítica sobre o processo como um todo. Com embasamento no estudo técnico pôde-se verificar quais os critérios para ocorrência de obras de manutenção; e pôde-se confrontar o que é recomendado por projetistas, o processo real executado no estudo de caso e seus motivos.

Neste escopo, um dos principais aspectos a ser destacado é o caráter paliativo das intervenções na Rodovia Castelo Branco. Com a escassez de uma cultura de conservação periódica nas rodovias brasileiras, há pouca normatização quanto à manutenção de pavimentos com base semi-rígida de solo cimento. Sendo assim, esta obra foi realizada para que a concessionária atendesse a critérios mínimos de qualidade estrutural e funcional exigidos pela ARTESP. Para o grupo, esse olhar retrógrado em relação às obras de infraestrutura de pavimentos é um reflexo de uma visão comum ainda no país quando o assunto é manutenção, que enxerga essa etapa como opcional e desnecessária. Prejudica-se com isso, a vida de projeto da estrutura, pois esta contabiliza a manutenção e recuperação de pontos com vida útil reduzida. Desconsidera-se também a excelência do setor, que se mantém focado majoritariamente em questões financeiras, garantindo constantemente níveis mínimos de atendimento.

Outro tópico a ser destacado é a divergência entre o projeto e a execução. Há grande defasagem temporal entre os estudos preliminares, o dimensionamento da estrutura proposta e a execução da solução. Na obra estudada, o projeto, com horizonte de 7 anos, foi parcialmente baseado em estudos realizados no ano de 2016, enquanto o início da obra estava previsto para Fevereiro de 2018 e o fim previsto para Fevereiro de 2020. Neste período houve o surgimento de novos defeitos na via, que não estão detalhados em projeto. Em contrapartida, observou-se também a prática inversa: em campo há a reformulação do projeto, por parte da construtora e do fiscal da concessionária, eliminando ou alterando trechos de obra onde a via foi diagnosticada como defectiva por não apresentar tais defeitos visíveis a “olho nu”. Além de que, em alguns casos, certos defeitos são notados em um período anterior ao projeto, mas por

se tratarem de defeitos isolados e não tão graves, só são solucionados quando há um volume de projeto adequado, que justifique a intervenção, o que leva a um agravamento do problema que pode não ser detectado. Isso tudo nos faz perceber uma distância muito grande entre a visão da área de projetos e da execução da obra em si. Vê-se a busca de melhoramentos, tanto tecnológicos quanto do uso das normas, da coleta de amostras e da ampliação do banco de dados da rodovia pela empresa. Esse esforço se vê de certa forma perdido no momento em que o projeto segue para a parte de execução. Antigos métodos são perpetuados, e completados pela inércia do setor, que se mantém passivo frente a inúmeras irregularidades que são essenciais para alcançar o nível de precisão estimado pela teoria, ou seja, não é observado a mesma velocidade de evolução da parte teórica de pavimentos, para a executiva.

Parte disso é visto, inclusive, na quantidade e qualidade da mão de obra empregada. Independente dos avanços tecnológicos, poucos são os trabalhadores especializados na área, e esses se mostram menos receptivos para mudanças, ainda mais quando focadas em um cuidado mais minucioso com cada etapa de produção.

Puderam ser verificadas inconformidades normativas na execução da obra: em alguns casos por descuido dos operadores, como por exemplo na ausência da averiguação da temperatura do material asfáltico na execução do revestimento, ou a falta de cuidado com o empoçamento de ligante asfáltico; em outros casos pela intervenção de fatores externos, como a solicitação da abertura antecipada da pista imediatamente após o serviço de aplicação de concreto asfáltico pela Polícia Rodoviária. Constatou-se também elevado uso de mão de obra e ferramentas rudimentares em obra, em detrimento de tecnologias mais avançadas, o que leva à imprecisão no cumprimento do projeto. Todos esses fatores levam a uma execução incorreta que pode criar pontos fracos no reforço implementado, aumentando as chances da ocorrência de defeitos ocasionados pelos esforços provocados pelo tráfego de veículos na via, ou mesmo por intempéries. Além disso, a própria norma é por alguns momentos confusa, e contraditória, gerando, por exemplo, espessuras extremamente superiores do que a própria verificação solicita.

Ainda quanto à dicotomia entre teoria e prática, pode-se citar a questão da produtividade. Frente à indeterminação de um cronograma de obras, seja por questões climáticas, por eventos que interferem no tráfego usual das rodovias, como greves ou feriados, a construtora afirma necessidade de manter a produtividade. A manutenção dos pavimentos deve também manter-se rentável para a terceirizada, o que a motivou a tomar medidas negligentes quanto aos limites de carga no transporte de material asfáltico. Mais uma vez, foi observado pelo grupo que este é reflexo da mentalidade do setor rodoviário, e do custo de viagem do modal no país. Se for respeitado os limites pedidos, as viagens não compensam para o transportador. Ao mesmo tempo, viagens com elevado peso diminuem a vida útil de uma via que a própria obra objetiva aumentar.

Apesar da verificação de algumas não conformidades normativas durante o estudo desta obra, nem todas foram consideradas negativas pelo grupo. No dimensionamento do reforço estrutural a CCR Engelog, grupo responsável por esta etapa, optou por utilizar Fator de Veículo conforme método da AASHTO, divergindo das recomendações do DNIT em seu Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (2006). A opção dos projetistas, apesar de configurar uma escolha mais econômica, teve embasamento técnico e histórico, sendo considerado adequado pelo grupo, uma vez que foi apresentada verificação de segurança.

Além disso, conforme mencionado anteriormente, na ausência de maior aprofundamento na normalização da manutenção de pavimentos com base de solo-cimento, a Engelog preocupou-se em investigar valores de Raio de Curvatura e sua correspondência com as condições de estruturas de base cimentada, realizando simulações próprias no ELSYM-5.

## 10 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar a análise de todo o processo de manutenção na Rodovia Presidente Castelo Branco, também denominada SP-280, trecho entre o km 129+600 ao km 315+030 (Tatuí - Santa Cruz do Rio Pardo). A partir do acompanhamento de todas as etapas que envolvem a intervenção, ainda que sejam obras de tratamento superficial de aspectos de manutenção para garantia de níveis mínimos de qualidade, pode-se constatar a elevada complexidade presente, pois diversos agentes são envolvidos, incluindo órgãos públicos e privados, além da exigência de adaptação a diversidades externas, como condições climáticas que podem causar a paralisia da obra e prejudicar o seu cronograma.

Nota-se a dificuldade da adequação do mercado às novas tecnologias, como o uso de equipamentos mais auto eficientes e controles de qualidade com menos interferência humana e mais rápidos, como o uso de laser para medição de temperatura da massa asfáltica, levando à redução de erros.

Quando extrapolam-se as situações presenciadas no estudo de caso para a realidade brasileira conclui-se que há uma falta de cultura que priorize a manutenção preventiva, respeitando o ciclo de vida que as obras de infraestruturas rodoviárias apresentam, que traria benefícios financeiros, de segurança e qualidade.

Porém, há um campo de oportunidades a serem exploradas que passam pela melhoria e implantação de normas, nesse caso normas voltadas para base semirrígida, pela implantação de máquinas e equipamentos mais modernos, os quais trariam eficiência e qualidade na execução dos serviços, bem como a melhoria na qualificação de mão-de-obra no que tange aos cuidados de execução das etapas aqui descritas.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8547** - Pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman, 1984.

AUSTROADS. **Guide to Pavement Technology**- Part3: Pavement Surfacing. First edition. Sydney, 2009.

AUSTROADS. **Guide to Pavement: Technology** - Part 4B: Asphalt. Second edition. Sydney, 2014.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos asfálticos**: Patologias e Manutenção. 1 ed. São Paulo: Plêiade, 1997.

BARELLA, R. M. **Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais**. Dissertação de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

BARROS, A. M. T. C. **Análise Preliminar de Riscos na Atividade de Pavimentação Asfáltica**. Revista Cognition, v. 1, 2014.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 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**, 2001.

CIDADES PAULISTAS. **Rodovias Concedidas no Estado**. Disponível em: <<http://www.cidadespaulistas.com.br/prt/cnt/mp-conces.html>>. Acesso em: 21 Jun. 2018.

CONCESSIONÁRIA RIO-TERESÓPOLIS. **Programa Brasileiro de Concessões Rodoviárias**. Disponível em: <[https://www.crt.com.br/conteudo\\_view.asp?id=9951&secao=O+que+e+Concessao+Rodoviaria&IDpai=3 Rod](https://www.crt.com.br/conteudo_view.asp?id=9951&secao=O+que+e+Concessao+Rodoviaria&IDpai=3+Rod)>. Acesso em: 13 Jun. 2018.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER/SP - ET-DE-P00/027 - Concreto Asfáltico**. São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER/SP - ET-DE-P00/020 - Imprimação Betuminosa Ligante** . São Paulo. 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER/SP - ET-DE-P00/027: Concreto Asfáltico**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER/SP - ET-DE-P00/038 - Fresagem de Pavimento Asfáltico**. São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DER/SP - ET-DE-P00/020 - Imprimação Betuminosa Ligante**. São Paulo, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER - PRO - 175/94: Aferição de Viga Benkelman**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER - PRO - 273/96: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo Falling Weight Deflectometer (FWD)**. Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 24/94: Determinação das Deflexões no Pavimento pela Viga Benkelman**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ES 395/99: Pavimentação - pintura de ligação com asfalto polímero**. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Revisão da Norma DNER – ES 307/97: Pavimentos flexíveis – Pintura de ligação - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **159/2011-ES. Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **154/2010-ES - Pavimentação asfáltica – Recuperação de defeitos em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **31/2004-ES. Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia.** Rio de Janeiro. 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 006/2003 - PRO: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** Rio de Janeiro. 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 170/2016 - PRO: Determinação de deflexões utilizando o Curviâmetro - Procedimento.** Rio de Janeiro. 2016.

DRUGOWICH, M. I. **Plano Diretor de Controle de Erosão Rural para o Município de Tatuí-SP.** Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), 2011.

FERNANDES, R. **Desenvolvimento de correlação entre os ensaios DCP e CBR. Estudo de Caso: Pista de Testes.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

GEWEHR, J. ZUBARAN, M. **Usinas de Asfalto - Tecnologias e Processos.** Ciber Equipamentos Rodoviários Ltda 2012.

GUIA GEOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapas de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.sp-turismo.com/mapas.htm>>. Acesso em: 22 Jun. 2018.

LEME, R. C. B. **A dinâmica da paisagem na microbacia do Ribeirão dos Gaúchos - Oeste Paulista - Brasil.** Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal8/Procesosambientales/Hidrologia/05.pdf>>. Acesso em: 22 Jun. 2018.

LUIS, A. D. **Utilização do equipamento tipo FalingWeightDeflectometer para medição de deflexão recuperável para diferentes tipos de pavimento asfáltico.** Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2009.

MONTEIRO, C. A. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo em forma de atlas.** São Paulo: IGEOG/USP, 1973.

OFFICE OF MINNESOTA ROAD RESEARCH. **User Guide to the Dynamic Cone Penetrometer.** Disponível em: <[http://www.dot.state.mn.us/materials/researchdocs/User\\_Guide.pdf](http://www.dot.state.mn.us/materials/researchdocs/User_Guide.pdf)>. Acesso em: 21 Jun. 2018.

OLIVEIRA, et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas: IAC/Embrapa, 1999.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISQ) - Emulsão Asfáltica RR-2C.** Rio de Janeiro, 2005.

PREGO, AtahualpaSchmitz Da Silva. **A memória da pavimentação no brasil:** Fatos históricos, recordações e depoimentos. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

RABELER, R. C. **How did this owner realize a 70:1 roi? Using Falling Weight Deflectometer to evaluate pavements did the trick.** SME, 2015. Disponível em: <<http://www.sme-usa.com/blog/geotechnical-engineering-lessons-learned-from-failure-3>>. Acesso em: 21 Jun. 2018.

THE WORLD BANK. **Road Deterioration in Developing Countries:** causes and remedies. 1988. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/722851468162562433/pdf/multi-page.pdf>>. Acesso em: 14 Jun. 2018.