



FAEX - FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE EXTREMA

MARCOS FELIX DE OLIVEIRA

RECONSTRUÇÃO DE TRECHO DE PAVIMENTO SOBRE RODOVIA  
FEDERAL – BR-381 – RODOVIA FERNÃO DIAS

EXTREMA - MG

2018

MARCOS FELIX DE OLIVEIRA

RECONSTRUÇÃO DE TRECHO DE PAVIMENTO SOBRE RODOVIA  
FEDERAL BR-381 – RODOVIA FERNÃO DIAS

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Coordenação de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Extrema como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Luana Bernadete Dariva.

EXTREMA MG

2018

## DEDICATÓRIA

A Juliana Rezende Paiva Felix, minha esposa amada, que de forma incondicional esteve presente e participante de todos os momentos desta jornada e que não mediu esforços para me ajudar nessa etapa tão importante da minha vida.

A minha filha Julia Rezende Paiva Felix, que ilumina minha vida de forma especial e me dá motivos para continuar sempre buscando dar o melhor de mim.

Ao meu pai Sebastião Felix de Oliveira (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente neste momento tão importante da minha vida.

A minha mãe Yvone Fachinelli Felix, exemplo de pessoa que foi e continua sendo minha maior força e inspiração na vida.

Dedico aos meus irmãos Sonia, Daniel Elias Lucas e Andreza, que me impulsionaram todos os dias com palavras de apoio.

Aos meus amigos, Helvécio Tamm, Fernando Henrique, Ricardo Luis da Silva, Rogério Gomes, Giuliano Orlando, Rodrigo Lopes, Priscilla Lazzarini, José Antônio, Dimas Tadeu Barbosa Sampaio, Diogo Bento de Moraes, Gilberto Fixfex, José Aduino, Andrio Marques (in memoriam), José Roberto, Danilo Paoli, entre outros, que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a fazer este curso e estive ao meu lado durante esta longa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força e persistência para superar as dificuldades.

A esta Faculdade, seu corpo docente, direção, administração e colegas que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, possibilitando alçar voos mais altos confiando no ensinamento e ética aqui conquistados.

A minha orientadora, Mestre Luana Bernadete Dariva pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

O presente trabalho refere-se à revisão de literatura sobre características e propriedades de pavimentos flexíveis, com foco em pavimentos rodoviários. Foram descritos os conceitos básicos de pavimentação, os tipos de pavimentos, as principais características funcionais e estruturais de seus componentes, além das principais patologias que acometem os pavimentos, assim como as técnicas de recuperação. Após esta fase, foi realizado acompanhamento com descrição de um estudo de caso de reconstrução de um trecho da Rodovia BR-381 – Rodovia Fernão Dias, obra localizada entre os kms 857+517 e 856+455, Pista Norte, no perímetro urbano da cidade de Pouso Alegre/MG. Durante o período foram realizadas atividades de acompanhamento da realização do projeto básico, da obra de reconstrução de pavimento em campo, bem como acompanhamento da análise de projetos complementares com auxílio programas específico na sede da Autopista Fernão Dias. Ainda, acompanhamento dos ensaios realizados na obra que foram analisados no Laboratório de pesquisa ligado ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico do grupo Arteris. Após análise foram evidenciadas as seguintes patologias no pavimento: rachaduras, trincas em bloco, interligadas, trilhas de rodas na pista e infiltração de água no subleito. Foram apresentadas as seguintes soluções possíveis: microfresagem do pavimento e micro revestimento asfáltico, fresagem estrutural, reconstrução do pavimento. Optou-se pela reconstrução total do trecho. No processo da reconstrução foram realizados quatro ensaios para acompanhamento e validação da obra: Ensaios com a Viga Benkelman, Ensaio: medição da irregularidade longitudinal de pavimentos com equipamento Merlin, Ensaio para a determinação da densidade do pavimento asfáltico (Densímetro Elétrico, Ensaio para a determinação da mancha de areia (ASTM 965-16).

**Palavras-chave: Engenharia civil; Reconstrução de Pavimento; Patologias do solo.**

## **ABSTRACT**

The present work refers to the study of the characteristics and properties of flexible pavements, with a focus on road pavements. Were described the basics of paving, kinds, the main structural and functional characteristics of its components. Main pathologies in floors and recovery techniques, taking as a case study the reconstruction of a stretch of Highway BR-381-Rodovia Fernão Dias, located between the kms 857 + 517 and 856 + 455, lane North, in the urban perimeter of the city of Pouso Alegre/ MG. During the period were carried out monitoring activities of the realization of the basic design, the work of reconstruction of pavement on the field, well monitoring analysis of complementary projects, with specific programmes at the headquarters of the Highway Fernão Dias. Also monitoring of tests in the work, which were analyzed in the laboratory of research connected to the technological development of the Arteris group. After analysis, the following pathologies were evident in the pavement: Cracks, Block cracks, interconnected, track tracks on the track and infiltration of water in the subgrade. The following possible solutions were presented: microfresagem of the pavement and micro asphalt, structural milling, reconstruction of the pavement. We opted for the total reconstruction of the stretch. In the reconstruction process, four tests were carried out to monitor and validate the work: Benkelman Beam Tests, Test measurement of longitudinal unevenness of floors with Merlin equipment, Test for the determination of asphalt pavement density (Electrical Density, of the sand stain (ASTM 965-16).

**Keywords:** Civil Engineering; Soil Pathologies; Soil reconstruction

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SEGMENTO ENTRE OS QUILOMETROS 856,400 A 857,700, P.N. – SENTIDO BH.....	15
FIGURA 2 - SEGMENTO ENTRE OS QUILOMETROS 856,400 A 857,700, PISTA NORTE .....	16
FIGURA 3 ESQUEMA DE SEÇÃO TRANSVERSAL DO PAVIMENTO .....	18
FIGURA 4 DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS NOS PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS .....	18
FIGURA 5 PAVIMENTO RÍGIDO CORTE LONGITUDINAL.....	19
FIGURA 6 - ESQUEMA DE SEÇÃO TRANSVERSAL DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	20
FIGURA 7 - PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE CP (CORPO DE PROVA) P/ ANÁLISE DAS CAMADAS DO PAVIMENTO.....	25
FIGURA 8- FADIGA DO PAVIMENTO (TRINCAS COURO DE JACARÉ) E DEFORMAÇÃO PERMANENTE (TRILHAS DE RODAS) .....	26
FIGURA 9 - ESQUEMA DE UM DEFLETÔMETRO DE IMPACTO .....	28
FIGURA 10 - VISTA GERAL DO FWD DA EMPRESA DYNATEST .....	28
FIGURA 11 - DETALHE DO SISTEMA DE CARREGAMENTO E DETALHE DO PRATO DE APLICAÇÃO DE CARGA E DA BARRA DE SENSORES .....	29
FIGURA 12 - ESQUEMA DE MEDIDAS COM O FWD .....	29
FIGURA 13 - CENTRO DE CONTROLE DE OPERAÇÃO DA AFD .....	33
FIGURA 14 – MICROFRESAGEM DO PAVIMENTO.....	36
FIGURA 15 – COMPACTAÇÃO DO MICRO REVESTIMENTO .....	37
FIGURA 16 – USINA DE MÉDIO PORTE DE MICRO REVESTIMENTO .....	37
FIGURA 17 – SEGMENTO COM MICRO REVESTIMENTO APLICADO .....	37
FIGURA 18 – FRESADORA - MARCA: WIRTGEN .....	38
FIGURA 19 – RECOMPOSIÇÃO DE CBUQ - .....	39
FIGURA 20 – VISTA AÉREA DA LOCALIZAÇÃO. ....	41
FIGURA 21– VISTA PANORÂMICA DA RECONSTRUÇÃO – KM 857+600.....	41
FIGURA 22– SINALIZAÇÃO DE OBRA – PISTA DUPLA .....	42
FIGURA 23 – FRESAGEM .....	43
FIGURA 24– REMOÇÃO MECANIZADA.....	44
FIGURA 25 – MELHORIA SUBLEITO .....	44
FIGURA 26 – LANÇAMENTO DE 1ª CAMADA DE MACADAME SECO (RACHÃO) / CAMADA DE ENCHIMENTO, CONSTITUÍDA DE AGREGADOS MIÚDOS / COMPACTAÇÃO .....	45
FIGURA 27 – LANÇAMENTO DE 2ª E 3ª CAMADAS DE MACADAME SECO (RACHÃO) / – BASE DE BGS (CAMADA DE ENCHIMENTO, CONSTITUÍDA DE AGREGADOS MIÚDOS).....	46
FIGURA 28 – BASE DE BGS (CAMADA DE ENCHIMENTO, CONSTITUÍDA DE AGREGADOS MIÚDOS) / COMPACTAÇÃO E VERIFICAÇÃO PELA VIGA BENKELMAN .....	47
FIGURA 29 – IMPRIMAÇÃO ASFÁLTICA .....	48
FIGURA 30– PINTURA DE LIGAÇÃO.....	49
FIGURA 31 - 1ª CAMADA CBUQ / COMPACTAÇÃO.....	50
FIGURA 32 – 2ª E 3ª CAMADAS CBUQ / COMPACTAÇÃO .....	51

FIGURA 33 – PINTURA NAS FAIXAS DO PANO EXECUTADO E VERIFICAÇÃO PELA VIGA BENKELMAN .....	51
FIGURA 34 – A E 34 – B - MEDIÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS COM EQUIPAMENTO MERLIN .....	52
FIGURA 35 – A E 35 – B - COLETA DE AMOSTRAS DE MISTURA ASFÁLTICA NA PISTA (ATRÁS DA ACABADORA).....	53
FIGURA 36 – DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN .....	53
FIGURA 37 – MEDIDOR DE DENSIDADE DO ASFALTO (DENSÍMETRO ELÉTRICO).....	55
FIGURA 38 – ENSAIO COM MANCHA DE AREIA .....	55



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Estado de conservação do pavimento.....	19
---	----

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVO.....	16
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	17
2.1 Definição de pavimento .....	17
2.2 Funções do pavimento.....	17
2.3 Estrutura do pavimento .....	17
2.4 Classificação dos pavimentos.....	18
2.4.1 Camadas dos pavimentos flexíveis.....	20
2.4.2 Conservação do pavimento .....	21
2.4.3 Avaliação da Pavimentação Asfáltica .....	22
2.5 Principais tipos de danos ou patologias encontradas nos pavimentos.....	23
2.6 Métodos de avaliação estrutural dos pavimentos .....	24
2.6.1 Métodos destrutivos .....	25
2.6.2 Métodos semi-destrutivos .....	25
2.6.3 Métodos não destrutivos.....	26
2.7 Equipamentos de avaliação do método estrutural não-destrutivo .....	27
2.7.1 Equipamento por impacto <i>falling weight deflectometer</i> (FWD) .....	27
2.7.2 Equipamento Comparativo viga Benkelman x FWD.....	29
2.8 Técnicas de recuperação de patologias em pavimentos asfálticos .....	30
2.9 Considerações Finais sobre Análise Estrutural do Pavimento .....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
3.1 A Empresa Arteris S.A.....	32
3.2 Identificação das estruturas do pavimento .....	33
3.3 Visita no local da obra.....	33
3.4 Setores onde foram realizadas as pesquisas .....	33
3.5 Patologias detectadas no trecho da intervenção .....	34
3.6 Soluções possíveis para as patologias identificadas.....	34
3.6.1 Microfresagem do pavimento e micro revestimento asfáltico. ....	35
3.6.2 Fresagem Estrutural.....	38
3.6.3 Recomposição com CBUQ .....	38
3.7 Resultado referente aos estudos das patologias identificadas entre os km 856,455 ao 857,517 da rodovia Fernão Dias .....	39
4 ESTUDO DE CASO .....	41
4.1 Localização da Obra.....	41

4.2 Etapas de obras da Reconstrução .....	41
4.2.1 Implantação da Sinalização .....	42
4.2.2 Fresagem .....	42
4.2.3 Remoção mecanizada com transporte .....	43
4.2.4 Melhoria e Preparo do subleito .....	44
4.2.5 Sub-base de Macadame Seco .....	45
4.2.5.1 Lançamento da 1ª camada de Macadame Seco .....	45
4.2.5.2 Lançamento da 2ª e 3ª camada de Macadame Seco .....	45
4.3 Base de BGS (Brita Graduada Simples).....	46
4.4 Imprimação Asfáltica .....	47
4.5 Pintura de Ligação.....	48
4.6 Aplicação de CBUQ.....	49
4.7 Pintura e Retirada da Sinalização via Fernão Dias.....	51
4.8 Ensaios realizados durante as etapas da Reconstrução .....	51
5 RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
5.1 Ensaios Realizados .....	56
5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
ANEXOS.....	65

## LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil;

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

## 1 INTRODUÇÃO

A escolha do assunto sobre pavimentação asfáltica foi o intuito de buscar maior conhecimento sobre este tema, principalmente no que se refere às técnicas empregadas no mercado brasileiro e as dificuldades para realização de correções de patologias detectadas na pavimentação de rodovias brasileiras.

Por ser o Brasil um país de dimensões continentais, geram-se grandes dificuldades de comunicação entre as suas várias regiões. A maior forma de locomoção no país se dá através das rodovias, que se constitui na principal via de transporte de cargas e de pessoas em quase todo o território nacional.

Este fato torna as rodovias de extrema importância para a população, em um mundo globalizado é impossível não necessitar de vias pavimentadas para se locomover. Obviamente que em alguns locais nem sempre há uma pavimentação adequada, ou nem mesmo qualquer pavimentação, mas é importante que se entenda que um projeto de um pavimento bem estruturado e bem executado pode trazer benefícios não só para motoristas e sim para a população como um todo.

A falta de investimento do Estado em serviços e infraestrutura neste setor levou as rodovias a um processo de deterioração. A necessidade de reestruturar tais atividades, essenciais para a sociedade, encontrou nas parcerias entre a administração pública e a iniciativa privada uma alternativa para garantir sua reconstrução e desenvolvimento. A transferência de funções entre as partes se deu por meio da concessão, efetivada através de contratos. Assim, a provisão direta dos serviços pelo Poder Público foi substituída pela provisão privada, exigindo do governo a regulação e fiscalização das atividades concedidas como forma de preservar o interesse público e garantir a qualidade do serviço prestado.

Ao longo dos últimos anos, os usuários das principais estradas de rodagem do país, concedidas à iniciativa privada, puderam usufruir de melhorias no que diz respeito às condições do pavimento, sinalização e fluidez do tráfego, além de serviços antes inexistentes ou restritos a apenas alguns poucos trechos, tais como socorro médico e mecânico e informações úteis sobre as rodovias.

Por outro lado, a capacidade de uma pavimentação asfáltica permitir a circulação segura e satisfatória durante todo o seu tempo de vida seria a meta, entretanto, as degradações são inevitáveis, principalmente por causa da falta de projetos bem elaborados de terraplenagem e pavimentação, do uso de materiais de qualidade duvidosa e ao fraco sistema

de drenagem que pode ser crucial durante as intempéries. Colabora ainda neste aspecto, a crescente degradação precoce das rodovias do Brasil devido ao grande crescimento do tráfego pesado, verificado nos últimos anos.

Acidentes podem ocorrer devido a uma má pavimentação. Muitas das vezes os motoristas não têm como escapar das falhas das vias asfálticas, por elas estarem espalhadas pelo trajeto todo, tornando dificultada a passagem dos transeuntes pelas rodovias.

As patologias em pavimentos asfálticos podem surgir devido a um projeto deficiente, pela técnica de construção inadequada ou ainda pela falta de manutenção (fundamental para que atinja a vida útil estimada). A melhor forma de prevenir o aparecimento dos defeitos é observar a qualidade em três pilares: com um bom projeto, uma execução conforme a boa técnica e a constante e periódica manutenção preventiva e corretiva.

A necessidade de manutenção deste setor passa a exigir atividades permanentes, coordenadas e integradas de planejamento e de financiamento.

Aceitam-se pela relevância das necessidades de manutenção do pavimento, interrupções, paralisações do tráfego, assegurando ao usuário, tempos mínimos de percurso além de evitar ocorrência de acidentes.

Neste trabalho, foi realizado o acompanhamento com descrição das etapas de diagnóstico das patologias e posterior reconstrução do pavimento de um trecho na BR-381, Rodovia Fernão Dias. Essas patologias identificadas causavam inconvenientes aos usuários que trafegam neste trecho, principalmente acidentes.

Como o tráfego neste trecho da rodovia é muito intenso, as intervenções são necessárias para garantir qualidade de prestação de serviço e segurança.

Neste sentido os trabalhos de acompanhamento e análise do resultado desta obra de reconstrução deste trecho, garantiu aprendizado na formação de Engenheiro Civil, além de ter auxiliado na construção (reconstrução) de um trecho da rodovia que é de vital importância para o Brasil, por estar ligada diretamente a dois estados brasileiros, quais sejam, estado de São Paulo e Minas Gerais.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

O desenvolvimento econômico de uma determinada área está diretamente relacionado à presença de uma boa malha viária a serviço dos transportes. A preservação e a ampliação da malha viária brasileira são uma das principais condições para o grande salto de

desenvolvimento do país. Vale lembrar que a má conservação das rodovias, acarreta na maior ocorrência de acidentes, maior tempo gasto além de consumo elevado de combustível. Há diversos fatores importantes na determinação da vida útil dos pavimentos, um dos principais é o projeto estrutural. Um pavimento projetado adequadamente é capaz de suportar as cargas advindas do tráfego, transferindo os esforços solicitantes para as camadas subjacentes, prevenindo então danos causados devido ao deslocamento demasiado, como a ruptura ou deformações permanentes (FRANCO, 2007).

O mecanismo de degradação do pavimento depende principalmente das espessuras das camadas, assim como da rigidez das mesmas. O projeto estrutural e espessura e a rigidez das camadas são fatores que determinam a maneira como será distribuída às tensões atuantes, onde camadas mais rígidas e espessas elevam o grau de abertura do cone de tensões e reduzem os esforços solicitantes nas camadas subjacentes. Sendo assim, para que um pavimento seja estruturalmente eficiente, é necessário que haja uma relação intrínseca entre as diferentes camadas do mesmo, assim como possuir espessuras e rigidez adequadas.

O conhecimento do estado funcional e estrutural das vias permite a intervenção nas suas características visando ampliação de sua vida útil, possibilitando assim, melhorias na malha rodoviária brasileira, de forma simples, reduzindo seus custos com as reconstruções.

A Rodovia Fernão Dias é a denominação que a BR-381 recebe este nome no trecho entre duas regiões metropolitanas brasileiras: a Grande São Paulo e a Grande Belo Horizonte. A história da rodovia começa na época dos grupos de conquistadores Bandeirantes.

O bandeirante Fernão Dias Paes Leme, que esteve nos sertões dos atuais estados de São Paulo e Minas Gerais a procura de esmeraldas, foi o responsável pela abertura do caminho original cujo traçado orientou o surgimento conhecida rodovia Fernão Dias.

Em 1959, foi inaugurado pelo presidente Juscelino Kubitschek a ligação Belo Horizonte-Pouso Alegre quando ainda estava inacabada a obra. Apenas em 1961 a rodovia foi totalmente concluída com a finalização das obras no trecho paulista (ALMEIDA, 2004).

Com início em Guarulhos e final em Contagem, a via, que hoje opera integralmente de forma privatizada, passa por 33 municípios ao longo de 570 km, 17 deles no Sul de Minas.

Entre 1995 e 2005, a rodovia foi duplicada entre a capital mineira e paulista pelos Departamentos de Estradas de Rodagem (DER) dos Estados de Minas Gerais e de São Paulo, e vem sendo melhorada gradativamente. No ano de 2007 a rodovia foi a leilão, e a partir daí, foi toda reformada e vem ganhando cada dia mais obras novas de melhoria, o que fez com que o volume diário médio (VDM) aumentasse consideravelmente.

Segundo a Arteris, em média 200 mil veículos passam pela rodovia todos os dias.

Para suportar tal fluxo, é necessário um cuidado especial com o pavimento, que neste caso é literalmente o tapete de visitas da rodovia.

Como pode ser observado, o pavimento pelo qual trafegam os veículos longos e pesados, como carretas bi trens abarrotadas de carga, ou caminhões baú em que a tecnologia ajuda a atingirem altas velocidades mesmo com a carga acima da máxima, é o mesmo pavimento estruturado a cerca de 50 anos atrás para suportar fuscas, Brasília e caminhões Ford. O que vem acontecendo em muitos segmentos, com relação ao pavimento é claro: a estrutura do pavimento não foi feita para suportar tanto peso em altas velocidades como vem acontecendo no presente.

Aliado a isto, tem-se mais dois fatores que contribuem para a degradação do pavimento nas rodovias de nosso país: imprudência na hora de elaborar o projeto do pavimento e imperícia técnica durante a confecção do pavimento. Existem ainda vários vilões que podem ajudar a deteriorar o pavimento, como por exemplo, a não execução de drenagem para escoamento da água de chuva sobre o pavimento, o que faz com que a água empoeçada penetre no pavimento e possa trazer vários problemas.

Após estes comentários percebe-se que a rodovia Fernão Dias, apresenta problemas de pavimentação e isto tem sido objeto de estudo e ações da empresa que a administra. Após análise de um trecho da via (segmento entre os quilômetros 856,455 a 857,517, P.N. – sentido BH) foram evidenciadas várias patologias, que demonstraram problemas estruturais neste ponto da rodovia. Foram analisados os relatórios de monitoração e observação in situ dos problemas detectados. Algumas propostas de soluções para correção das patologias encontradas foram apresentadas pelo departamento técnico da empresa. Com todo esse conteúdo em mãos, justifica-se a elaboração do trabalho de acompanhamento e avaliação das ações que serão implantadas visando correção das patologias detectadas neste trecho da rodovia Fernão Dias.

Figura 1 - Segmento entre os quilômetros 856,400 a 857,700, P.N. – Sentido BH



Fonte: Google Earth – imagens 30/08/2017



## 1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é descrever as patologias diagnosticadas e acompanhar a realização das ações propostas para a reconstrução da pavimentação entre os quilômetros 856,400 a 857,700 da pista norte, da rodovia Fernão Dias, BR-381 (Figura 2). As ações propostas foram baseadas com respaldo técnico da empresa.

Figura 2 - Segmento entre os quilômetros 856,400 a 857,700, pista norte



Fonte: Google Earth – imagens 30/08/2017

## **2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 Definição de pavimento**

Estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, construída sobre o subleito, destinada a resistir e distribuir ao subleito esforços horizontais e verticais, bem como melhorar as condições de segurança e conforto atendendo de forma estrutural e operacionalmente ao tráfego. Tem grande importância socioeconômica atuando de forma marcante no progresso e desenvolvimento das diversas regiões brasileiras. Os pavimentos podem ser classificados como rígido, semi-flexível e flexível (BALBO, 2007).

O pavimento flexível (asfalto) e rígido (concreto) são os tipos de pavimentos mais utilizados no sistema viário brasileiro (CNT, 2017).

### **2.2 Funções do pavimento**

É uma estrutura construída sobre a terraplenagem com as seguintes funções:

- Resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego.
- Resistir aos esforços horizontais, tornando a superfície de rolamento mais durável.
- Melhorar as condições de rolamento quanto à segurança e ao conforto (CNT, 2017).

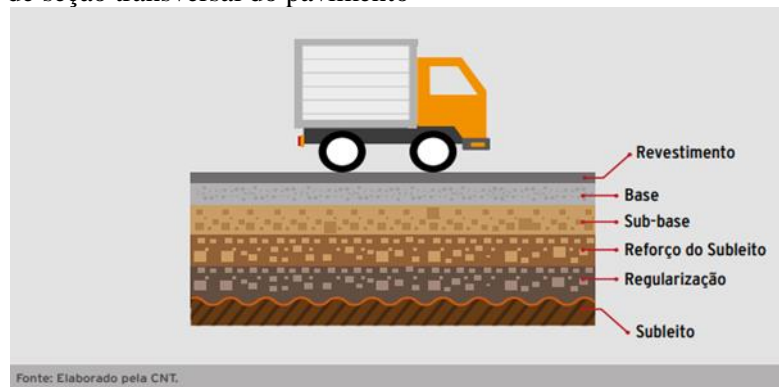
### **2.3 Estrutura do pavimento**

“A estrutura do pavimento é composta por camadas que serão construídas após a terraplenagem do local, acima do subleito e vão variar conforme a solicitação do tráfego no local. Toda a estrutura do pavimento está acima do subleito que funciona como a fundação do sistema que irá receber os esforços absorvidos pelo pavimento. Acima desse subleito basicamente a estrutura do pavimento é constituído de uma regularização do subleito, um reforço de subleito, caso haja necessidade, uma sub-base acima desse reforço de subleito, seguido de uma base e por fim um revestimento” (ROSSI, 2017).

As funções da estrutura do pavimento são de receber os esforços oriundos do tráfego e transmiti-lo para as camadas inferiores de forma aliviada, uma vez que essas são geralmente menos resistentes. Assim, as cargas são transmitidas de forma criteriosa para impedir que ocorram no pavimento deformações/rupturas incompatíveis com a utilização da rodovia, induzindo a um comportamento mecânico inadequado e a uma degradação prematura (CNT, 2017).

Na figura 3 abaixo, são apresentadas as camadas que compõe a estrutura do pavimento, conforme elaborado pelo CNT (2017).

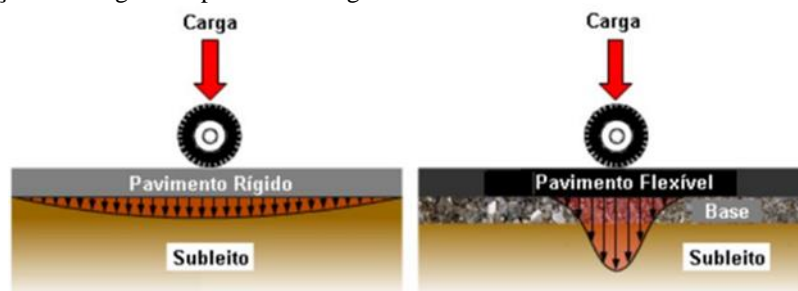
Figura 3 Esquema de seção transversal do pavimento



## 2.4 Classificação dos pavimentos

Bernucci et al. (2006) classificam os pavimentos em rígidos, semi-flexíveis e flexíveis. Os pavimentos semi-flexíveis possuem uma definição semelhante a dos flexíveis, no entanto a base do pavimento é constituída de material estabilizado quimicamente, como: solo-cimento, solo-cal e brita graduada tratada com cimento. Na figura 4 mostra-se a distribuição das cargas em cada um desses tipos de pavimentos.

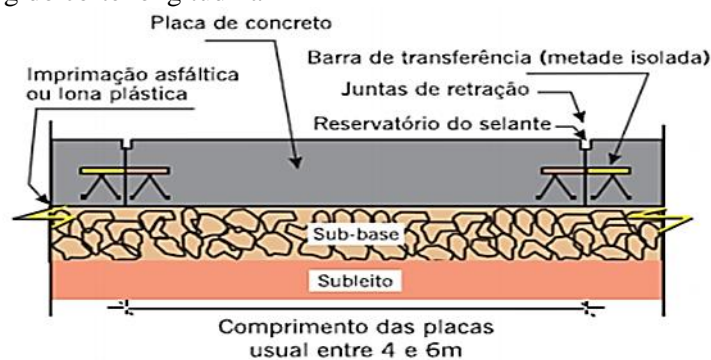
Figura 4 Distribuição das cargas nos pavimentos rígidos e flexíveis



Fonte: Departamento de Transportes da UFPR (2009).

O pavimento rígido, pouco deformável, são substancialmente “mais rígidos” que os flexíveis, devido ao elevado Módulo de Elasticidade do CCP. O revestimento é de concreto de Cimento Portland (CCP), sua espessura é obtida em função da resistência das placas de concreto e da resistência de suas camadas inferiores, recebendo estas, o nome de sub-base e subleito. As placas de concreto nesse pavimento podem ser armadas ou não com vergalhões de aço, possuindo o concreto a resistência suficiente para suportar os esforços do revestimento e da base (Figura 5).

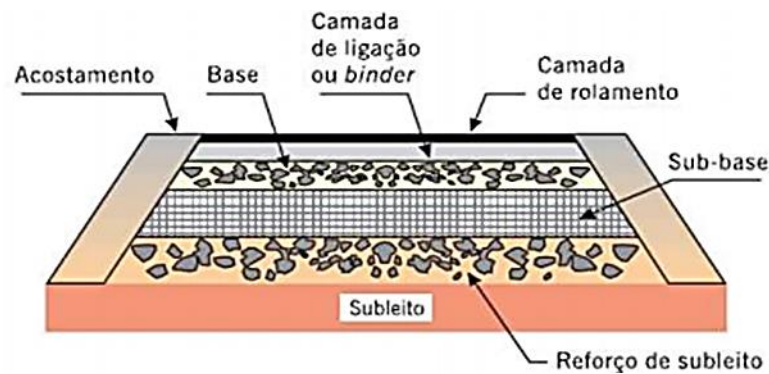
Figura 5 Pavimento rígido corte longitudinal



Fonte: Bernucci et al. (2006)

Os pavimentos flexíveis são aqueles revestidos com materiais betuminosos ou asfálticos. Estes podem ser aplicados como tratamento da superfície do pavimento, tais como Tratamentos Superficiais Duplos ou Triplos (TSD ou TST), utilizados geralmente em estradas de volume mais baixo, ou camadas de mistura asfáltica, geralmente Concretos Betuminosos Usinados a Quente (CBUQ) em vias de volume mais elevados. Estes tipos de pavimentos são chamados de flexíveis, uma vez que a estrutura do pavimento “flete” devido às cargas do tráfego. Uma estrutura de pavimento flexível é composta geralmente de diversas camadas de materiais que podem acomodar esta flexão da estrutura (ODA, 2014). Na figura 6 observa-se as subcamadas do pavimento flexível.

Figura 6 - Esquema de seção transversal do pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al. (2006)

### 2.4.1 Camadas dos pavimentos flexíveis

**Revestimento:** camada destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, a impermeabilizar o pavimento, a melhorar as condições de rolamento, no que se refere ao conforto e à segurança, e a transmitir, de forma atenuada, as ações do tráfego às camadas inferiores.

**Base:** camada destinada a resistir às ações dos veículos e a transmiti-las, de forma conveniente, ao subleito.

**Sub-base:** camada complementar à base, com as mesmas funções desta e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura da base.

**Reforço do subleito:** camada existente, no caso de pavimentos muito espessos, executadas com o objetivo de reduzir a espessura da própria sub-base.

**Regularização do subleito:** camada de espessura variável, executada quando se torna necessário preparar o leito da estrada (ROSSI, 2017).

As características marcantes do pavimento flexível são (ODA, 2014):

- O material da superfície de rolamento é uma mistura asfáltica, composta de asfalto e material pétreo (pedra britada). É esbelta e relativamente flexível. O asfalto participa com teores de 5 e 10%. A mistura mais nobre é o concreto asfáltico usinado, que tem os menores teores de asfalto e maior densidade. Menos nobres e mais ricos em asfalto são os tratamentos superficiais, construídos no local e de maneira mais artesanal;

- A camada estruturalmente mais importante é a base, que receberá grandes tensões do tráfego, pois o revestimento betuminoso não tem espessura e rigidez suficiente para distribuir as tensões como acontece no pavimento rígido;

- A base é, de modo geral, entre 5 e 20 vezes mais espessa que o revestimento

betuminoso;

- A distribuição de tensões se dá mais devido à espessura que devido à rigidez das camadas, que podem ser granulares e não apresentar resistência à tração;
- Para a mesma carga os pavimentos flexíveis têm espessura total 1,5 a 2 vezes maior que os rígidos;
- Além disso, o nível de tensões a que o subleito é submetido é maior nos pavimentos flexíveis;
- As misturas betuminosas são sensíveis aos combustíveis, principalmente diesel e querosene;
- A vida útil e o intervalo entre manutenções são menores que no rígido.

#### 2.4.2 Conservação do pavimento

A conservação do pavimento tem como seu principal objetivo preservar as características técnicas e físico-operacionais do sistema rodoviário, além das instalações fixas dentro dos padrões de serviços estabelecidos, sendo divididos nos conjuntos de operações rotineiras, periódicas e de emergência (DNIT, 2005):

Quanto ao estado de conservação do pavimento (serventia) este pode ser classificado (método da AASHTO, 2009) conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Estado de conservação do pavimento

<b>Classificação</b>	<b>Estado do pavimento</b>
0 – 1	Muito mau
1 – 2	Mau
2 – 3	Regular
3 – 4	Bom
4 – 5	Muito Bom

Fonte: Rodriguez, 2004.

a) Qualificação 5.0: corresponde a uma superfície de rolamento em perfeitas condições, com textura adequada, impermeável à água e com uma rugosidade superficial que é antiderrapante.

b) Qualificação 4.5: corresponde às superfícies em bom estado de rolamento, mas apresenta pequenos defeitos muito isolados, como fissuras não superior a 3 mm e ondulações ou depressões que não excedam a um centímetro.

c) Qualificação 4.0: Presença de fissuras de 3 mm interligadas, formando um aspecto

de couro de jacaré, na faixa de rolamento, mas não mais de 5m<sup>2</sup>, ondulações e depressões que não excedam 1,5 cm áreas isoladas.

d) Qualificação 3.5: Fissuras de 3 mm em forma de crocodilo ultrapassando áreas de até 20 m. Ainda assim você pode desenvolver velocidades operacionais com absoluta segurança e conforto.

e) Qualificação 3.0: Fissuras na forma de pele de crocodilo em grandes áreas de aproximadamente 100 metros lineares. Fissuras longitudinais isoladas de até 1 cm de largura. Ondulações e depressão grave, mas não mais do que 2,5 cm.

f) Qualificação 2.5: Fissuras generalizadas na forma de couro de crocodilo. Fissuras frequentes de 1 cm de largura. Ondulações, depressões e assentamentos frequentes da ordem de 2,5 cm ou mais, mas não mais do que 4,0 cm.

g) Qualificação 2.0: Fissuras com deslizamentos generalizados. Assentamentos, ondulações e depressões de 2,5 e 4,0 cm.

h) Qualificação 1.5: Fissuras generalizadas de todos os tipos. Assentamentos com frequência, alguns com mais de 4,0 cm. Textura inadequada, áreas lisas ou não. Não oferece o conforto adequado.

i) Qualificação 1,5-0: Assentamentos e depressões da ordem de 10 cm.

### **2.4.3 Avaliação da Pavimentação Asfáltica**

As múltiplas camadas do pavimento são capazes de suportar a ação danosa do tráfego e do meio ambiente. O desempenho de um pavimento é condicionado por um complexo conjunto de fatores, dentre eles as propriedades físicas e mecânicas que o constitui (BERNUCCI et al, 2006).

As camadas de revestimento incluem componentes de alto custo e merecem atenção especial. Dentre os fatores que influenciam o desempenho de uma camada asfáltica pode-se citar: características dos materiais, dosagem, condições de compactação, processo construtivo e plano de manutenção e restauração (SPECHT, 2004).

Conforme Bernucci et al (2006), as estruturas asfálticas não sofrem danos de forma súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de início de abertura ao tráfego. Na avaliação da estrutura asfáltica associam-se os conceitos: serventia (grau com que o pavimento atende aos requisitos de conforto ao rolamento e segurança, nas velocidades operacionais da via e em um determinado momento de sua vida de serviço); desempenho (variação da serventia ao longo do tempo); gerência (administração, gestão e otimização dos

recursos aplicados em determinado pavimento asfáltica); restauração (conjunto de operações destinadas a restabelecer na íntegra ou em parte as características técnicas originais de um pavimento); manutenção preventiva (operação de correções localizadas que não atingem a maioria da superfície do pavimento); reforço (operação de restauração onde se aproveita o valor residual da estrutura do pavimento); reconstrução (é o refazimento do pavimento, em toda a sua estrutura, desde o subleito, ou a partir da sub-base com retirada de todo o material de base e revestimentos antigos e substituindo por reciclagem dos mesmos ou materiais novos, com ou sem adição de estabilizantes, que podem ser o asfalto-espuma, cimento Portland ou cal hidratada). Em seguida à reciclagem constrói-se nova capa asfáltica como revestimento.

O pavimento asfáltico pode ser avaliado ainda conforme os critérios, funcional e estrutural e o nível mínimo aceitável para estes parâmetros, definem o momento de fazer a intervenção corretiva de restauração ou reforço. Essas avaliações compreendem um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados, informações e parâmetros que permitem diagnosticar os problemas (patologias) e interpretar o desempenho apresentado pelo pavimento, de modo que possa detectar as suas necessidades atuais e futuras de manutenções (PRESTES, 2001).

Assim como uma máquina, o pavimento necessita de cuidados especiais, como uma manutenção periódica e avaliações constantes. A avaliação funcional traz resultados como o conforto ao rolamento, condições de superfície, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades. Para os usuários, os critérios funcionais são as mais importantes, porque os defeitos na superfície do pavimento afetam diretamente o conforto e segurança na estrada.

Já o critério estrutural está associado ao conceito de capacidade de carga, que se liga automaticamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento, objeto deste estudo.

## **2.5 Principais tipos de danos ou patologias encontradas nos pavimentos**

A durabilidade de uma rodovia está ligada a três grandes pilares: elaboração de um bom projeto, que especifique as camadas do pavimento de acordo com as condições do local e volume de tráfego; execução satisfatória das obras, com monitoramento adequado da qualidade dos serviços e materiais utilizados; manutenção preventiva e corretiva do pavimento.

Bernucci et al (2006), coloca que falha em cada uma dessas etapas podem resultar em defeitos prematuros nas rodovias, ocasionando as patologias dos pavimentos asfálticos. Os



principais tipos de patologias catalogados pela norma brasileira e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); corrugações e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); remendos (R). Do ponto de vista de sua natureza, estes defeitos podem ser classificados em superficiais, de deformação e de remendos. Ainda são encontrados outros defeitos como trincamentos por fadiga (tipo couro de jacaré), os trincamentos transversais, longitudinal, em bloco, por propagação de juntas, na borda, parabólico e os fissuramentos (DNIT 005, 2003). Entretanto todas essas patologias são progressivas podem se estender às bases e sub-bases ou são falhas no processo de aplicação de medidas preventiva, corretivas ou mitigadoras. As detecções dessas patologias podem ser realizadas por metodologias visuais ou automatizadas (laser).

## **2.6 Métodos de avaliação estrutural dos pavimentos**

A avaliação estrutural dos pavimentos consiste em uma série de atividades desenvolvidas para verificar a capacidade de um pavimento a resistir mecanicamente aos efeitos dos carregamentos com o tempo, de forma a planejar ou não atividades de reparos (METOGO, 2015).

A partir da sua abertura ao tráfego, o pavimento está sujeito a ciclos de carregamentos provenientes da passagem dos veículos e ações climáticas. Em decorrência desses carregamentos, a estrutura passa a sofrer deformações que podem ser separadas em elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes. A repetição das deformações elásticas durante a vida útil do pavimento, assim como o acúmulo das deformações permanentes são respectivamente, os principais responsáveis pelo surgimento de trincas por fadiga e afundamentos no pavimento. A ocorrência e o nível de gravidade dessas deformações são intimamente ligados às características estruturais do pavimento, em outros termos, às espessuras das suas camadas e aos tipos e propriedades mecânicas dos seus materiais (METOGO, 2015).

Os principais objetivos da avaliação estrutural dos pavimentos asfálticos são: identificar os tipos de materiais que compõem uma estrutura de pavimento e determinar suas espessuras e suas propriedades mecânicas. Entre essas, destacam-se os módulos de elasticidade e os módulos resilientes. Os métodos de avaliação com a finalidade de atingir os objetivos se dá por métodos destrutivos, semidestrutivos e não destrutivos.

### 2.6.1 Métodos destrutivos

Investiga a condição estrutural do pavimento, camada a camada, através de abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material, indo até o subleito (Figura 7). Permite também realizar ensaios de capacidade de carga in-situ. Por se tratar de um método de natureza destrutiva e só pode ser empregado em alguns pontos pré-selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado.

Figura 7 - Processo de extração de CP (corpo de prova) p/ análise das camadas do pavimento.



Fonte: Autor (2018)

Ainda na Figura 5, é possível identificar os tipos de materiais das camadas e subleito, as espessuras das camadas e fazer coleta de amostras para ensaios de laboratório. É possível determinar a massa específica e a umidade de cada camada para comparar com as condições de umidade ótima e massa específica máxima dos ensaios de compactação e desta forma, avaliar eventuais excessos de umidade ou deficiência de grau de compactação. A extração de corpos de prova permite avaliar o grau de envelhecimento do ligante por exemplo.

### 2.6.2 Métodos semi-destrutivos

Um método semi-destrutivo é aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar

a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP. Não são ensaios muito comuns ainda, mas tendem a melhorar no quesito tecnológico.

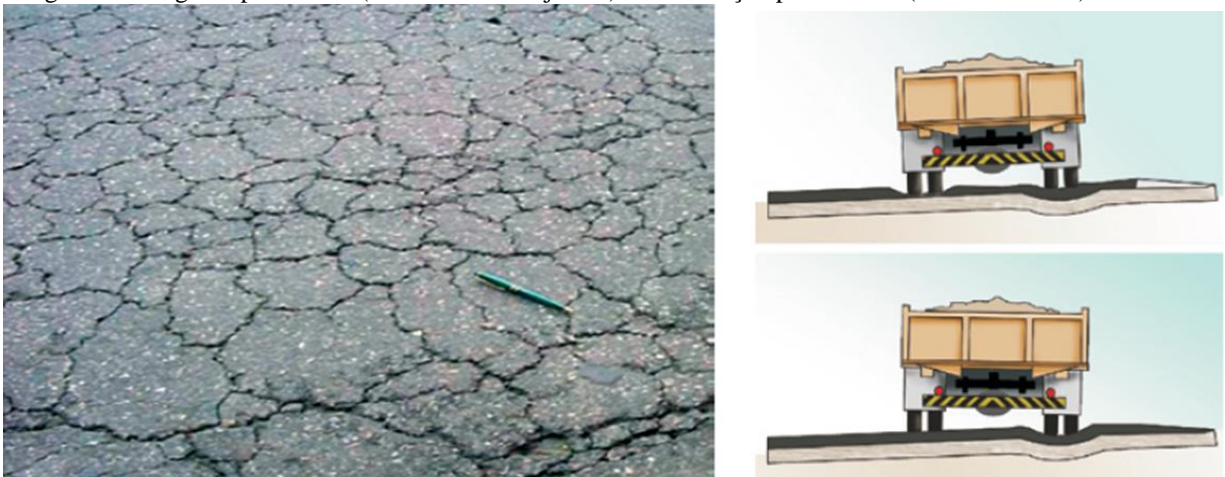
### 2.6.3 Métodos não destrutivos

Sem dúvida alguma o método mais utilizado devido a sua praticidade e funcionalidade. Para grandes extensões de pistas é a mais rápida também. A medição é feita a fim de acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo. A cada passagem de roda o pavimento sofre um deslocamento total que tem dois componentes: deformação elástica, cuja medida de deflexão é a principal forma de avaliação estrutural de um pavimento em uso e deformação permanente, que resulta no afundamento de trilha de roda cuja medida também é um critério de definição de vida útil estrutural e funcional, pois a partir de determinado período, pode interferir na condição de conforto e segurança do tráfego.

Quando se mede o deslocamento elástico em vários pontos a partir da carga tem-se a denominada bacia de deflexão ou linha de influência da carga sobre um ponto do pavimento (DNER-ME 061/94).

Como exemplo de patologia proveniente da repetição das deformações elásticas em pavimento de revestimento de concreto asfáltico tem-se o “couro de jacaré”, conforme observado na Figura 8. Também é observado na Figura 8, o resultado do acúmulo de deformações permanentes, as chamadas trilhas de rodas, que podem ocorrer tanto no revestimento quanto no subleito ou em todas as camadas do pavimento.

Figura 8- Fadiga do pavimento (trincas couro de jacaré) e deformação permanente (trilhas de rodas)



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006, p. 445

## 2.7 Equipamentos de avaliação do método estrutural não-destrutivo

Para o método estrutural não destrutivo, existem hoje no mercado equipamentos que podem ser divididos da seguinte forma:

Carregamento quase-estático: é necessário andar pela rodovia passando um aparelho chamado de viga Benkelman. Foi desenvolvido na década de 1950 e foi introduzido no Brasil em 1962 (CARNEIRO, 1965). Processo lento.

Carregamento por impacto: FWD falling weight deflectometer (FWD). Trata-se de um peso-batente, de retorno imediato. Introduzido no Brasil em 1980 (DNER, 1998).

Ambos os equipamentos devem ser constantemente calibrados por processos específicos e seguem rotinas de aplicação determinada pelo tipo de carregamento (ASTM D 4695). Os equipamentos servem para avaliação estrutural e medem os seguintes parâmetros:

Deflexão máxima: deslocamento sob o centro de carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (viga Benkelman).

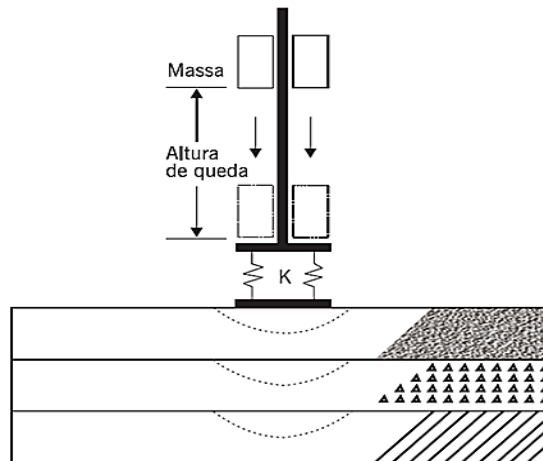
Raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga Benkelman), normalmente sob a carga e a 25cm do centro da mesma.

Bacia de deformação: medidas dos deslocamentos elásticos ou recuperáveis em vários pontos a partir do centro do carregamento.

### 2.7.1 Equipamento por impacto *falling weight deflectometer* (FWD)

Conforme Bernucci et al. (2006), “os equipamentos mais atuais de medida dos deslocamentos elásticos de um pavimento são os de impacto por queda de um peso suspenso a certa altura, sobre amortecedores que comunicam o choque a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento no ponto de leitura da deflexão máxima (Figura 9).

Figura 9 - Esquema de um defletômetro de impacto



Fonte: Bernucci *et al.*, 2006, p.450

Segundo as normas do DNER-PRO 273 e ASTM D 4695, o equipamento é totalmente automatizado, rebocado por um veículo, geralmente uma caminhonete, que carrega parte do sistema de aquisição de dados feitos por computador, conectados aos sensores instalados na parte rebocada, que é o defletômetro (Figura 10).

Figura 10 - Vista geral do FWD da empresa Dynatest



Fonte: Bernucci *et al.*, 2006, p.451

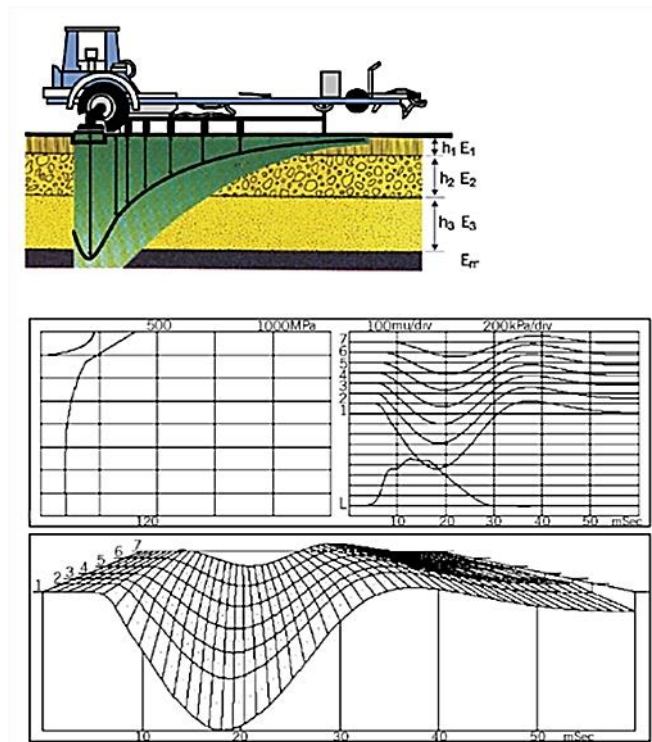
O ensaio consiste em se aplicar a carga de impacto e ler os deslocamentos em vários sensores colocados ao longo de um suporte em posições convenientemente escolhidas para se obter a linha de deslocamentos. Note-se que essa é uma diferença importante entre o FWD e a viga Benkelman. Outra diferença marcante está na forma de aplicação da carga: dinâmica no FWD e quase estática na VB (BERNUCCI *et al.*, 2006), o que faz que para extensões maiores e para pavimentos já concluídos, o FWD seja mais usado que a viga Benkelman (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Detalhe do sistema de carregamento e detalhe do prato de aplicação de carga e da barra de sensores



Fonte: Bernucci *et al.*, 2006, p.451

Figura 12 - Esquema de medidas com o FWD



Fonte: Dynatest Engenharia Ltda

### 2.7.2 Equipamento Comparativo viga Benkelman x FWD

O FWD é mais preciso que a viga Benkelman pelo fato de que quando aplicada a carga de impacto vários sensores ao longo de um suporte em posições convenientes

escolhidas para se obter a linha de deslocamentos fazem a leitura automatizada. Enquanto que na viga a leitura é feita uma a uma, o que faz com que a viga seja quase estática, ao contrário do dinamismo do FWD.

O FWD leva vantagem ainda sobre a viga convencional na acurácia nas medições, ou seja, na precisão dos resultados. Também leva no quesito produtividade, onde mais pontos são lidos por dia. E para a fiscalização é melhor que a viga pelo fato do resultado não poder ser alterado pelo operador. O resultado nos ensaios feitos na viga pode ser alterado. Porém o FWD é caro, necessita de calibração mais sofisticada e apresentam resultados diferentes de leitura para diferentes marcas.

Tanto o FWD quanto a viga Benkelman podem ser usados no controle da capacidade de suporte das camadas do pavimento desde a sua construção, o que vem sendo cada vez mais usado no país com muitas vantagens (SOARES *et al.*, 2000).

A ordem de grandeza das deflexões dos pavimentos asfálticos varia muito com as características da estrutura, o tipo de revestimento, o nível de trincamento, as condições climáticas etc. Mas como valor típico pode-se indicar de 30 a 50 ( $\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de concreto asfáltico e base granular em boa condição estrutural, e da ordem de 80 ( $\times 10^{-2}$ mm) para um pavimento com revestimento de tratamento superficial (BERNUCCI *et al.*, 2006).

## **2.8 Técnicas de recuperação de patologias em pavimentos asfálticos**

Quando o pavimento se aproxima do fim de sua vida útil, há necessidade de manutenção e reparos com maior frequência. É necessário fazer o diagnóstico das patologias, identificando os defeitos e suas prováveis causas, buscando a partir deste levantamento determinar as possíveis soluções e qual dessas medidas é a mais viável (MOTA, 2017).

Para realizar as recuperações de trincas pode-se utilizar as técnicas de capa selante, tratamento superficial, lama asfáltica e micro revestimento asfáltico (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Existem duas técnicas básicas: o recapeamento e a fresagem. Rocha (2010) descreve que o recapeamento é a construção de uma ou mais camadas asfálticas sobre o pavimento já existente incluindo geralmente uma camada para corrigir o nivelamento do pavimento antigo, seguida de uma camada com espessura uniforme. Enquanto (BERNUCCI *et al.*, 2006) referem que a fresagem é a operação de corte do revestimento asfáltico existente em um trecho para restauração da qualidade ao rolamento da superfície ou melhorar sua capacidade de suporte.

Segundo Rocha (2010) as técnicas recomendadas para recuperar pavimentos com ondulações/corrugações também são as mesmas utilizadas na recuperação dos afundamentos, o recapeamento e a fresagem, como já descrito.

Panela ou buraco é uma patologia que se forma no revestimento podendo atingir a camada de base. Podem evoluir de patologias como trincas, afundamentos ou desgaste Superficial. A recuperação das painelas ou buracos pode ser feita por meio de remendos, desde que bem executados. Ele será superficial se o defeito é encontrado em pequena proporção. Será executado através de um corte reto no revestimento (normalmente formando um retângulo), formando um ângulo de 90° com a superfície, mas evitando o desmoronamento do revestimento. Em seguida será imprimado todo o local, inclusive nas bordas do corte (1 metro a partir delas é, geralmente, suficiente) para selar trincas e depois será aplicado novo pavimento asfáltico, para a recuperação superficial, ou, no caso de recuperação profunda, envolverá todas as camadas do pavimento (SILVA, 2011).

A técnica de remendos é a mais usada e eficiente, só que nem sempre ela é executada da forma correta e necessária, levando problema no próprio remendo, requerendo nova recuperação com o passar do tempo. Se o remendo é executado de forma errada (simples vedação de painelas, sem corte algum, sem imprimação), a única solução eficiente é remover o remendo e executar a técnica descrita no item anterior.

Para a recuperação da desagregação, em casos de menor intensidade, utiliza-se a lama asfáltica, porém antes deve ser analisada a estrutura do pavimento. Se a estrutura estiver muito comprometida, deve-se proceder no trecho afetado a remoção do pavimento e reconstrução da base, sub-base e uma re-pavimentação, com procedimento semelhante ao de recuperação de painelas.

## **2.9 Considerações Finais sobre Análise Estrutural do Pavimento**

A avaliação estrutural é fundamental para determinar a capacidade de carga de um pavimento desde a sua construção e ao longo da sua vida para definir a época mais adequada de fazer uma intervenção de restauração e qual deve ser a técnica a ser empregada. Para este trabalho, esta avaliação tornou-se necessária para identificação do problema no segmento a ser reparado. Após identificação da patologia do pavimento, procedeu-se a análise do melhor método a ser aplicado e proceder a restauração do mesmo.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre literatura específica, bem como estudo da parte técnica.

Foram realizadas visitas no trecho específico da intervenção na rodovia Fernão Dias, com o objetivo de conhecer, interagir com o meio e documentar todas as etapas de intervenção naquele trecho. Após várias visitas no local com equipe técnica da empresa, elaborou-se um diagnóstico sobre o pavimento da rodovia, naquele trecho objeto da intervenção. A parte prática deste trabalho, ocorreu entre os meses de julho a novembro de 2018 (total de 100 dias).

Adotou-se o estudo de caso como estratégia de pesquisa, objetivando aplicar os recursos propostos pela equipe técnica, baseados no diagnóstico das patologias encontradas para a intervenção de reparo no trecho.

Foram seguidas as recomendações normativas denominadas especificações de serviço, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) que oferece subsídios técnicos para garantir a qualidade da pavimentação em território brasileiro, especificando cada etapa de execução da construção de um determinado pavimento, tanto em rodovias federais como em perímetros urbanos.

#### 3.1 A Empresa Arteris S.A.

A Arteris iniciou suas atividades no Brasil em 1997 e participou da primeira fase do Programa de Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo. Após adquirir as concessionárias estaduais Autovias, Centrovias, Intervias e Vianorte, a empresa e o Governo Federal assinaram os Contratos de Concessão por 25 anos para a gestão e operacionalização de 2.079 km de cinco lotes de rodovias federais do país: Fernão Dias, Régis Bittencourt, Fluminense, Litoral Sul e Planalto Sul.

A Arteris S.A. é uma empresa com controle acionário exercido pela “Partícipes em Brasil S.L”, companhia que tem suas ações divididas em 51% pela Abertis Infraestruturas S.A. e 49% pela Brookfield Motorways Holdings SRL.

Hoje a Arteris é uma das maiores companhias do setor de concessões de rodovias do Brasil em quilômetros administrados, com mais de 3.250 km em operação. Na figura 13, o Centro de Controle Operacional da AFD.

Figura 13 - Centro de Controle de Operação da AFD



Fonte – Manual de Sinalização de Obras e Serviços – Arteris

### **3.2 Identificação das estruturas do pavimento**

Baseadas nas informações levantadas junto ao DNIT foram identificadas as estruturas do pavimento neste exato local, através de relatórios de controle tecnológico, relatórios de sondagem e análise de Viga Benkelman.

### **3.3 Visita no local da obra**

Na primeira visita ao campo, o trânsito intenso dificultou o registro fotográfico. Por questões de segurança a visita foi rápida. Na segunda visita, sendo esta mais demorada por ter sido realizada em um fim de semana, foi possível uma análise mais detalhada do local.

Em seguida foi iniciada a busca pelos documentos referentes à monitoração mais atual daquele segmento. Com a documentação em mãos, o trabalho ganhou embasamento técnico e a partir daí foi possível à busca pela literatura ideal e enfim, começar a ser escrito.

A literatura utilizada com maior frequência é o livro de pavimentação asfáltica elaborado por autores diversos (Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros), que é normalmente utilizada por vários profissionais do ramo.

### **3.4 Setores onde foram realizadas as pesquisas**

Para a realização desta pesquisa, buscou-se informações na sede da Concessionária, local em que chegavam diariamente os relatórios que eram elaborados com o acompanhamento da obra em campo, verificando/observando cada etapa de execução. Os

ensaios que foram realizados em campo eram enviados ao laboratório de pesquisa, para serem avaliados. Neste local era verificado a concordância com a norma técnica, que são elaborados pelo Centro de Desenvolvimento Tecnológico da empresa Latina Manutenção de Rodovias, especializada na conservação, sinalização, manutenção e reparo de rodovias, bem como gerenciamento e fiscalização de obras viárias.

O Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Latina Manutenção de Rodovias possui equipamentos necessários para caracterização, dosagem e avaliação de desempenho mecânico de materiais de pavimentação, estruturas de obras arte especiais e sinalização viária. Desenvolve pesquisas na área de infraestrutura rodoviária e conta com um grupo de funcionários qualificados para a execução de ensaios normatizados, seguindo um padrão de qualidade internacional.

### **3.5 Patologias detectadas no trecho da intervenção**

Após visita ao local analisando junto à equipe técnica, constatou-se que no local onde o solo se encontrava mais deteriorado, foram encontradas rachaduras, trincas interligadas e trilhas de rodas na pista sob com ação do tempo por trafegabilidade dos veículos de passeios e comerciais e infiltração de água no subleito, provocando bombeamento na superfície.

### **3.6 Soluções possíveis para as patologias identificadas**

A equipe técnica através de relatórios emitiu a seguinte nota: foram identificados os seguintes problemas geradores da patologia: “apresentava rachaduras, trincas interligadas e trilhas de rodas na pista sob com ação do tempo, trafegabilidade dos veículos de passeios e comerciais e infiltração de água no subleito, provocando bombeamento na superfície”. É sabido onde se localiza geograficamente o segmento, quais patologias apresenta e o motivo causador das mesmas. É necessário então que seja apresentada uma solução que melhor se enquadre a realidade do local.

Quando existe o problema estrutural no pavimento, as alternativas de restauração ou reforço compreendem aquelas que restabelecem ou incrementam sua capacidade estrutural por meio de incorporação de novas camadas à estrutura e/ou tratamento de camadas existentes. Atualmente existem diversas formas de revitalizar o pavimento deformado no mercado da engenharia civil, mas para que se possa analisar com mais detalhes estes trabalhos, serão abordadas três possíveis soluções para o enfrentamento das patologias

encontradas no pavimento que os quilômetros 856,455 e 857,517 da rodovia Fernão Dias: microfresagem do pavimento com recomposição de microrevestimento asfáltico, fresagem estrutural e reconstrução do pavimento. Será apresentado a seguir cada uma destas tecnologias, quais suas vantagens e desvantagens e, posteriormente, será escolhida uma apenas, sendo esta a que melhor atenda as necessidades do local.

### **3.6.1 Microfresagem do pavimento e micro revestimento asfáltico.**

Micro Concreto a Frio de Alto Desempenho (camada SAM - Stress Absorbing Membrane), ou apenas microrevestimento asfáltico, é uma tecnologia desenvolvida a fim de absorver a reflexão de trincas, selar e impermeabilizar os pavimentos. Esta técnica consiste na associação de agregado mineral, material de enchimento, emulsão asfáltica especial contendo polímero, água e aditivos, com consistência fluida, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada. A massa deve ser capaz de ser espalhada em espessuras variáveis da seção transversal (cunhas, trilhas de roda, camadas desgastadas ou irregulares) a qual, após a cura e inicial consolidação pelo tráfego, resiste a deformações em toda a superfície independente do teor de asfalto ou espessura.

O micro concreto a frio pode ser empregado como camada de selagem, impermeabilização e rejuvenescimento ou como camada antiderrapante de pavimentos. Só é permitido o espalhamento de micro concreto a frio quando a temperatura estiver acima de 10°C, e subindo. Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

Os constituintes do micro concreto a frio são: agregado pétreo britado, material de enchimento (cimento ou cal hidratada CH-1), emulsão asfáltica com polímero, aditivos e água. Todos os constituintes devem atender aos limites definidos na especificação de projeto.

- Emulsão asfáltica modificada com polímero – Ligante betuminoso. Os polímeros modificam as seguintes propriedades do asfalto: penetração (redução); ponto de amolecimento (aumento); ductilidade a temperaturas baixas (aumento); tenacidade (aumento); viscosidade a altas temperaturas (aumento).

- Agregado graúdo - suas partículas individuais devem ser resistentes e angulosas, sem partículas acima do diâmetro máximo e livre de torrões de argila. O agregado deve ser 100% triturado. Partículas arredondadas e grandes promoverão o desprendimento das mesmas no pavimento.

- Pó de brita ou pedrisco – Agregado miúdo.

- Podem ser empregados aditivos para acelerar ou retardar a ruptura da emulsão na

execução do micro concreto a frio, com cal. – Aditivo

- Água - Deverá ser limpa, isenta de matéria orgânica, óleos e outras substâncias prejudiciais que possam romper a emulsão asfáltica antes do seu espalhamento. Será empregada na quantidade necessária a promover consistência adequada.

A espessura do microrevestimento fica entre 6mm e 20mm, dependendo do tráfego a ser suportado. Para o trabalho em questão, utilizaremos microrevestimento de 18mm. O mesmo vale para a microfresagem. Será considerado a microfresagem de 18mm.

A microfresagem nada mais é que a fresagem especificada a seguir, porém com uma espessura bem menor. Ela é utilizada para remoção do pavimento danificado existente, conforme Figura 14.

Figura 14 – Microfresagem do pavimento



Fonte: Autor (2018)

O microrevestimento possui boa aderência e alta resistência ao trincamento. A aplicação é rápida e em três horas, na melhor condição climática, o segmento pode ser aberto ao tráfego. Todo o processo de aplicação é por meio da usina móvel, onde a mistura ocorre in-loco. Caminhões abastecem a usina com a mistura de pedrisco e pó de pedra em um silo. No outro é adicionado a cal. Após a mistura feita é adicionado o ligante betuminoso e aplicado o microrevestimento. Pelo fato do ligante possuir água, é necessário esperar que esta água seque completamente. Na usina é possível determinar a espessura do microrevestimento a ser aplicado. Em seguida o rolo compactador liso (Figura 15) para compactação do microrevestimento.

Figura 15 – Compactação do micro revestimento



Fonte: Autor (2018)

Uma usina de médio porte (Figura 16) produz 500 metros lineares quando carregada.

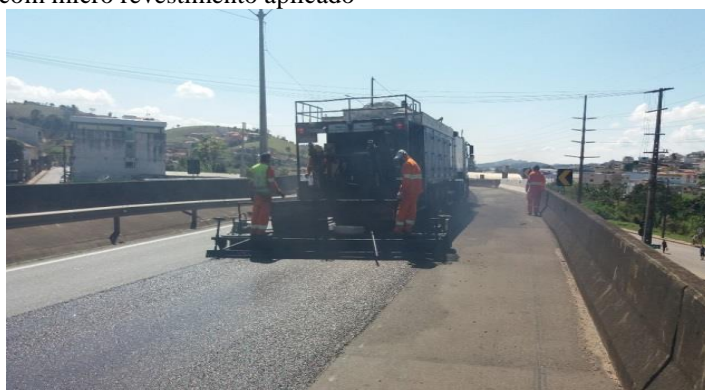
Figura 16 – Usina de médio porte de micro revestimento



Fonte: Autor (2018)

Por dia é possível microfresar e aplicar 2.000 metros lineares de microrevestimento em boas condições climáticas. A Figura 17 demonstra um segmento com microrevestimento aplicado.

Figura 17 – Segmento com micro revestimento aplicado



Fonte: Autor (2018)

Os contras é que o spray e o barulho interno dentro do carro aumentam muito para o usuário nos segmentos onde existe o microrevestimento aplicado.

### 3.6.2 Fresagem Estrutural

A fresagem consiste no corte de uma ou mais camadas do pavimento asfáltico por intermédio de processo mecânico a frio. Para isso, utiliza-se a fresadora (Figura 18). Efetuam-se cortes por movimento rotativo contínuo, levando-se depois o material fresado para o caminhão basculante que irá efetuar o transporte do material para o local de destino (botafora). É fundamental que a fresagem dê origem a uma superfície aparentemente uniforme, permitindo que o tráfego se desloque de forma suave e confortável. A profundidade do corte deve ser controlada de forma rigorosa.

Figura 18 – Fresadora - Marca: Wirtgen



Fonte: Autor (2018)

A finalidade da fresagem é a remoção de camadas do pavimento antes da execução da recomposição com CBUQ (Figura 19). Áreas com defeitos que afetem o bom serviço do pavimento são alvo desta técnica. Também se utiliza a fresagem para a remoção de pavimentos betuminosos em pontes e outras obras de arte, assim como para melhorar o coeficiente de atrito em zonas de pistas onde ocorram muitas derrapagens.

### 3.6.3 Recomposição com CBUQ

Uma vez que o material fresado não será utilizado, é necessário que o pavimento retirado seja recomposto. Para isso será utilizado o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente). O CBUQ é um dos tipos de revestimentos asfálticos mais utilizados nas vias urbanas e rodovias brasileiras. Os pavimentos são estruturas compostas por múltiplas camadas, sendo

que o CBUQ é a camada responsável por receber e transmitir a carga dos veículos, além de servir de proteção contra o intemperismo.

A fresagem estrutural é indicada nos casos onde a deflexão do pavimento encontra-se entre 50 a 70 (x10-2mm).

Figura 19 – Recomposição de CBUQ -



Fonte: Autor (2018)

A reconstrução do pavimento é indicada nos casos onde a deflexão do pavimento no subleito encontra-se acima de 110 (x10-2mm).

### 3.7 Resultado referente aos estudos das patologias identificadas entre os km 856,455 ao 857,517 da rodovia Fernão Dias

Qual tecnologia adotar neste caso? Antes de qualquer coisa é necessário uma informação primordial: qual a deflexão do pavimento no local citado? Sem esta informação é impossível determinar com precisão qual solução será adotada.

Tal informação depende da leitura da deflexão do local e mais uma vez foi necessário solicitar a cordialidade de uma empresa especializada para que fossem fornecidos estes dados. A empresa Dynatest, de forma bastante gentil e com total ciência da utilização dos dados, não se opôs em fornecê-los. A Tabela 01 demonstra a deflexão do local em estudo.

Tabela 01 – Resultados dos levantamentos deflectométricos pelo Dynatest.

Rodovia	BR-381/MG	Pista: Norte			
Início	Km 949,95	Faixa I	Faixa II	Observação	Solução Prevista
Km inicial	Km final	Valores de Deflexão (0,01 mm)	Valores de Deflexão (0,01 mm)		
856,400	856,500	95,71	97,89		Reconstrução
856,500	856,600	111,12	112,17		Reconstrução



<b>Rodovia</b>	<b>BR-381/MG</b>	<b>Pista: Norte</b>		<b>Observação</b>	<b>Solução Prevista</b>
<b>Início</b>	<b>Km 949,95</b>	<b>Faixa I</b>	<b>Faixa II</b>		
<b>Km inicial</b>	<b>Km final</b>	<b>Valores de Deflexão (0,01 mm)</b>	<b>Valores de Deflexão (0,01 mm)</b>		
856,600	856,700	105,45	106,35		Reconstrução
856,700	856,800	110,15	111,60		Reconstrução
856,800	856,900	112,15	118,27		Reconstrução
856,900	857,000	117,65	123,80		Reconstrução
857,000	857,100	115,48	116,53		Reconstrução
857,100	857,200	100,47	101,37		Reconstrução
857,200	857,300	123,45	124,90		Reconstrução
857,300	857,400	125,47	131,59		Reconstrução
857,400	857,500	132,85	139,00		Reconstrução
857,500	857,600	119,14	120,19		Reconstrução
857,600	857,700	100,12	108,32		Reconstrução

Fonte: Dynatest Engenharia Ltda

Observa-se que em ambas as faixas a deflexão fica entre 90 e 140 ( $\times 10^{-2}$ mm). Isso significa que a intervenção no local deve ser de caráter estrutural e a solução mais indicada foi a “reconstrução em todo o segmento”, mesmo nos locais onde a deflexão ficou abaixo, como estes trechos são isolados, não seria viável aplicar fresagem estrutural, nestes determinados segmentos.

Apesar de possuir custo mais oneroso se comparada com as demais intervenções, a reconstrução possui uma maior durabilidade. Enquanto o micro revestimento tem vida útil estimada de 03 anos e a fresagem de 05 anos, a intervenção com a reconstrução pode levar o pavimento a ficar até 08 anos sem um novo reparo. A intervenção é mais demorada (cerca de três vezes mais tempo), mas seus benefícios superam seus contras. No período da execução da obra, houve prejuízo ao usuário, no entanto os benefícios ao longo do tempo compensam o desgaste do momento.

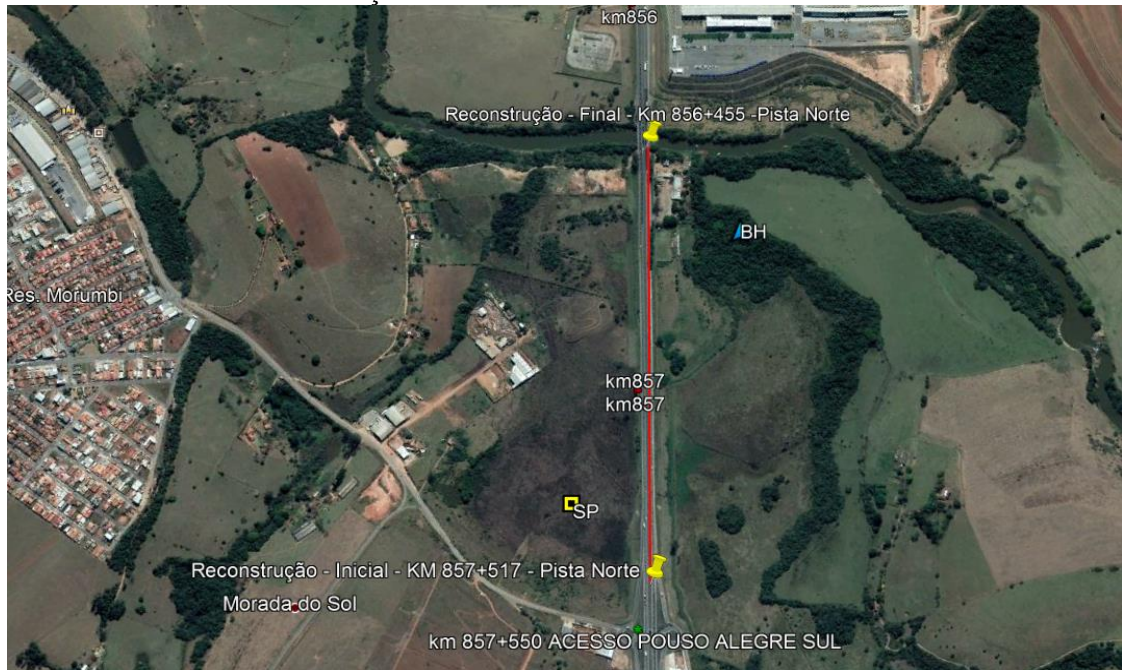
Com estas patologias encontradas, justificou-se a reconstrução do pavimento com as ações que melhor se ajustou aos problemas apontados na análise realizada.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 Localização da Obra

A obra está localizada entre os Kms 857+700 e 856+400, na faixa 2 (dois), Pista Norte da Rodovia Fernão Dias. Figura 20.

Figura 20 – Vista aérea da localização.



Fonte: Google Earth – imagens 30/08/2017

Figura 21– Vista panorâmica da Reconstrução – km 857+600



Fonte: Autor (2018)

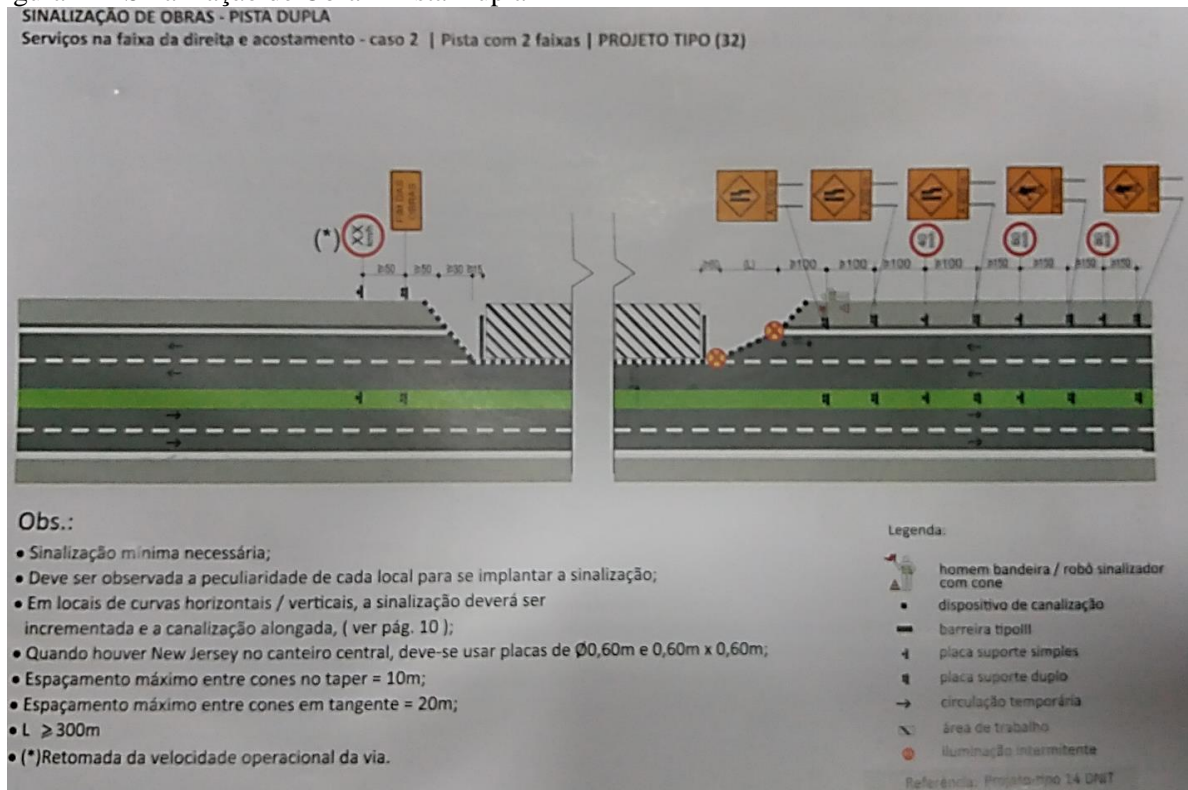
### 4.2 Etapas de obras da Reconstrução

Para a realização de obras da reconstrução, foram necessários:

### 4.2.1 Implantação da Sinalização

Esta etapa é uma das mais importantes para a segurança dos usuários que trafegam pela rodovia, tem o objetivo de proporcionar condições máximas de segurança para os usuários e trabalhadores da rodovia, bem como viabilizar a execução das obras com uma sinalização eficiente, de volume reduzido e de fácil instalação e retirada. A sinalização é dimensionada para condições ideais de tráfego e via, sendo que deverão ser analisadas as particularidades físicas do trecho em obras, além do volume do tráfego local. Para situações adversas, a sinalização deverá ser incrementada, de tal forma que garanta condições totais de segurança aos usuários e aos funcionários da obra. Figura 22.

Figura 22– Sinalização de Obra – Pista Dupla



Fonte – Manual de Sinalização de Obras e Serviços – Arteris

### 4.2.2 Fresagem

Esta etapa consiste em obter corte de uma ou mais camadas de um pavimento asfáltico por intermédio de processo mecânico a frio (1ª camada, 2ª camada, 3ª camada). Efetuam-se cortes por movimento rotativo contínuo. O material fresado é colocado em caminhões basculante que efetua o transporte do material para o local de destino (Bota-fora), após ser

deliberadamente permitido pelo setor de meio ambiente. A profundidade do corte deve ser controlada de forma rigorosa. (Figura 23).

A finalidade da fresagem é a remoção de pavimentos que estão em estados precários, com trincas, deformações e trilhos de rodas, ocasionados por vários motivos, associados, a: infiltração de água no subleito, veículos com excesso de pesos etc, estas áreas afetam o conforto do usuário na rodovia. Também se utiliza a fresagem para a remoção de pavimentos betuminosos em pontes e outras obras de arte, assim como para melhorar o coeficiente de atrito em zonas de pistas onde ocorram muitas derrapagens. A fresa de esteira do tipo WR-2000, tem um tambor rotativo para moagem, permitindo remover uma ampla faixa de pavimento a uma profundidade pré-determinada. Durante a fresagem deve-se manter a rega com água do pavimento de modo a permitir o resfriar dos dentes da fresa, e também para controle da poeira. A medição do serviço de fresagem de um pavimento deve ser efetuada ao metro cúbico. A alternativa a essa unidade é o metro quadrado, desde que esteja perfeitamente definido em projeto o trabalho a realizar.

Figura 23 – Fresagem



Fonte: Autor (2018)

#### 4.2.3 Remoção mecanizada com transporte

Como modo de limpar a área fresada utilizam-se vassouras mecânicas com caixa para receber o material. Também são utilizadas mini carregadeira, ou seja, Máquina Bobcat, compatível com uma grande variedade de operações para movimentação de terra, escavação, rompimento de concreto, limpeza entre outros (Figura 24).

Figura 24– Remoção Mecanizada



Fonte: Autor (2018)

#### 4.2.4 Melhoria e Preparo do subleito

Regularização do subleito: Melhoria e preparo do subleito é o conjunto de operações que visa adequar a camada final de terraplenagem, mediante cortes e aterros de até 20 cm de espessura, conferindo-lhe condições adequadas de geometria e compactação, para recebimento de uma estrutura de pavimento. Nota: Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva. Figura 25.

Figura 25 – Melhoria subleito



Fonte: Autor (2018)

### CONTROLE DE QUALIDADE

Os resultados dos ensaios de Controle Tecnológico serão tratados estatisticamente de acordo com a quantidade de resultados e medições por período ou segmento. O lote, para o controle estatístico, a ser adotado pode ser por tempo ou extensão. Por exemplo, uma semana de trabalho ou 1 km de pista.

## 4.2.5 Sub-base de Macadame Seco

### 4.2.5.1 Lançamento da 1ª camada de Macadame Seco

Para a execução de sub-base de Macadame Seco, que é constituída de pedra obtida diretamente da britagem primária (rachão), tendo os seus vazios preenchidos por agregados miúdos tipo bica corrida (brita 1, pedrisco e pó de pedra). A sub-base executada, resumidamente, nas seguintes etapas:

- Espalhamento e rolagem de uma camada de bloqueio, com 3 a 5 cm de espessura, constituída de agregado miúdo, diretamente sobre o subleito compactado.
- Espalhamento e rolagem inicial do agregado graúdo sobre a camada de bloqueio.
- Preenchimento dos vazios do agregado graúdo através do espalhamento e rolagem de uma camada de enchimento, constituída de agregados miúdos, sobre o mesmo.
- Compactação final da camada.
- A aceitação do segmento deve ser visual durante a execução dos trabalhos, e após deve ser efetuada a verificação da deflexão (Figura 26).

Figura 26 – Lançamento de 1ª camada de Macadame Seco (Rachão) / camada de enchimento, constituída de agregados miúdos / compactação



Fonte: Autor (2018)

### 4.2.5.2 Lançamento da 2ª e 3ª camada de Macadame Seco

Como no primeiro lançamento, para as etapas seguintes utiliza os mesmos parâmetros descritos anteriormente.(Figura 27).

Figura 27 – Lançamento de 2ª e 3ª camadas de Macadame Seco (Rachão) / – Base de BGS (camada de enchimento, constituída de agregados miúdos)



Fonte: Autor (2018)

#### 4.3 Base de BGS (Brita Graduada Simples)

Para a Base de BGS associa agregado mineral e água, em proporções determinadas experimentalmente, preparadas em usinas apropriadas, que cumpre certos requisitos de qualidade, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada, resultando uma mistura homogênea e compactada. A brita graduada simples pode ser empregada como

camada de Sub-Base ou Base de pavimentos. A brita graduada simples pode ser empregada como camada estabilizada granulometricamente ou camada drenante. Não será permitida a execução dos serviços em dias de chuva. Figura 28.

**MATERIAL - Água e Agregados** - Os agregados utilizados, devem ser utilizados a partir da rocha sã, constituídos por fragmentos duros limpos e duráveis. Suas partículas individuais devem ser resistentes e apresentar as características seguintes:

- \* Desgaste Los Angeles igual ou inferior a 55% (ABNT-NBR 6465);
- \* Índice de forma deverá ser igual ou inferior a 20% (ARTERIS D-4791)
- \* Equivalente de areia da mistura igual ou superior a 30% (ABNT-NBR 12052).

Figura 28 – Base de BGS (camada de enchimento, constituída de agregados miúdos) / compactação e verificação pela Viga Benkelman.



Fonte: Autor (2018)

#### 4.4 Imprimação Asfáltica

Imprimação consiste na aplicação de camada de material betuminoso sobre a superfície da base concluída, antes da execução de um revestimento betuminoso qualquer, objetivando conferir coesão superficial, impermeabilizar e permitir condições de aderência entre esta e o revestimento a ser executado, conforme figura 29. O ligante betuminoso não deve ser distribuído quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C, ou em dias de chuva, ou quando a superfície a ser imprimada apresentar qualquer sinal de excesso de umidade.

Todo carregamento de ligante betuminoso que chegar à obra deve apresentar, por parte do fabricante/distribuidor, certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos nesta Especificação, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos



ultrapassar de 10 dias. Deve trazer também indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

Material – Os ligantes betuminosos empregados na imprimação poderão ser os asfaltos diluídos CM- 30, CM-70 ou produtor similar. – A escolha do ligante betuminoso adequado será feita em função da textura do material da base. – A taxa de aplicação “T” é aquela que pode ser absorvida pela base em 24 horas, devendo ser determinada experimentalmente, no canteiro da obra. As taxas de aplicação usuais são da ordem de 0,8 a 1,6 l/m<sup>2</sup>, conforme o tipo e a textura da base e do ligante betuminoso escolhido.

Figura 29 – Imprimação Asfáltica



Fonte: Autor (2018)

#### 4.5 Pintura de Ligação

Concluído a etapa de Imprimação Asfáltica, a etapa posterior será executada com a Pintura de ligação que consiste na aplicação de ligante betuminoso sobre superfície de base ou revestimento betuminoso anterior à execução de uma camada betuminosa qualquer, objetivando promover condições de aderência entre as mesmas. (Figura 30).

Material - Os ligantes betuminosos empregados na pintura de ligação poderão são dos tipos: Emulsões asfálticas, tipos RR-1C e RR-2C; – A taxa recomendada de ligante betuminoso residual é de 0,15 – 0,31 l/m<sup>2</sup> (resíduo) em pavimento novo e 0,2 a 0,41 (resíduo) em pavimento antigo em camadas já oxidadas.

Figura 30– Pintura de Ligação



**Fonte:** Autor (2018)

NOTA: Imprimação Asfáltica contra Pintura de Ligação - Ambas consistem na aplicação de uma camada de pintura asfáltica antes da execução do revestimento. A imprimação é executada sobre a superfície de uma camada de base, cuja principal finalidade é a impermeabilização. A pintura de ligação é aplicada sobre a imprimação ou sobre o asfalto já executado, com a finalidade de recuperar o mesmo.

#### **4.6 Aplicação de CBUQ**

Sobre a base, depois de feita a imprimação e pintura asfáltica, a mistura foi distribuída com acabadora autopropulsionada, com mecanismo apropriado para conformá-la aos alinhamentos, perfil e seção transversal do projeto e também com a lâmina vibratória para um preadensamento da mistura. A acabadora operando independentemente do veículo que estiver descarregando. Enquanto descarregava o material betuminoso, o veículo transportador em contato permanente com a acabadora, sem que sejam usados freios para manter tal contato. A temperatura da mistura, no momento da distribuição, no emprego de cimento asfáltico acima de 140°C, de modo a permitir a execução da camada em toda a largura da pista, evitando, assim, a junta longitudinal.

Entre a 1ª camada (6,0mm), a 2ª camada (6,0mm) e por último a 3ª camada (7,0mm), a aplicação de CBUQ, foram executadas antes de receber tráfego, evitando o emprego de nova imprimadura. O trabalho manual atrás da vibro-acabadora sempre no auxílio para os ajustes nas bordas do pavimento.

Logo após a distribuição da mistura betuminosa na pista, foram iniciadas as compactações, em cada camada.

A rolagem aplicada com o rolo de pneus com baixa pressão a qual foram aumentadas à medida que a mistura fora sendo compactada e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas. O acabamento final da superfície feito com os rolos tipo tandem.

A compactação nos trechos em tangente, iniciadas nos bordos e prosseguindo para o centro da pista, tomando-se o cuidado de fazer com que os rolos percorressem trajetórias paralelas ao eixo. Essas trajetórias, distanciadas entre si de tal forma que, em cada passada, fossem recobertas metade da faixa coberta na passada anterior. Para evitar que os rolos retornassem sempre da mesma seção transversal, as passadas sucessivas de cada um deles tiveram comprimentos diferentes.

As passadas foram realizadas sucessivamente em marcha à frente e em marcha à ré, não sendo permitida a manobra dos rolos sobre as camadas que se encontravam compactada. As rodas dos rolos foram molhadas com quantidade de água apenas suficiente para evitar a sua adesão ao ligante utilizado na mistura. A compactação prosseguiu, sem interrupção, até obter, na camada em execução, o grau de compactação fixado no projeto.

Foram necessárias correções em um trecho da obra, pois não fora aprovado após ensaio realizado e detectados falhas, sendo o trecho em questão executada mediante remoção da parte defeituosa em toda a espessura da camada, em área quadrada ao eixo da pista, abrangendo a totalidade do defeito, e substituição por mistura fresca, à temperatura adequada de aplicação, a qual fora compactada até que adquirisse densidade igual à do material adjacente com o qual deverá ficar intimamente ligada, de forma que o serviço acabado não tenha aspecto de remendo, ilustrado na figura 31.

Figura 31 - 1ª Camada CBUQ / Compactação



Fonte: Autor (2018)

Figura 32 – 2ª e 3ª Camadas CBUQ / Compactação



Fonte: Autor (2018)

#### 4.7 Pintura e Retirada da Sinalização via Fernão Dias.

Última etapa a ser concretizada é a pintura do segmento onde foi aplicado o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), local do trecho da reconstrução. Após a secagem, é retirado a sinalização e liberado o trânsito naquele local, Figura 33.

Figura 33 – Pintura nas faixas do pano executado e verificação pela Viga Benkelman



Fonte: Autor (2018)

#### 4.8 Ensaio realizados durante as etapas da Reconstrução

Pode se destacar os seguintes ensaios realizados, durante as etapas da reconstrução:

a) Medição da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Equipamento Merlin - Este ensaio é feito para a medição de irregularidade longitudinal de pavimentos com

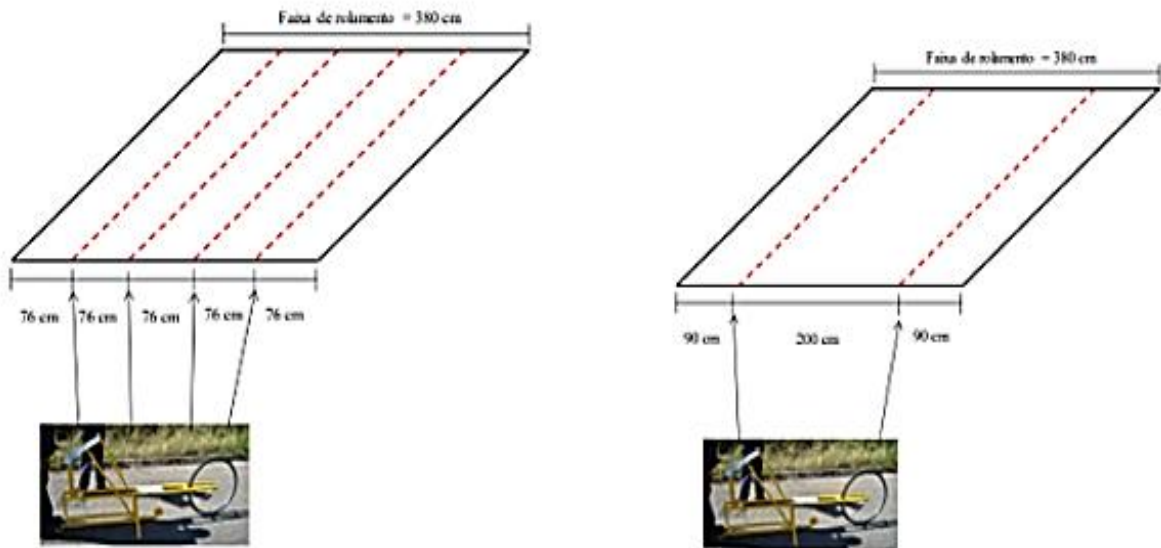
equipamento Merlin. Define os passos necessários à obtenção do resultado.

Para determinação da irregularidade do pavimento, abordaremos duas situações;

- Segmento a ser analisado entre 50 a 200m, realizar o levantamento com 200 medidas. (Figura 34a).

- Segmento a ser analisado acima de 200m, realizar o levantamento com 200 medidas. (Figura 34b), abaixo de 50m de seguimento não será realizado o levantamento. Em cada medida o equipamento deve estar com a roda e os pés verticalmente descansado sobre o pavimento e o pé central móvel deve estar em contato com a superfície da estrada.

Figura 34 – a e 34 – b - Medição da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Equipamento Merlin



Fonte: Designação – Arteris ET – 008

Nota: Após a conclusão dos serviços de pavimentação e durante a execução da pintura de sinalização, faz-se o levantamento da irregularidade longitudinal da pista com equipamento Merlin. Nos dias de chuva, não é realizado este ensaio.

b) Coleta de Amostras de Mistura Asfáltica na Pista (Atrás da Acabadora) – A realização deste visa padronizar e garantir a representatividade e integridade das amostras de misturas asfálticas enviadas a laboratórios para análises.

Placa de ferro com características e dimensões indicadas na Figura 35a e 35b.

Figura 35 – a e 35 – b - Coleta de Amostras de Mistura Asfáltica na Pista (Atrás da Acabadora)



Fonte: Designação – Arteris ET – 008

c) Determinação das Deflexões pela Viga Benkelman - Este método de ensaio tem como objetivo a determinação de deflexões recuperáveis em pavimentos rodoviários com aplicação da viga Benkelman, visando ao conhecimento da capacidade estrutural do pavimento. Prescreve como medir e calcular as deflexões apresenta o esquema da viga, da carga aplicada e o posicionamento dos equipamentos para medição.

Figura 36 – Determinação das Deflexões pela viga Benkelman

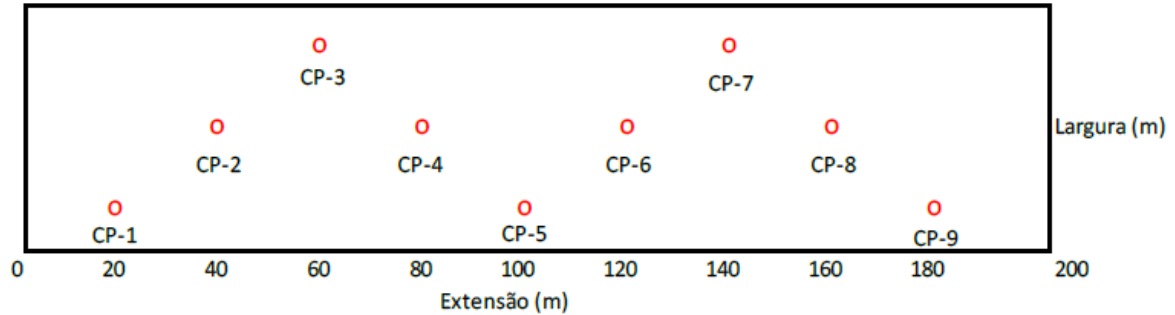


Fonte: Autor (2018)

d) Medidor de Densidade do Asfalto (Densímetro Elétrico) - O Densímetro elétrico, tem por objetivo determinar através do processo não destrutivo, a massa específica aparente da camada de revestimentos asfálticos em execução, recém-instalados e o mapeamento de locais não conformes para correções pontuais em acordo com a diretoria de qualidade da Arteris. A massa específica aparente é utilizada para calcular valores de porcentagem de vazios de ar (%Va) em uma mistura asfáltica usinada a quente compactada. Para realização das medidas, deve ser utilizado o aparelho Transtech, modelo PQI T-380. A quantidade de

corpos de prova para definição do “OFFSET” deve ser igual ou superior a 9 amostras, conforme esquema abaixo em sequência alternada de posicionamento, bordo direito, eixo e bordo esquerdo.

**Gráfico 1 Determinação dos Pontos de Ensaio**



**Fonte: CDT (Centro de Desenvolvimento Tecnológico)**

É necessário realizar a calibração do “OFFSET” para cada tipo de mistura asfáltica a ser avaliada, recentemente executada (CBUQ frio) ou durante a execução (CBUQ quente), com o intuito de se obter leituras precisas e consistentes. O controle de espessura deve ser realizado na caixa de fresagem a cada 20 metros pela média aritmética de, no mínimo, 3 (três) medidas, com linha e trena, (bordo esquerdo, centro e bordo direito).

As leituras com o densímetro elétrico, não podem ser realizadas em dias de chuva ou com o pavimento molhado. Tais leituras devem ser realizadas em intervalos a cada 10 metros para segmentos com extensão inferior a 400 metros e intervalos a cada 20 metros para segmentos com extensão superior a 400 metros, preferencialmente em pontos alternados, bordo direito, eixo e bordo esquerdo.

Os locais que apresentarem segregação devem ser removidos antes do início do processo de compactação da mistura asfáltica, em caso da não remoção desses pontos, o responsável pela fiscalização da Arteris, deverá direcionar a pré-marcação exatamente em cima dos pontos segregados, mesmo não tendo apoio total da base do aparelho.

Para aferição das leituras realizadas com o densímetro, deve ser realizados a cada 1.000 m<sup>3</sup> ou a cada 10 dias de serviços trabalhados por frente de serviço os ensaios comparativos entre as densidades de pista obtidas através do densímetro e as densidades de pista obtidas através dos ensaios com corpos de prova extraídos (Figura 37).

Figura 37 – Medidor de Densidade do Asfalto (Densímetro Elétrico)



Fonte: Autor (2018)

e) Mancha de areia – Transcrição de Ensaio da Mancha de Areia: É um ensaio de medições pontuais na superfície. Medindo a macro textura de trechos do asfalto. É um ensaio simples, apresentando resultados repetitivos. É obtido o resultado através da altura da areia no pavimento. (Figura 38).

Figura 38 – Ensaio com mancha de areia



Fonte: Autor (2018)

Todas as etapas envolvendo a reconstrução do trecho de pavimento foram concluídas em aproximadamente 100 dias, alternando trabalhos diurnos e noturnos. O período foi marcado também por chuvas que interromperam os serviços, ocasionando atraso na conclusão total da obra. Compreendem as etapas de reconstrução toda a logística, desde os estudos preliminares em campo, a montagem da sinalização fixa, a execução empregada até a finalização da obra, após a pintura do asfalto e retirada da sinalização presente.



## 5 RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Ensaios Realizados

Para realização deste trabalho foram utilizadas várias técnicas para determinar as causas das patologias e conseqüentemente as devidas correções do trecho escolhido para análise. No processo de Reconstrução, foram realizados ensaios de laboratório especializado para comprovar exigências de projeto e acompanhamento da compactação da camada através dos ensaios de compactação, densidade “in situ” e umidade “in situ”, ocorrendo à liberação da camada somente quando os parâmetros de projetos foram alcançados.

Nos ensaios com a Viga Benkelman tem-se parâmetros baseados na tabela a seguir, que se refere ao projeto específico para este tipo de obra (Viga de Projeto–Reconstrução) Dados de controle (Tabela 1).

Tabela 1 – Limite de Viga de Projeto para os Serviços de Reconstrução (DMA)

Camada	Espessura (cm)	Espessura Acumulada (cm)	Limite (0,01 mm)
CBUQ – 3ª Camada	6	79	35
CBUQ – 2ª Camada	6	73	42
CBUQ – 1ª Camada	7	67	50
BGS	20	60	60
Rachão – 2ª Camada	20	40	80
Rachão – 1ª Camada	20	20	95
Subleito	0	0	110

Fonte: Controle de Desenvolvimento Tecnológico

Para determinação das deflexões pela Viga Benkelman, foi escolhido para análise o sub-trecho dos Km-857.600 ao Km-857.400. Condição para aceitação do segmento – O segmento será aceito se a deflexão máxima característica (DMC) for  $\leq$  deflexão máxima admissível (DMA):

Tabela 2 – Deflexão Máxima Característica (DMC) X Deflexão Máxima Admissível (DMA)

Camada	Espessura (cm)	Esp. Acumulada (cm)	Limite (0.01 mm) - DMC	Limite (0.01 mm) - DMA
CBUQ – 3ª Camada	6	79	35	35
CBUQ – 2ª Camada	6	73	42	42
CBUQ – 1ª Camada	7	67	50	50

Camada	Espessura (cm)	Esp. Acumulada (cm)	Limite (0.01 mm) - DMC	Limite (0.01 mm) - DMA
BGS	20	60	53,7	60
Rachão – 2ª Camada	20	40	74,9	80
Rachão – 1ª Camada	20	20	88,4	95
Subleito	0	0	106,1	110

Fonte: Autor (2018)

Na tabela 2, os ensaios com a Viga Benkelman na reconstrução obtiveram resultados satisfatórios para as deflexões encontradas no trecho, quando comparadas com os parâmetros de projetos. A leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado que está associado à deformação elástica do pavimento (deflexão). O detalhamento dos ensaios está demonstrado nos anexos II, III, IV e V, correspondente ao Subleito, Pedra de Macadame 1ª camada, Macadame 2ª camada e Base BGS.

Para a medição da irregularidade longitudinal de pavimentos com equipamento Merlin (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), foi escolhido o sub-trecho dos Km 857+122 ao Km 856+962. Este ensaio é feito para a medição de irregularidade longitudinal de pavimentos com equipamento Merlin. Os parâmetros utilizados para medida de irregularidade estão na tabela-3 abaixo:

Tabela – 3 – Qualificação quanto a irregularidade

Condição	* IRI (m/km)	* **QI (cont./km)
Boa	1,0 – 3,5	13 - 45
Regular	3,5 – 4,5	45 - 59
Ruim	> 4,5	> 60

Fonte: URPR – TAP 2010

\* IRI – International Roughness Index

\*\* QI – Quociente de Irregularidade

No segmento entre os Km 857+122 ao Km 856+962, os resultados obtidos foram aprovados, ou seja, IRI – 1,7 m/km e QI-22,4 cont./km, comparado com a tabela 3, indicou uma boa condição quanto à irregularidade do trecho corrigido (dados em anexo-VI).

Para a determinação da densidade do pavimento asfáltico (Densímetro Elétrico), foi escolhido o sub-trecho dos Km 857+122 ao Km 857+000. A massa específica aparente é utilizada para calcular valores de porcentagem de vazios de ar (%Va) em uma mistura asfáltica usinado a quente compactada. No segmento entre os Km 857+122 ao Km 857+000, os resultados obtidos foram aprovados:

- Na 1ª Camada (camada de ligação), apresentou índice de vazios na média = 6%, (X min = 5% e X max = 7%), (anexo VII);
- Na 2ª camada (camada intermediária – Binder), apresentou índice na média = 5% (X min = 4% e Xmax = 6%), (anexo VIII);
- Na Camada de rolamento, apresentou índice de vazios na média = 6%, (X min = 5% e X max = 7%), (anexo IX).

Para a determinação da mancha de areia (ASTM 965-16), foi escolhido o sub-trecho dos Km 857+122 ao Km 856+962. Este ensaio é destinado a medir a macro textura de trechos no asfalto ora regularizado. Na tabela 4, pode ser observado a classificação de macro textura de trecho do Asfalto conforme abaixo:

Tabela-4 – Classificação da Macro textura de Trecho do Asfalto

CLASSIFICAÇÃO		
0,0	0,2	muito fino ou muito fechado
0,2	0,4	fino ou fechado
0,4	0,8	média
0,8	1,2	grossa ou aberta
1,2	ou maior	muito grossa ou muito aberta

Fonte: CDT (Centro de Desenvolvimento Tecnológico)

No segmento entre os Km 857+122 ao Km 857+000, os resultados obtidos, através do ensaio, apontaram classificação média, ou seja, resultando numa média = 0,8 (anexo X).

De maneira geral, os ensaios realizados demonstraram que os serviços executados corresponderam com os parâmetros de projeto. O trecho ora liberado oferece plena condição de uso por parte dos usuários que transitam diariamente pela rodovia onde fora executado a correção, transmitindo conforto e trafegabilidade aos usuários de veículos de passeios e comerciais.

Quanto ao valor total compreendendo o trecho de reconstrução da pavimentação entre os quilômetros 857,000 a 858,000, na faixa 2 (dois), da pista norte, da rodovia Fernão Dias, BR-381 foi investido um valor de R\$1.517.478,18, conforme planilha no Anexo 1 – Controle Diário de Execução dos Serviços de Pavimento – 2018.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho contribuiu de forma determinante para um maior aprendizado, buscando a formação, além de proporcionar conhecimentos e vivência, enfrentando as dificuldades no dia a dia, com cenários diferentes e novos, tornando um marco divisor entre a vida de estudante e a de profissional, proporcionando a formação de contatos que certamente serão fundamentais no início da carreira do engenheiro civil.

A avaliação estrutural é fundamental para se determinar a capacidade de carga de um pavimento desde a sua construção e ao longo da sua vida, para definir a época mais adequada de fazer uma intervenção de restauração e qual deve ser a técnica a ser empregada. Cada pavimento tem sua deflexão admissível, determinada a partir de um dimensionamento mecânico, que faz uso dos parâmetros de módulo de resiliência dos materiais de cada camada e do subleito e dos critérios de fadiga e de deformação permanente. Nesse contexto, surgiu a motivação de participar de todas as etapas desta obra para melhorar os conhecimentos nesta subárea da engenharia civil.

Fica claro neste cenário, a importância de realizar um planejamento adequado elaborado sempre em etapas que devem ser criteriosamente cumpridas para que o produto seja entregue de forma satisfatória. Tal constatação deve-se a necessidade da estrutura do pavimento ter uma vida útil máxima possível, de pelo menos oito anos, porque o custo é muito elevado e as condições dos pavimentos se relacionam diretamente com a satisfação do usuário.

A vida útil dos pavimentos de rodovias utilizadas para o transporte de cargas e pessoas muitas vezes é reduzida, devido à falta de conservação apropriada que não recebem durante muitos anos, resultando, desse modo, em sua degradação precoce. De acordo com a necessidade de fornecer uma condição apropriada para o tráfego e tentando limitar os seus componentes (com os seus custos elevados) é necessário olhar para a conservação das estradas através de métodos que possibilitem uma melhor qualidade do serviço final e que forneçam um pavimento com melhor desempenho.

Além do projeto ser de grande importância para que não haja problemas prematuros na via, a manutenção do pavimento existente é muito importante também, pois se for realizada com uma certa frequência, obras maiores como a vista nesse projeto serão menos necessárias, bastando apenas, em alguns casos, retoques para um melhor funcionamento do tráfego.

O controle de execução das camadas deverá garantir que sejam atendidas as

especificações de materiais e serviços para que o pavimento possa apresentar o melhor desempenho possível, atendendo ao tráfego para que foi dimensionado durante toda a vida útil considerada no projeto de pavimento. Vale lembrar que o projeto foi todo realizado considerando o revestimento asfáltico.

Neste trabalho, foram revisadas as principais patologias encontradas em pavimentos flexíveis, que são enquadradas em defeitos estruturais. Entretanto, sabe-se que outros elementos são responsáveis por acometerem esses defeitos, tais como a natureza do processo construtivo e o tipo de materiais utilizados, o projeto em si em relação às estimativas de tráfego e as características intrínsecas de cada material utilizado.

Acredita-se que o conhecimento técnico para reconhecer os defeitos e propor a sua correção acertada permita uma vida mais longa tanto das vias como dos equipamentos necessários durante os serviços de manutenção. Assim, a reunião de dados mais precisos e de terminologia científica, que foi a proposta desse trabalho, contribui com a divulgação do conhecimento e o entendimento destas patologias que surgem em pavimentos.

Neste trabalho foi apresentado métodos de avaliação do pavimento. Com base no que foi analisado podemos considerar os seguintes aspectos como relevantes:

- Assim que um novo pavimento é liberado ao tráfego, aos poucos começa a deteriorar-se devido a cargas de veículos e efeitos do clima. Por esta razão é importante a conservação do pavimento para prolongar a sua vida útil.

- Assim que for determinada a necessidade de novos reparos, estes devem ser realizados imediatamente, porque superfícies vão continuar a deteriorar-se diariamente, produzindo assim uma condição perigosa para os motoristas.

- É necessário primeiro determinar a causa do dano que ocorre no pavimento, a fim de fazer uma reparação adequada e evitar a reincidência, neste caso constatou-se a presença de trincas em blocos, excesso de depressões/trilhas de rodas na pista sob com ação do tempo, trafegabilidade dos veículos de passeios e comerciais, além de bombeamentos na superfície pelo excesso de infiltração de água no subleito.

- A conservação do pavimento em ótimas condições permanentemente é necessária para proteger o investimento e manter o pavimento em ótimas condições para o usuário.

- As deficiências ocorrem em sua maioria, devido a cargas excessivas passando sobre esta estrada, assim como pela falta de limpeza das obras de drenagem.

- É importante ter consciência de que fazer manutenção do pavimento é mais barato do que reparação/reconstrução deste.

Deste trabalho é lícito concluir:

1. A Rodovia Fernão Dias BR-381, construída há cerca de 50 anos recebeu nos últimos vinte anos, um aumento significativo de tráfego, sem ter recebido antes da privatização, uma conservação adequada. Sofreu ainda a ação das intempéries do clima, tornando seu revestimento desgastado e deteriorado. Alguns trechos foram classificados como ruins, exigindo o seu total refazimento (reconstrução ex: quilômetros 856,400 a 857,700 da pista norte).

2. Na fase de diagnóstico da obra, foram encontradas as seguintes patologias: presença de trincas em blocos, excesso de depressões/trilhas de rodas na pista sob com ação do tempo, por trafegabilidade dos veículos de passeios e comerciais, além de bombeamentos na superfície pelo excesso de infiltração de água no subleito.

3. Detectado as patologias procedeu-se remoção asfáltica com a posterior reconstrução do trecho e concomitante realização de ensaios para acompanhamento e validação da obra:

- Ensaios com a Viga Benkelman para determinação das deflexões do pavimento reconstruído, apresentou nível satisfatório;

- Medição da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Equipamento, indicou uma boa condição quanto à irregularidade do trecho corrigido.

- Densidade do Pavimento Asfáltico (Densímetro Elétrico), os resultados obtidos foram aprovados (valores de porcentagem dos vazios).

- Determinação de Mancha de Areia (ASTM 965-16). Os resultados obtidos, através do ensaio, apontaram classificação média, ou seja, resultando numa média = 0,8, quanto a macro textura do pavimento asfáltico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- \_\_\_\_\_. DNIT 007/2003 – PRO: levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003.
- ABNT-NBR 6465 – Agregados – Determinação de Abrasão Los Angeles.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO: Rough Roads Ahead, Fix Them Now or pay for it Later USA, 2009.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO: Guide for Design of Pavement Structures., Washington, D. C., 1993.
- ALMEIDA, E.D. A duplicação da Rodovia Fernão Dias: uma análise de equilíbrio geral. ESALQ/USP, [anpec.org.br/encontro2004](http://anpec.org.br/encontro2004).
- ARTERIS ES-001 - Especificação Particular para Execução de Concreto Asfáltico – CA.
- ARTERIS ET-008 - Medição Da Irregularidade Longitudinal De Pavimentos Com Equipamento Merlin, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14376:2007: emulsões asfálticas – determinação do resíduo por evaporação: método expedito. Rio de Janeiro, 2007.
- BALBO, J.T. Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 560p., 2007.
- BARCA, M.A.; NOGUEIRA, S.P. –Análise das técnicas de conservação de pavimentos rodoviários. TCC. Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015.
- BERNUCCI , L.B.; GORETTE DA MOTA, L.M.; CERATTI, J.A.P.; SOARES , J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. 2006.
- BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER-EM 369/97: emulsões asfálticas catiônicas. Rio de Janeiro: IPR, 1997.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 005/2003- TER: defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia. Rio de Janeiro: IPR, 2003.
- CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2016. Relatório geral. 20a ed. Confederação Nacional do Transporte. Serviço Social do Transporte. Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte. Brasília, Brasil, 2016.
- C.N.T. Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? – Brasília : CNT, 2017.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 005/2003: Defeitos nos

Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

CARNEIRO, F.B.L. Viga Benkelman, instrumento auxiliar do engenheiro de conservação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA RODOVIÁRIA, 1965, Rio de Janeiro. Public. 85-GTPC-65-03. Rio de Janeiro: IPR, 1965.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. DER/SP. Manual de Normas – Pavimentação. Seção 3.02. Reforço do subleito. São Paulo, 1991.

DERSA DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S.A. ET-P00/051 – Reforço do Subleito. São Paulo, 1997.

DNER PRO 175-94 Aferição da viga Benkelman.

DNER-EM 363/97 – Asfalto diluído tipo de cura médio.

DNER-ME 002/98: emulsões asfálticas – carga da partícula. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

DNER-ME 004/94 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade “saybolt furol”.

DNER-ME 004/94: material betuminoso – determinação da viscosidade “saybolt-furol” a alta temperatura. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

DNER-ME 005/94: emulsões asfálticas – determinação da peneiração. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

DNER-ME 006/00: emulsões asfálticas – determinação da sedimentação. Rio de Janeiro: IPR, 2000.

DNER-ME 012/94 – Asfalto diluído – Destilação.

DNER-ME 148/94 – Material betuminoso – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão.

DNER-ME024-87 Determinação das deflexões no pavimento pela viga benkelman.

DNER-PRO 277/97: metodologia para controle estatístico de obras e serviços. Rio de Janeiro: IPR, 1997.

DNIT 031-ES - Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico - Especificação de serviço.

DNIT-ES 386 - Especificação de serviço - Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero - Camada Porosa de Atrito.

DNIT-ME 024 - Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman.

DNIT-ME 092 - Solos – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia.

FABRÍCIO, J. M.; VASCONCELOS, J. F.; SILVA, M. D. da. Estudo comparativo entre o (ICPF) – índice de condições de pavimento flexível, (QI) – quociente de irregularidade, e o (IGG) – índice de gravidade global em rodovias do DNER. In: REUNIÃO ANUAL DE



- PAVIMENTAÇÃO, 29., 1995, Cuiabá. Anais. Rio de Janeiro: ABPv, 1995. v. 4.
- FRANCO, F - Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos - SISPAV. 2007. 315p. Tese (Doutor em Ciências em Engenharia Civil), - COPPE, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação, Rio de Janeiro, 2007.
- METOGO, D.A.N. (2015). Estudos Laboratoriais e Avaliação Estrutural de um Pavimento Asfáltico Construído com Misturas de Solo Tropical, Fosfogesso e Cal. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-112/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 207 p.
- ROCHA, R.S. Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações: estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar. Salvador, 2010.
- NBR-14756-2001 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade cinemática.
- ODA, S. Notas de Aula. Disciplina EER 555 Pavimentação B. Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2014.
- PEREIRA, A. M.; GONTIJO, P. R. A. Diretriz metodológica para avaliação de pavimentos rodoviários flexíveis e semirrígidos. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 10., 1990, Rio de Janeiro. Trabalhos técnicos. Rio de Janeiro: IBP, 1990.
- PRESTES, M.P. Métodos de avaliação visual de pavimentos flexíveis – Um estudo comparativo. Dissertação (Engenharia dos transportes) - Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2001.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 2. ed. Rio de Janeiro: S. Pinto, 2002.
- TRL (Transport Research Laboratory) Report 229, 1996.
- ROSSI, A.C. Etapas de uma obra de pavimentação e dimensionamento para uma via na Ilha do Fundão. TCC . – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.
- SPECHT, LP - Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus. Porto Alegre: PPGE/UFRGS, 2004. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILVA, P. F.A. Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos. 2. ed., 2011.
- SOARES, J.B.; MOTTA, L.M.; SOARES, R.F. Análise de bacias deflectométricas para o controle de construção de pavimentos asfálticos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 14., 2000, Gramado. Anais... Gramado: ANPET, 2000.

**ANEXOS**



ANEXO II - Viga Subleito do Sublote Km 857+400 ao 857+600															
DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN															
IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO															
CONTRATADA:				LOCAL:				DATA DO ENSAIO							
BCE				Reconstrução do KM 857+400 ao KM 857+800 Pista Norte Faixa 2				29/08/2018							
CAMADA:				SUB-TRECHO:				Nº CERTIFICADO							
Subleito				KM - 857,600    ao    KM - 857,400				VB 04/2018							
LOCALIZAÇÃO		Li	Faixa 1 Deflexão Real *10 <sup>-2</sup> mm TRI.				Faixa 2 Deflexão Real *10 <sup>-2</sup> mm TRI.				Acostamento Deflexão Real *10 <sup>-2</sup> mm TRI.				
Estaca [km]	Estaca [m]		L <sub>f</sub>	D <sub>o</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>o</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>o</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>o</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>o</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>o</sub>	
857,560	+40 m	500					475	106,5	475	107					
857,540	+20 m	500					477	98,0	477	98					
857,520	+20 m	500					476	102,2	478	94					
857,500	+20 m	500					477	98,0	477	98					
857,480	+20 m	500					478	93,7	475	107					
857,460	+20 m	500					475	106,5	475	107					
857,440	+20 m	500					476	102,2	476	102					
857,420	+20 m	500					475	106,5	477	98					
857,410	+10 m	500					476	102,2	476	102					
Fator de conversão "K" TRI = <b>4,26</b> Fator de conversão "K" TRE = <b>4,26</b>															
Dados Estatísticos															
Deflexão Adm. [mm]		Faixa 1				Faixa 2				Acostamento					
<b>110</b>		TRI.		TRE.		TRI.		TRE.		TRI.		TRE.			
Número de Leituras						18		18							
Deflexão Característica [mm]						<b>106,3</b>		<b>105,9</b>							
DMC <span style="float: right;"><b>106,1</b></span>															
GRÁFICO DAS DEFLEXÕES															
OBSERVAÇÕES															
OBSERVAÇÃO:												Pouso Alegre    sábado, 24 de novembro de 2018			
												Diogo Bento Engenheiro Civil			
RESPONSÁVEL CONTRATADA:								RESPONSÁVEL CONCESSIONÁRIA:							



ANEXO IV - Viga 2ª Camada Macadame 1º Ensaio do Sublote km 857+400 ao 857+600

DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN

IDENTIFICAÇÃO DO ENSAIO

CONTRATADA:	BCE	LOCAL:	Reconstrução do KM 857+400 ao KM 857+800 Pista Norte Faixa 2	DATA DO ENSAIO	04/09/2018
CAMADA:	Rachão 2ª Cam.	SUB-TRECHO:	KM - 857,600 ao KM - 857,400	Nº CERTIFICADO	VB 02/2018

LOCALIZAÇÃO		Li	Faixa 1 Deflexão Real *10 <sup>-2</sup> mm				Faixa 2 Deflexão Real *10 <sup>-2</sup> mm				Acostamento Deflexão Real *10 <sup>-2</sup> mm			
Estaca [km]	Estaca [m]		TRL	D <sub>10</sub>	L <sub>r</sub>	D <sub>10</sub>	TRL	D <sub>10</sub>	L <sub>r</sub>	D <sub>10</sub>	TRL	D <sub>10</sub>	L <sub>r</sub>	D <sub>10</sub>
857,590	+10 m	500					482	76,7	483	72				
857,580	+10 m	500					485	63,9	484	68				
857,560	+20 m	500					483	72,4	485	64				
857,540	+20 m	500					484	68,2	482	77				
857,520	+20 m	500					485	63,9	485	64				
857,500	+20 m	500					482	76,7	483	72				
857,480	+20 m	500					483	72,4	484	68				
857,460	+20 m	500					484	68,2	486	60				
857,440	+20 m	500					482	76,7	485	64				
857,420	+20 m	500					485	63,9	482	77				
857,410	+10 m	500					483	72,4	483	72				

Fator de conversão "K"TRL = 4,26      Fator de conversão "K"TRE = 4,26

Deflexão Adm. (mm)	Dados Estatísticos				Acostamento	
	TRL	Faixa 1 TRE	Faixa 2 TRL	Faixa 2 TRE	TRL	TRE
80						
Numero de Leituras			22	22		
Deflexão Característica (mm)			75,4	74,3		
DMC	74,9					



OBSERVAÇÕES

OBSERVAÇÕES:	1º Ensaio	Povoado Alegre sábado, 24 de novembro de 2018
		Diogo Bento Engenheiro Civil
RESPONSÁVEL CONTRATADA:		RESPONSÁVEL CONCESSIONÁRIA:



**ANEXO VI - Qualificação quanto a irregularidade Longitudinal de Pavimento**

**Medição da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos**

FD 458-18

Concessionária: AUTOPISTA FERNÃO DIAS  
 Rodovia: BR - 381  
 Serviço: FRESAGEM E RECOMPOSIÇÃO  
 Tipo de Revestimento: SPV 19,0 mm  
 Construtora: ECB - Empresa Construtora Brasil, S.A.  
 Km Inicial: 857+122  
 Km Final: 856+962  
 Pista: NORTE  
 Faixa: II  
 Data de aplicação: 03/10/2018  
 Data amostragem: 03/10/2018  
 Responsavel: DEIVISON  
 Especificação: ARTERIS ET-008

					X							
					X							
				X	X							
				X	X	X	X					
				X	X	X						
		X	X	X	X	X	X	X				
		X	X	X	X	X	X	X				
	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
frequencias	3	4	6	6	8	9	11	8	6	5	4	2
	B		A						C			
	A=6											
	$B=3/6 = 0,50$											
	$C=1/5 = 0,20$											
	$D = 5(B+A+C) = 5 \times (0,50 + 6 + 0,20) = 33,5$											

IRI 1,7 m/km  
 QI 22,4 cont/km

APROVADO

Observações



## ANEXO VII – 1ª Camada de Ligação – Medição da Densidade do Pavimento Asfáltico

Concessionária: <b>Autopista Fernão Dias</b> Rodovia: <b>Rod. Fernão Dias - BR 381</b> Construtora: <b>ECB-Empresa Construtora Brasil, S/A</b> Obra: <b>Reconstrução de Pavimento</b> Local (km / est.): <b>857,122 ao 857 Coleta da Amostra -857, 108</b> Outras Informações: <b>1ª CAMADA</b> Pista: <b>NORTE Faixa: II</b>	Certificado: <b>FD 3142-18</b> Data da Aplicação: <b>28/09/2018</b> Recebimento do CBUQ: <b>29/09/2018</b> Recebimento do densímetro: <b>01/10/2018</b> Camada: <b>Camada de Ligação</b> Projeto: <b>MAQ 01 SPV 19mm REV02</b> Usina: <b>ECB POUZO ALEGRE</b>
---	---



### DADOS DO PROJETO

Teor de CAP (%)	4,3	Massa Específica Aparente (g/cm³)	2,401	Massa Específica Máxima (g/cm³)	2,503	Massa Específica Efetiva (g/cm³)	2,683	Volume de Vazios (%)	4,07	VAM (%)	13,57	VCA (%)	69,5
-----------------	-----	-----------------------------------	-------	---------------------------------	-------	----------------------------------	-------	----------------------	------	---------	-------	---------	------

### RESULTADOS OBTIDOS

Peneiras (ASTM)	mm	Passante Encontrado (%)	Projeto (%)	Faixa de Trabalho		Identificação das Amostras				Volumetria		Espessuras		Segmento
				Lim. Inf (%)	Lim. Sup (%)	Nº Cp	Km/Est.	Massa Esp. Aparente	Vazios (%)	Nº Cp	Km/Est.	Massa Esp. Aparente	Vazios (%)	
1 1/2"	37,5	100,0	100,0	100,0	100,0	1	1 BD 857,112	2,349	6%					Inicial
1"	25	100,0	100,0	100,0	100,0	2	2 EIXO 857,092	2,376	5%					KM-857,122  II  NORTE  KM-857,000  Final
3/4"	19,1	100,0	98,7	91,7	100,0	3	3 BE 857,072	2,346	6%					
1/2"	12,7	82,5	78,7	71,7	85,7	4	4 EIXO 857,052	2,375	5%					
3/8"	9,5	68,2	66,0	58,0	72,0	5	5 BD 857,032	2,341	6%					
Nº 4	4,76	40,5	40,8	35,8	45,8	6	6 EIXO 857,012	2,346	6%					
Nº 10	2	25,4	25,2	20,2	30,2									
Nº 40	0,59	13,8	13,9	8,9	18,9									
Nº 80	0,18	9,1	8,9	5,9	11,9									
Nº 200	0,075	5,3	5,4	3,4	7,4									

— Lim. Inf (%)    — Lim. Sup (%)    - - - Passante Encontrado (%)

CAP (%)	4,4	IRI (m/km)	
RICE (g/cm³)	2,498	M Esp Efetiva (g/cm³)	2,680
DUI (%RRT)		Mancha de areia	

ANÁLISE ESTATÍSTICA					
Nº Amostras:	6	Média	6%	X Máx	7%
Const. K	1,41	Desvio Padrão	1%	X Mín	5%

Avaliação do Ensaio:

**SEGMENTO APROVADO**

#### NOTA:

A memória de cálculo está arquivada no laboratório de Pouzo Alegre, disponível para consulta sempre que for necessário.  
 Os métodos de ensaio utilizados para obtenção dos resultados estão disponíveis em <http://www.arteris.com.br/institucional/especificacoes-tecnicas.aspx>


Pouzo Alegre - terça-feira, 2 de outubro de 2018

Diogo Bento

Engenheiro Civil

Laboratório de Controle de Qualidade

## ANEXO VIII – 2ª Camada – Camada Intermediária (Binder) – Medição Densidade Pavimento Asfáltico

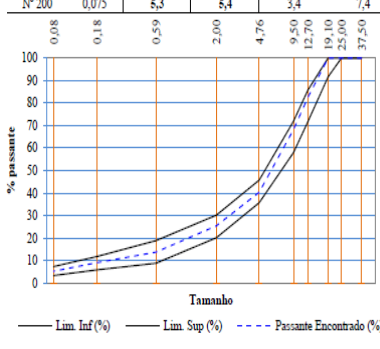
Concessionária: Autopista Fernão Dias Rodovia: Rod. Fernão Dias - BR 381 Construtora: ECB-Empresa Construtora Brasil, S/A Obra: Reconstrução de Pavimento Local (km / est.): 857,122 ao 857 Coleta da Amostra -- Outras Informações: 2ª CAMADA Pista: NORTE Faixa: II	Certificado: FD 3142-18 Data da Aplicação: 28/09/2018 Recebimento do CBUQ: 29/09/2018 Recebimento do densímetro: 01/10/2018 Camada: Camada Intermediária (Binder) Projeto: MAQ 01 SPV 19mm REV02 Usina: ECB POUÇO ALEGRE	
---	--	---

### DADOS DO PROJETO

Teor de CAP (%)	Massa Específica Aparente (g/cm³)	Massa Específica Máxima (g/cm³)	Massa Específica Efetiva (g/cm³)	Volume de Vazios (%)	VAM (%)	VCA (%)
4,3	2,401	2,503	2,683	4,07	13,57	69,5

### RESULTADOS OBTIDOS

Peneiras (ASTM)	mm	Passante Encontrado (%)	Projeto (%)	Faixa de Trabalho		Identificação das Amostras				Volumetria		Espessuras		Segmento
				Lim. Inf (%)	Lim. Sup (%)	Nº Cp	Km/Est.	Massa Esp. Aparente	Vazios (%)	Nº Cp	Km/Est.	Massa Esp. Aparente	Vazios (%)	
1 1/2"	37,5	100,0	100,0	100,0	100,0	1	1 BD 857,112	2,36	6%					II NORTE 122 Metros
1"	25	100,0	100,0	100,0	100,0	2	2 EINO 857,092	2,393	4%					
3/4"	19,1	100,0	98,7	91,7	100,0	3	3 BE 857,072	2,362	5%					
1/2"	12,7	82,5	78,7	71,7	85,7	4	4 EINO 857,052	2,395	4%					
3/8"	9,5	68,2	65,0	58,0	72,0	5	5 BD 857,032	2,389	4%					
Nº 4	4,76	40,5	40,8	35,8	45,8	6	6 EINO 857,012	2,383	5%					
Nº 10	2	25,4	25,2	20,2	30,2									
Nº 40	0,59	13,8	13,9	8,9	18,9									
Nº 80	0,18	9,1	8,9	5,9	11,9									
Nº 200	0,075	5,3	5,4	3,4	7,4									

CAP (%)	4,4	IRI (m/km)	
RICE (g/cm³)	2,498	M.Esp Efetiva (g/cm³)	2,680
DUI (%RRT)		Mancha de areia	
ANÁLISE ESTATÍSTICA			
Nº Amostras	6	Média	5%
Const. K	1,41	Desvio Padrão	1%
		X Máx	6%
		X Mín	4%
		Condição do lote	
		Aprovado	

Avaliação do Ensaio:

SEGMENTO APROVADO

#### NOTA:

A memória de cálculo está arquivada no laboratório de Pouso Alegre, disponível para a consulta sempre que for necessário.  
 Os métodos de ensaio utilizados para obtenção dos resultados estão disponíveis em <http://www.arteris.com.br/institucional/especificacoes-tecnicas.aspx>

Pouso Alegre - terça-feira, 2 de outubro de 2018

Diogo Bento

Engenheiro Civil

Laboratório de Controle de Qualidade

## ANEXO IX – Camada de Rolamento – Medição da Densidade do Pavimento Asfáltico

Teor de CAP (%)		Massa Específica Aparente (g/cm³)		Massa Específica Máxima (g/cm³)		Massa Específica Efetiva (g/cm³)		Volume de Vazios (%)		VAM (%)		VCA (%)	
4,3		2,401		2,503		2,683		4,07		13,57		69,5	

RESULTADOS OBTIDOS																
Peneiras		Passante Encontrado (%)		Projeto (%)		Faixa de Trabalho		Identificação das Amostras				Volumetria		Espessuras		
(ASTM)	mm					Lim. Inf (%)	Lim. Sup (%)	Nº Cp	Km/Est.	Massa Esp. Aparente	Vazios (%)	Nº Cp	Km/Est.	Massa Esp. Aparente	Vazios (%)	Segmento
1 1/2"	37,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	1	1 BD 857,112	2,372	5%					Inicial
1"	25	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	2	2 EDXO 857,092	2,385	5%					KM-857,122
3/4"	19,1	98,6	98,7	91,7	100,0			3	3 BE 857,072	2,35	6%					
1/2"	12,7	79,8	78,7	71,7	85,7			4	4 EDXO 857,052	2,367	6%					Faixa 2
3/8"	9,5	62,2	65,0	58,0	72,0			5	5 BD 857,032	2,36	6%					
Nº 4	4,76	39,0	40,8	35,8	45,8			6	6 BE 857,012	2,352	6%					NORTE
Nº 10	2	24,6	25,2	20,2	30,2											
Nº 40	0,59	13,6	13,9	8,9	18,9											
Nº 80	0,18	9,0	8,9	5,9	11,9											
Nº 200	0,075	5,6	5,4	3,4	7,4											Final

CAP (%)	4,4	IRI (m/km)		Tx. Ligante Residual (l/m²)	
RICE (g/cm³)	2,509	M Esp Efetiva (g/cm³)	2,692	Módulo de areia	
DUI (%RRR)		ANÁLISE ESTATÍSTICA			
Nº Amostras	6	Média	6%	X Max	7%
Cont. K	1,41	Desvio Padrão	1%	X Min	5%
					Condição do lote
					Aprovado

Avaliação do  
Ensaio:

SEGMENTO APROVADO

**NOTA:**

A memória de cálculo está arquivada no laboratório de Pouso Alegre, disponível para a consulta sempre que for necessário.  
Os métodos de ensaio utilizados para obtenção dos resultados estão disponíveis em <http://www.arteris.com.br/instrucional/especificacoes-tecnicas.aspx>

Pouso Alegre - quarta-feira, 10 de outubro de 2018

Diogo Bento

Engenheiro Civil

Laboratório de Controle de Qualidade

122 Metros

**Autopista  
Fernão Dias**

## ANEXO X – Mancha de Areia - Medição da Macro Textura do Pavimento Asfáltico

Autopista Fernão Dias arteris		DETERMINAÇÃO DE MANCHA DE AREIA (ASTM 965-96)						
RODOVIA:		BR 381						
CONSTRUTORA		ECB		INSPECTOR:		DEIVISON		
DATA ENSAIO:		03/10/2018						
KM INICIAL: 857+122		KM FINAL: 856+962		PISTA: NORTE		FAIXA: II		
REGISTRO: FD 830-18								
KM ENSAIO: 857+122			KM ENSAIO: 857+066			KM ENSAIO: 857+020		
Ø (mm)	LOCALIZAÇÃO		Ø (mm)	LOCALIZAÇÃO		Ø (mm)	LOCALIZAÇÃO	
	T.E	T.J		T.E	T.J		T.E	T.J
D1	203	143	D1	213	193	D1	206	207
D2	195	178	D2	176	197	D2	200	193
D3	204	180	D3	197	192	D3	212	200
D4	200	171	D4	200	200	D4	182	210
DM	200,5	168,5	DM	197,0	196,0	DM	200,0	202,5
HS	0,79	1,12	HS	0,82	0,83	HS	0,80	0,78
HSM	0,96		HSM	0,82		HSM	0,79	
KM ENSAIO: 856+974			KM ENSAIO:			KM ENSAIO:		
Ø (mm)	LOCALIZAÇÃO		Ø (mm)	LOCALIZAÇÃO		Ø (mm)	LOCALIZAÇÃO	
	T.E	T.J		T.E	T.J		T.E	T.J
D1	210	222	D1			D1		
D2	180	171	D2			D2		
D3	194	226	D3			D3		
D4	186	212	D4			D4		
DM	192,5	207,8	DM			DM		
HS	0,86	0,74	HS			HS		
HSM	0,80		HSM			HSM		
			<b>MÉDIA = 0,8</b>					
			<b>CLASSIFICAÇÃO</b>					
			0,0			0,2		
			0,2			0,4		
			0,4			0,8		
			0,8			1,2		
			1,2			ou maior		
			<i>muito fina ou muito fechada</i>			<i>fina ou fechada</i>		
			<i>média</i>			<i>grossa ou aberta</i>		
			<i>muito grossa ou muito aberta</i>					
$D_m = \frac{\sum D_i}{n}$			$HS = \frac{4V}{\pi(D_m)^2}$			$HSM = \frac{\sum H_{si}}{n}$		
VOLUME (V) DE AREIA			25000mm <sup>3</sup>					
OBS:								