

N. CLASS.	625.85
CUTTER	5586/a
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

ENGENHARIA CIVIL

SANDRO REIS DA SILVA

**ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE TRINCAS E BOMBEAMENTO DE FINOS APÓS A
RECICLAGEM DA BASE COM ADIÇÃO DE CIMENTO NA BR – 381 (FERNÃO
DIAS) – TRECHO 1**

**Varginha
2015**

SANDRO REIS DA SILVA

**ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE TRINCAS E BOMBEAMENTO DE FINOS APÓS A
RECICLAGEM DA BASE COM ADIÇÃO DE CIMENTO NA BR – 381 (FERNÃO
DIAS) – TRECHO 1**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Minas (UNIS) como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do professor Armando Belato Pereira.

**Varginha
2015**

SANDRO REIS DA SILVA

**ANÁLISE DA FORMAÇÃO DE TRINCAS E BOMBEAMENTO DE FINOS
APÓS A RECICLAGEM DA BASE COM ADIÇÃO DE CIMENTO NA BR – 381
(FERNÃO DIAS) – TRECHO 1**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Minas (UNIS) como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Esp. Armando Belato Pereira

Prof. Thiago Luis Nogueira Silva

Prof. Esp. Leopoldo Freire Bueno

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que contribuíram para sua realização, em especial aos meus pais que não mediram esforços para me apoiar em todos os momentos de dificuldade da minha vida e de minha formação. A minha querida Irma, a todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica até o presente momento em especial ao meu orientador deste trabalho de conclusão de curso Armando Belato e a todos os meus colegas de faculdade e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, sabedoria e determinação para me dedicar aos estudos, aos meus pais por acreditarem em meu objetivo e possibilitarem que meu sonho de formar Engenheiro Civil esteja sendo realizado. A minha irmã pelo incentivo durante toda a minha vida. Agradeço a todos os docentes que passaram por minha vida acadêmica e acrescentaram conhecimentos preciosos para o meu aprendizado. Agradeço ao meu orientador deste trabalho Armando Belato, pelas indicações, correções e conselhos durante a elaboração da execução do mesmo. Agradeço as pessoas que contribuíram com o fornecimento de informações e dados para a realização do trabalho, de modo especial ao Assistente Técnico de Pavimentação Camilo Reis, pela boa vontade em acompanhar a visita ao local de estudo e pelas trocas de conhecimento técnico.

“Para mim viver é estar continuamente motivado. O significado da vida não é simplesmente existir, sobreviver, mas sim crescer, alcançar e conquistar.”

(Arnold Schwarzenegger)

RESUMO

Este trabalho analisa diversos pontos do pavimento asfáltico que apresentam trincas e bombeamento de finos da rodovia Fernão Dias, BR – 381 pista Sul e Pista Norte, localizada no trecho dos km 477 que se localiza na divisa de Contagem - MG e Belo Horizonte (Praça da CEMIG) ao km 666 localizado no Retiro das Pimentas (Distrito de Perdões - MG). Uma das pistas mais importantes do Brasil por interligar duas das principais regiões metropolitanas do Brasil, São Paulo e Belo Horizonte. A rodovia Fernão Dias é administrada pela companhia de concessão Arteris S/A. Ultimamente a rodovia vem sofrendo com o surgimento da grande quantidade de trincas e bombeamento de finos em diversos pontos onde foi realizada a reciclagem de base com adição de cimento.

Foi identificado que o problema das trincas está acontecendo pelo fato do não cumprimento das especificações corretas da execução do serviço, falta de controles tecnológicos mais completos e por não serem adotadas medidas que beneficiária a redução ou até mesmo sua formação. Medidas estas que devem ser executadas juntamente com a reciclagem e que diminuiriam os custos com intervenções que deverão ser feitas caso apareça as trincas.

Caso o pavimento comece a apresentar pequenas fissuras, o conveniente é que se faça uma intervenção o mais breve possível para que o problema não progrida e tenha que se fazer uma intervenção mais profunda e em áreas maiores, o que tornaria o custo de recuperação mais elevado.

Palavras-Chave: Pavimentação Asfáltica. Patologias. Trincas. Bombeamento. Intervenções. Controle Tecnológico.

ABSTRACT

This paper analyzes various parts of the asphalt pavement that have cracks and highway thin pumping Fernão Dias, BR - 381 South Lane and North Lane, located in the stretch of km 477 which is located on the border of Contagem - MG and Belo Horizonte (Square of CEMIG) to km 666 located in the Den Peppers (District of Perdões - MG). One of the most important clues Brazil by linking two major metropolitan regions of Brazil, Sao Paulo and Belo Horizonte. The highway Fernão Dias is administered by the concession company Arteris S / A. Lately the road has suffered from the emergence of the large amount of cracks and fine pumping at several points where the base recycling with the addition of cement was performed.

It was identified that the problem of cracks is happening because of the failure to comply with correct specifications of the assignment, lack of more complete technological controls and for not being adopted measures benefiting the reduction or even their education, reforms which must be performed along with recycling and decrease the cost of interventions to be made if cracks appear.

If the pavement begins to show small cracks in convenient it is that you make a more brief intervention as possible so that the problem does not progress and have to make a deeper intervention and over larger areas, which would make the cost of higher recovery .

Keywords: *Asphalt Paving. Pathologies. Cracks. Pumping. Interventions. Technological Control.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Rodovia Fernão Dias – BR 381.....	13
Figura 2 - Trecho entre os km 477 ao km 666, pista sul e norte.	16
Figura 3 - Trecho com trincas e bombeamento de finos na BR – 381(pista norte).....	18
Figura 4 - Esforços nas camadas do pavimento.	22
Figura 5 - Execução de Pavimento Rígido.	23
Figura 6 - Formas de Distribuição de pressões verticais em pavimentos.....	24
Figura 7 - Estrutura do Pavimento Tipo Flexível.....	25
Figura 8 - Extração de corpo de prova.	
Figura 9 - Camadas constituintes do pavimento.....	30
Figura 10 - Ensaio do frasco de areia.	30
Figura 11 - Equipamento DCP.	
Figura 12 - Equipamento DCP em uso.....	31
Figura 13 - Esquema da viga Benkelman.....	33
Figura 14 - Viga Benkelman em utilização.....	34
Figura 15 - Detalhe do prato de aplicação de carga e da barra de sensores.	35
Figura 16 – Equipamento FWD.....	35
Figura 17 - Esquema de medidas com o FWD.....	36
Figura 18 - Trinca de Retração.....	37
Figura 19 - Bombeamento de finos.	38
Figura 20 - Trincas e bombeamento de finos no pavimento.	39
Figura 21 - Trincas e bombeamento de finos.	40
Figura 22 - Recicladora realizando a homogeneizando do cimento e dos agregados da base. 41	
Figura 23 - Remoção do Pavimento através da Fresagem.....	42
Figura 24 - Possíveis formações de painéis.	43
Figura 25 - Distribuição do cimento através de sacos.....	46
Figura 26 - Distribuição do cimento com equipamento adequado.....	48
Figura 27 - Compactação logo após a reciclagem.....	48
Figura 28 - Ilustração da diferença do Dreno convencional e MacDrain.....	49
Figura 29 - Execução do Macdrain e MacPipe.....	50
Figura 30 - Saída de água do tubo dreno MacPipe.....	51
Figura 31 - Esquema de uma fresadora.....	52
Figura 32 - Disposição dos bits e tambor rotativo para moagem.	53
Figura 33 - Vassoura mecânica (Bobcat).	53
Figura 34 - Microrrevestimento aplicado.....	54
Figura 35 - Aplicação do microrrevestimento.....	55
Figura 36 - Aplicação do CBUQ com vibroacabadora.....	56
Figura 37 - Compactação do CBUQ com rolo de pneus.....	57
Figura 38 - Reparo profundo localizado.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quadro da composição de custos do sistema MacDrain e MacPipe.	48
Tabela 2 - Quadro da composição de custos do microrrevestimento.	53
Tabela 3 - Quadro da composição de custos da recomposição com CBUQ.	55
Tabela 4 - Quadro da composição de custos do reparo profundo localizado.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
BGTC – Brita Graduada Tratada com Cimento
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCP – Concreto de Cimento Portland
CCR – Concreto Compactado com Rolo
CCR – Companhia de Concessões Rodoviárias
DCP – Dynamic Cone Penetrometer
DNER – Departamento Nacional de Estrada e rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
ESRS – Eixo Simples de Roda Dupla
FWD – Falling Weight Deflectometer
NDT – Non-destructive Testing
OHL – Obrascon Huarte Lain
TRO – Termo de Registro de Ocorrência
TCC – Trabalho de Conclusão de Curso
ACPA – American Concrete Pavement Association

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivo Específico	16
3 JUSTIFICATIVA	17
4 METODOLOGIA DE PESQUISA	19
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
5.1 História	20
5.2 Pavimento	21
5.2.1 Classificações dos Pavimentos	22
5.2.1.1 Pavimento Rígido	23
5.2.1.2 Pavimento Semirrígido	23
5.2.1.3 Pavimento Flexível	24
5.2.1.3.1 Regularização	25
5.2.1.3.2 Reforço do Subleito	26
5.2.1.3.3 Sub-Base	26
5.2.1.3.4 Base	27
5.2.1.3.5 Revestimento	28
5.3 Avaliação Estrutural	28
5.3.1 Avaliação Estrutural Destrutiva (Prospecções)	29
5.3.2 Prospecção Não Destrutiva do Pavimentos	32
5.3.3 Medidas de Deflexões	32
5.3.3.1 Deflexões estáticas com viga de Benkelman (DNER-ME 24/1978)	33
5.3.3.2 Deflexões por Impacto com falling weight deflectometer (DNER – PRO 273/1979)	34
5.3.4 Considerações finais sobre análise estrutural do pavimento	36
5.4 Avaliação Funcional	37
6 DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA	39
6.1 Relação entre a patologia das trincas e bombeamento de finos e a reciclagem .	40
6.1.1 Reciclagem profunda de pavimento com adição de cimento	41
6.1.2 Fissuração durante a cura de concretos	43
6.1.3 Execução x Normas e especificações	44
7 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DAS TRINCAS.....	47
7.1 Durante a execução do serviço	47
7.1.1 Composição de preço sistema MACDRAIN® e MACPIPE®	51
7.2 Após o surgimento das trincas.....	52
7.2.1 Fresagem associada a uma recomposição	52
7.2.2 Microrrevestimento asfáltico a frio.....	54

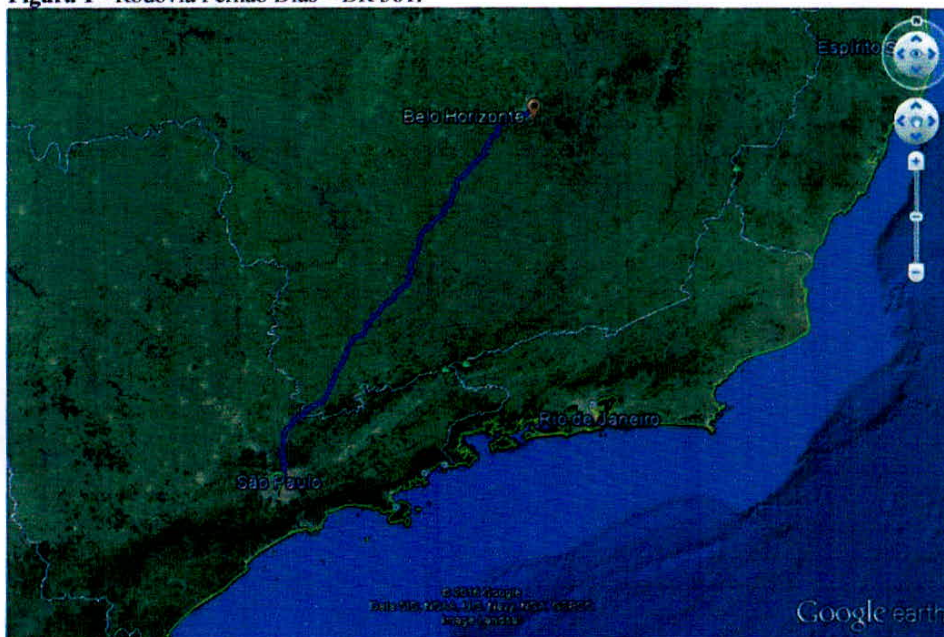
7.2.2.1 Composição de custo de recomposição com microrrevestimento	56
7.2.3 Recomposição com CBUQ	56
7.2.3.1 Composição de custo da recomposição com CBUQ	57
7.2.4 Reparo profundo localizado	58
7.2.4.1 Composição de custo do reparo profundo.....	59
8 CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXO A – Termo de Registro de Ocorrência (TRO)	65
ANEXO B – Resultado da Viga Benkelman do trecho em estudo	66
ANEXO C – Seção transversal demonstrativa do pavimento existente	67
ANEXO D – Tabela da composição granulométrica (DNIT 167/2013-ES).....	68
ANEXO E – TABELA DO CALOR DE HIDRATAÇÃO	69
ANEXO F – Controle Tecnológico de Base Reciclada	70

1 INTRODUÇÃO

Fernão Dias (1608 – 1681) foi um célebre bandeirante paulista. Ficou conhecido como “O caçador de esmeraldas”. Em uma de suas expedições com destino aos sertões de Minas Gerais, Fernão Dias Pais Leme foi o responsável pela abertura do caminho que provocou o surgimento da então hoje rodovia Fernão Dias, denominação dada a BR – 381.

A inauguração da rodovia veio a ser feita pelo presidente Juscelino Kubitschek no ano de 1959, porém a obra ainda estava inacabada e ligava as cidades de Belo Horizonte e Pouso Alegre. No ano de 1961 a rodovia havia sido totalmente concluída e as obras nos trechos paulistas finalizadas, ligando assim as cidades de Belo Horizonte a São Paulo (figura 01).

Figura 1 - Rodovia Fernão Dias – BR 381.



Fonte: (Google Earth, 2015).

No Brasil, segundo reportagem feita pelo jornal “Bom dia Brasil” (edição do dia 17/04/2014), pouco mais de 10 % das estradas brasileiras são asfaltadas. Em entrevista ao jornal, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), relata que a malha rodoviária do país tem quase 1,7 milhão de quilômetros. Desse total, 87,9% não tem pavimentação. Dessa porcentagem que recebe pavimentação, uma parte está nas mãos de empresas que devem conservar e realizar obras necessárias a melhorias das rodovias, esse valor é de cerca de 20 mil quilômetros concedidos.

Dentre as empresas que dominam o mercado da concessão, estão a Odebrecht, Triunfo e Invepar, que se juntam a CCR, Ecorodovias, e Arteris (ex OHL), sendo esta última a detentora da concessão estudada neste trabalho.

A OHL Brasil (*Obrascon Huarte Lain s/a*), empresa de um grupo de construtores e de concessões da Espanha, respondia pela Autopista Planalto sul, Autopista Fluminense, Autopista Regis Bittencourt, Autopista Litoral Sul e a Autopista em estudo Fernão Dias. A OHL foi vendida, a compradora recém-criada Arteris, pertence ao grupo Abertis, que com a compra da OHL se torna a maior operadora de rodovias do mundo.

As rodovias administradas pela Arteris têm como foco a segurança e a excelência no atendimento ao usuário. A concessionária é responsável pelo monitoramento, operação, modernização, manutenção, restauração e conservação do pavimento e das áreas ao seu entorno, dentre vários itens presentes numa rodovia, sendo estas três últimas responsabilidades, o direcionamento do presente trabalho.

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, destinada técnica e economicamente a resistir a cargas aplicadas pelo tráfego e pelo clima, construída sobre a superfície de terraplenagem.

O pavimento rodoviário classifica tradicionalmente em dois tipos, pavimento rígido e pavimento flexível, ultimamente tem-se tido uma tendência de usar pavimento de concreto de cimento Portland e pavimento asfáltico respectivamente, este último mais comumente encontrado e utilizado. O pavimento asfáltico é o que se encontra presente ao longo de toda a BR 381 é aquele em que o revestimento é composto por agregados e ligantes asfálticos.

Este trabalho tem a finalidade de analisar dois sinais visíveis que vem ocorrendo em vários pontos da BR – 381, especificamente no trecho entre os km 477 ao km 666, pista Norte e pista Sul, onde foi realizada a reciclagem da base, que são as trincas e o bombeamento de finos para a superfície. Quando não é feita uma intervenção ao aparecerem estes primeiros sinais, o problema pode ter seu potencial aumentado com a chuva e com o trânsito dos veículos que por ali trafegam, formando panelas, o que traz riscos para os motoristas, prejuízos para os mesmos e também para a concessionária que caso não solucione o problema descrito no TRO (Termo de Registro de Ocorrência – Anexo A) no tempo estipulado, recebe multas, que podem ter valores altos.

Seria interessante adotar medidas que junto a reciclagem da base, auxiliariam o bom desempenho do pavimento e o prolongamento da sua vida útil, assim como, evitariam que tantas trincas se formassem. Ou então, caso o pavimento venha a apresentar pequenas fissuras, que seja realizada intervenções o mais rápido possível para que a patologia não

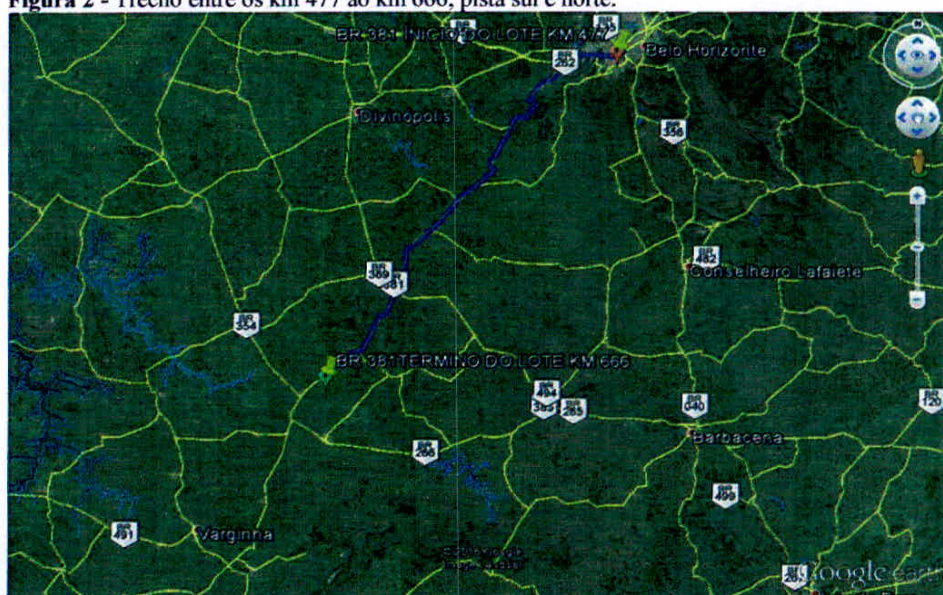
progrida, tendo que ser feitas correções profundas e com valores elevados na estrutura do pavimento como mostrado no decorrer deste trabalho.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é analisar o porquê do aparecimento das trincas e do bombeamento de finos para a superfície, nos locais onde foi realizada a reciclagem de base com adição de cimento no lote 1, trecho entre os km 477 ao km 666, pista Sul e pista Norte, conforme apresentado na figura 02, e propor uma solução, associando as análises feitas com respaldos técnicos.

Figura 2 - Trecho entre os km 477 ao km 666, pista sul e norte.



Fonte: (Google Earth, 2015).

2.2 Objetivo Específico

Há uma escassez de estudos e dados publicados no Brasil sobre o comportamento mecânico de materiais resultantes da reciclagem do pavimento com adição de cimento, bem como o seu desempenho em campo. O presente trabalho terá como objetivo em sua primeira parte, identificar quais as patologias, locais onde ocorreram e quais os fatores externos podem contribuir para o aparecimento das trincas e do bombeamento de finos. Em sua segunda parte, levantar relatórios e ensaios da execução da reciclagem, realizar estudos comparativos entre os ensaios e o especificado em norma, verificar se a reciclagem foi realizada acompanhando o que foi previsto em projeto e em análises feitas em laboratório e propor possíveis soluções com seus respectivos custos para o problema.

3 JUSTIFICATIVA

O trecho em análise, lote 1, por onde hoje trafegam os veículos cada vez mais longos e pesados, bi-trem, semi-reboques, exigindo cada vez mais do pavimento, é o mesmo executado a mais de 50 anos atrás, em se tratando da primeira execução, e com pavimento um pouco mais recentes em se tratando da duplicação ocorrida de 1995 a 2005. Conforme João Albano em entrevista, um dos principais problemas causados pelo excesso de carga é a deteriorização prematura dos pavimentos. A vida útil de uma rodovia cai, em média, 30 %. Mas naquelas em que o tráfego é mais intenso, nos casos em que serve para o escoamento da produção, a redução chega a 70%. Assim, o pavimento feito para durar dez anos, resiste sete. Nos casos mais extremos, apenas três anos (PIANEGONDA, 2014).

Existem vários métodos tecnológicos e formas de intervenção para se recuperar a capacidade estrutural de uma rodovia. Porém, com a crescente necessidade de se conscientizar da finitude dos recursos naturais, da preservação do meio ambiente e redução de emissão de poluentes, crescem as buscas por alternativas menos agressivas ambientalmente e de maior durabilidade para a recuperação e manutenção de rodovias.

A reciclagem do pavimento existente tem ganhado espaço e olhares de simpatia dos órgãos de gestão e de comunidade internacional por representarem alternativas técnicas e economicamente viáveis.

A reciclagem de pavimentos é uma técnica cujo objetivo fundamental é transformar um pavimento degradado numa estrutura homogênea e adaptado ao tráfego que deverá suportar. Ou seja, consiste em reutilizar os materiais existentes na construção de uma nova camada, mediante a desagregação dos mesmos numa certa profundidade, a adição de um conglomerante ou aglomerante (cimento ou emulsão), água (para a hidratação, pré-molhagem e compactação), eventualmente agregados (como corretores granulométricos ou com outros fins) e algum aditivo, com uma dosificação obtida mediante ensaios. A mistura homogênea destes materiais espalha-se, compacta-se e deixa-se curar adequadamente, constituindo uma base ou uma camada estruturalmente resistente de um novo pavimento (FONSECA, 2009 apud OLIVEIRA, 2010, p. 2).

A Rodovia Fernão Dias, vem passando nos últimos anos, por este processo de reciclagem do pavimento com adição de cimento, a partir do ponto em que se viu necessária a intervenção pelo motivo do antigo pavimento ali existente não aceitar mais pequenos reparos como, tapa buracos ou remendos ou por este não fornecer o resultado necessário e requisitado.

Porém, após a reciclagem ser realizada, observou-se o surgimento muito repetitivo de trincas e bombeamentos de finos para a superfície.

Torna-se necessário analisar o porquê destas trincas e bombeamentos estarem acontecendo, conforme apresentado na figura 03, e verificar de acordo com respaldos técnicos, qual a melhor intervenção a ser realizada de modo que estas trincas não progridam para estágios mais críticos, vindo a formar panelas e colocando em risco a vida dos usuários da rodovia.

Figura 3 - Trecho com trincas e bombeamento de finos na BR – 381(pista norte).



Fonte: (Concessionária Arteris S/A, 2015)

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Assim que foram estipuladas as diretrizes para a realização do trabalho de conclusão de curso pela coordenação da Engenharia Civil, instigou-se a necessidade de procurar um problema que estivesse mais próximo do cotidiano do executor e que o mesmo tivesse mais afinidade com o assunto. Com o problema identificado, e posteriormente confirmado pelo profissional da empresa administradora do local onde o impasse ocorria, iniciou-se o processo de pesquisas literárias sobre o assunto.

Foi necessária uma visita com o Assistente de Pavimentação II Camilo Reis aos locais onde o problema ocorria, onde o mesmo foi apontando e fazendo relatos de cada ponto onde existiam o problema. Durante a execução deste trabalho foram realizados diversos diálogos com o Assistente para que o mesmo acrescesse de experiência profissional o estudo a ser realizado.

Utilizou-se para a realização deste trabalho, normas, trabalhos acadêmicos, e diversos livros, dos quais foram obtidos conceitos básicos que norteiam o tema.

Na segunda etapa do trabalho, fez-se necessário a análise da norma DNIT 197/2013 – ES (Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland – Especificação de Serviço) que regulamenta a execução do serviço, compara-la com a especificação particular da empresa que foi liberada para a leitura e análise, e indagar se durante a execução do serviço eram respeitados e executados conforme previsto nas mesmas.

Foi analisado também o único controle tecnológico realizado e fornecido pela empresa para verificar se existe alguma desconformidade de dados apresentados nele em relação a norma.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 História

Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a pesados trenós destinados ao transportes de cargas elevadas. Como no caso das construções das pirâmides do Egito (2600 – 1400 a.C.).

Como o pavimento a história também é constituída de camadas e, frequentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas.

Embora seja reconhecida a existência remota de sistemas de estradas em diversas partes do globo, construídas para fins religiosos (peregrinações) e comerciais, ficou atribuída aos romanos à arte maior do planejamento e construção viária. Visando, entre outros, objetivos militares de manutenção da ordem do vasto território do Império, que se inicia com Otaviano Augusto no ano 27 a. C., deslocando tropas de centros estratégicos para as localidades mais longínquas, os romanos foram capazes de implantar um sistema robusto construído com elevado nível de critério técnico, 58-50 a.C.

Em se tratando do declínio da estrada, ele se deu no século XIII com o crescimento do transporte marítimo. O interesse na rota ressurgiu no final do século XIX após expedições arqueológicas.

Segundo Bittencourt (1958), Uma das primeiras estradas reportadas tem início em 1560, à época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Trata-se do caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. Em 1661, o governo da Capitania de São Vicente recuperou esse caminho, construindo o que foi denominada Estrada do Mar (ou Caminho do Mar), permitindo assim o tráfego de veículos. Em 1789, a estrada foi recuperada, sendo a pavimentação no trecho da serra feita com lajes de granito, a chamada Calçada de Lorena, ainda hoje em parte preservada. A Estrada do Mar emprestou parte do seu traçado para a construção da Estrada da Maioridade, em homenagem à maioria de D. Pedro II, iniciada em 1837 e concluída em 1844. Em 1913, iniciou-se novamente uma recuperação, mas a estrada foi posteriormente abandonada devido à concorrência da linha férrea.

Uma importante e conhecida estrada foi também a Estrada Real, designação usada em Minas Gerais, ou Caminho do Ouro (designação usada em Paraty, RJ) tem sua origem atribuída a uma trilha usada pelos índios goianás anteriormente à chegada dos portugueses, daí Trilha Goianá ser também uma designação do caminho, entre outras. A estrada possui dois

caminhos, o velho, que liga Ouro Preto (MG) a Paraty (RJ), e o mais novo, que segue do Rio de Janeiro a Diamantina (MG), também passando por Ouro Preto.

(BERNUCCI, 2006) Durante o Império (1822-1889) foram poucos os desenvolvimentos nos transportes do Brasil, principalmente o transporte rodoviário. No início do século XX, havia no país 500 km de estradas com revestimento de macadame hidráulico ou variações, sendo o tráfego restrito a veículos de tração animal (Prego, 2001). Em 1896 veio da Europa para o Brasil o primeiro veículo de carga. Em 1903 foram licenciados os primeiros carros particulares e em 1906 foi criado o Ministério da Viação e Obras Públicas. Em 1909 o automóvel Ford modelo T foi lançado nos Estados Unidos por Henry Ford, sendo a Ford Motor Company instalada no Brasil em 1919. Em 1916 foi realizado o I Congresso Nacional de Estradas de Rodagem no Rio de Janeiro. Em 1928, foi criado pelo presidente Getúlio Vargas, o Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER). Em meados da década de 1940 observou-se o desenvolvimento da pavimentação, fruto da tecnologia desenvolvida na 2ª Guerra Mundial.

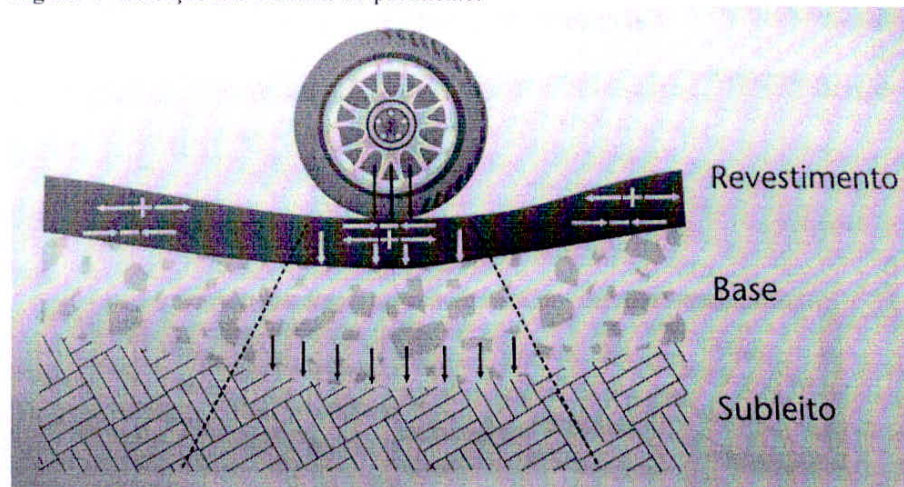
5.2 Pavimento

Uma definição mais ampla sobre pavimento de acordo com Moura (2011, p. 4) é: “pavimento é uma estrutura constituída de diversas camadas de diversos materiais num espaço semi-finito construída para resistir às solicitações das cargas repetidas e itinerantes e ações do ambiente no horizonte temporal de projeto”.

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida.

Para que funcione adequadamente, todas as peças que compõem um pavimento devem trabalhar deformações compatíveis com a sua natureza e a capacidade portante, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida nos materiais que constituem as camadas do pavimento (figura 04).

Figura 4 - Esforços nas camadas do pavimento.



Fonte: (BALBO, 2007, p. 35).

5.2.1 Classificações dos Pavimentos

Em engenharia, as tentativas de classificações e definições encontram-se, muitas vezes, tão crivadas de limitações que acabam se tornando ineficientes, sendo então preferível e até desejável não impor definições muito rígidas, mas apontar limitações de utilização de um dado termo ou expressão.

Os pavimentos são classificados basicamente em dois tipos tradicionais: os pavimentos rígidos e os flexíveis. Nota-se uma tendência recentemente de utilizar-se a nomenclatura pavimento de cimento Portland (ou simplesmente concreto cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento.

BALBO (2007, p46) Um pavimento com revestimento asfáltico e base de solo-cimento é chamado, na nomenclatura internacional, de semirrígido. No meio profissional e mesmo acadêmico, vez ou outra, há quem conteste o uso desse termo, com base em assertiva da seguinte espécie: “uma janela ou encontra-se aberta ou fechada; não pode estar semiaberta ou semifechada”. Argumentos desse tipo ou com outros sofismas podem até mesmo não encontrar respaldos na filosofia, além, evidentemente, de não resolverem uma questão mais séria e de natureza de engenharia.

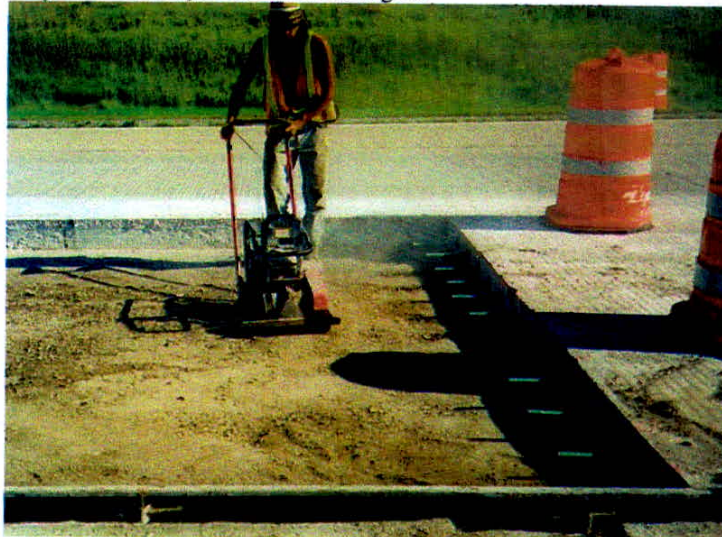
Outra tentativa de terminologia ou classificação que parece fugir do problema estrutural e mecânico é argumentar que a definição não deve ser realizada pela estrutura como um todo, aplicando-se os termos rígido ou flexível às camadas, independentemente. Assim, seria possível dizer, por exemplo, que um pavimento qualquer é composto por um revestimento flexível e uma base rígida, ou vice-versa. Nessa linha de raciocínio, dir-se-ia que

o revestimento é rígido se for de concreto de cimento Portland e que é flexível se de mistura asfáltica, por exemplo. A base é rígida se composta por material tratado com cimento e flexível, se de material granular.

5.2.1.1 Pavimento Rígido

O pavimento rígido é aquele em que o revestimento apresenta elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado, a pressão é distribuída ao longo da laje de concreto. Exemplo típico: pavimentos construídos por lajes de concreto de cimento *portland* conforme verificamos na figura 05.

Figura 5 - Execução de Pavimento Rígido.



Fonte: (ACPA, 2015).

5.2.1.2 Pavimento Semirrígido

É caracterizado por uma base cimentada quimicamente, como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

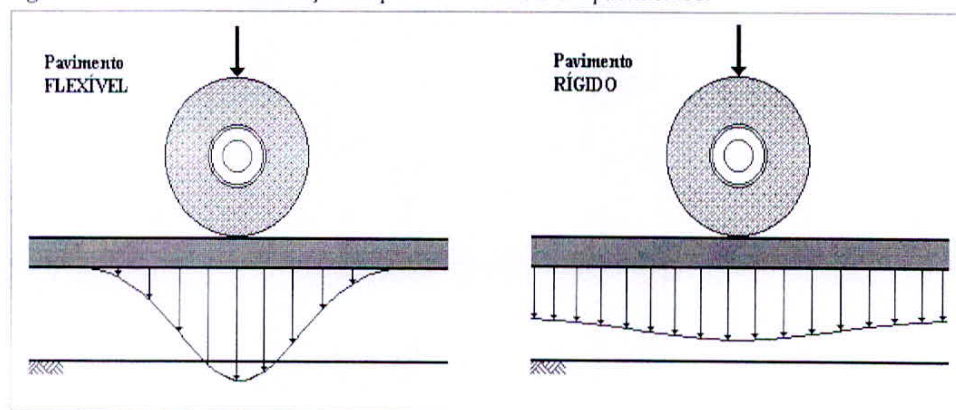
Segundo a definição do DNIT (2006, p95), o pavimento semi-rígido é: “Pavimento que tem uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível constituído de uma base semi-flexível (solo-cal, solo-cimento, solo-alcatroado, etc.) e de camada superficial flexível (concreto asfáltico, tratamento superficial betuminoso).”

Quando um pavimento é dito como semi-rígido, quando este apresenta trincas por fadiga na camada de rolamento, nos induz a associar o problema a base cimentada, sendo que os deslocamentos esperados para esse tipo de pavimento são de pequenas amplitudes, havendo trincas na base, ela se apresenta em blocos, de acordo com a sollicitação através da carga dos veículos, esses blocos se movem e transferem à camada de rolamento deslocamentos que acabam propiciando o aparecimento de trincas.

5.2.1.3 Pavimento Flexível

É aquele em que todas as camadas que o compõe sofrem uma deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalente entre as camadas, de acordo com o que verificamos na figura 06.

Figura 6 - Formas de Distribuição de pressões verticais em pavimentos.

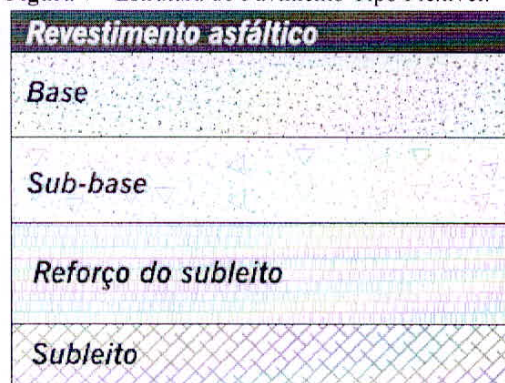


Fonte: (BALBO, 2011, p. 47).

Camadas Constituintes do pavimento flexível

O pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas (figura 07) de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação, obrigatórios.

Figura 7 - Estrutura do Pavimento Tipo Flexível.



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.338).

5.2.1.3.1 Regularização

A regularização é uma camada irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo transversalmente e longitudinalmente, de acordo com o projeto geométrico.

Quando os trabalhos de pavimentação são executados logo após a terraplenagem, a regularização resume-se em corrigir algumas falhas da superfície terraplenada, pois já foram tomados os cuidados necessários ao acabamento da superfície e à compactação do subleito.

Pode haver a necessidade de corte do subleito, conforme definições de projeto, ou mesmo execução de um aterro para elevar o nível do subleito de acordo com a necessidade de cada local. Nos casos de pequenos aterros, o material a ser importado pode ser obtido nos próprios taludes de corte, se não for de pior qualidade que o material do subleito, tomando cuidados a fim de não implicar uma destruição da forma geométrica desses taludes.

Havendo a necessidade e a possibilidade, e sendo viável, convém sempre trazer o material de alguma caixa de empréstimo fora da faixa de domínio.

O preparo do subleito é uma operação que, se não for executada com requintes técnicos, pode comprometer todo o trabalho de pavimentação. É o suporte sobre o qual vão trabalhar as camadas do pavimento.

Durante a execução é necessário controlar principalmente o grau de compactação exigido.

5.2.1.3.2 Reforço do Subleito

O reforço do subleito é a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste e que, por circunstâncias técnico-econômicas, é executada sobre o subleito regularizado.

Geralmente o material constituinte do reforço do subleito é um solo argiloso selecionado, de boas a excelentes características físicas e elevada resistência.

A simples utilização do reforço do subleito indica um pavimento de elevada espessura advindo de um subleito de má qualidade, ou de um subleito de regulares condições associado a um tráfego intenso e pesado.

5.2.1.3.3 Sub-Base

A sub-base é uma camada situada entre o reforço do subleito ou regularização do subleito e a camada de base da estrutura de um pavimento.

Rodovias importantes, que suportam tráfego pesado, geralmente incluem a sub-base como parte da estrutura, a menos que o solo do subleito seja de excelente qualidade.

A sub-base pode constituir de uma ou mais camadas de material apropriadamente compactado. A disponibilidade de bons materiais de jazidas de empréstimo geralmente ditará o que deve ser usado para sua construção, deve ter estabilidade e capacidade de suporte e ótima capacidade de drenar água acumulada e reduzida suscetibilidade às variações volumétricas. O uso de materiais granulares ou estabilizados na sub-base tem sido o mais frequente.

Adicionalmente às funções principais como camada estrutural, a sub-base possui algumas funções secundárias como:

Prevenir a intrusão ou bombeamento do solo do subleito na base. O bombeamento contínuo de materiais do subleito levará o pavimento a ruína. Por outro lado, o bombeamento depende de três condições básicas:

Frequência de cargas pesadas.

Presença de solo de granulometria fina que possa ser carregado pela água.

Presença de água livre no pavimento, geralmente oriunda de infiltrações pelas laterais ou trincas no pavimento.

Prevenir o acúmulo de água livre no pavimento. Neste caso, o material da sub-base deve ter qualidades granulométricas drenantes, ou então deve-se prever a inclusão de

dispositivos de drenagem, tais como: colchão drenante, drenos espinhas-de-peixe, entre outros.

Recentemente tem-se utilizado como material de sub-base brita graduada tratada com cimento (BGTC), com característica de resistência maior que a camada de base granular.

5.2.1.3.4 Base

A camada de base é a parte da estrutura do pavimento situada imediatamente abaixo da camada de revestimento e acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito.

Sua principal função no pavimento é o suporte estrutural, promovendo a rigidez e a resistência à fadiga da estrutura.

A base deve reduzir as tensões de compressão no subleito e na sub-base a níveis aceitáveis, ou seja, deve distribuir as cargas aplicadas na superfície do pavimento de modo a minimizar ou eliminar as deformações de consolidação e cisalhamento no subleito e/ou na sub-base.

As especificações para os materiais da camada de base são em geral mais rigorosas do que as utilizadas para materiais de sub-base em termos de resistência, plasticidade, graduação e durabilidade.

Os materiais mais comumente utilizados consistem de produtos de britagem, mistura de solos e materiais britados.

A base pode também ser executada com materiais tratados ou estabilizados com aglomerantes como o cimento *portland*, betume, cal, cinzas volantes e mistura desses aglomerantes.

Uma consideração que deve ser levada em conta quando utiliza bases pozolânicas revestidas com capas asfálticas, é a de que pode ocorrer a propagação de trincas transversais no revestimento. Neste caso, juntas produzidas artificialmente (serradas) e seladas, podem ser utilizadas para minimizar esses defeitos, além de facilitar as operações futuras de selagem. O espaçamento entre essas juntas varia de 8 a 10 metros, dependendo de experiências locais.

Os materiais mais utilizados para a execução da base são: Base de brita graduada; base de brita corrida; base de macadame hidráulico; base de macadame betuminoso; base de solo estabilizado granulometricamente; base de solo cimento; base de solo arenoso fino laterítico; base de solo-brita e base de brita graduada tratada com cimento.

5.2.1.3.5 Revestimento

A camada de revestimento de uma estrutura flexível consiste de uma mistura de agregados minerais e materiais betuminosos, sobreposta à camada de base.

Em adição a sua principal função como componente estrutural do pavimento, ela deve ser projetada para, resistir às forças abrasivas do tráfego, reduzir a penetração de água superficial no pavimento, proporcionar uma superfície resistente ao deslizamento dos veículos e proporcionar um rolamento suave e uniforme ao tráfego.

O sucesso do revestimento depende da obtenção de uma mistura com uma ótima graduação de agregados e da porcentagem de ligante betuminoso, de modo a ser durável, resistente a fraturas e desagregações, sem se tornar instável ao tráfego esperado e às condições climáticas.

A massa para os revestimentos é geralmente preparada por misturas a quente, em usinas apropriadas, como o concreto asfáltico, por exemplo. Também pode ser obtida em usinas de mistura a frio, com emulsões asfálticas. As massas misturadas a quente são recomendadas para uso em rodovias de tráfego de moderado a elevado.

Conforme as funções desejadas, as pinturas asfálticas que são aplicadas antes do lançamento do revestimento podem ser dos seguintes tipos:

Imprimação: é a pintura asfáltica realizada com o objetivo de conferir coesão à superfície da camada, pela penetração do ligante aplicado, atribuir certo grau de impermeabilização, e promover condições de aderência entre a base e a camada asfáltica a ser sobreposta.

Pintura de ligação: é a pintura asfáltica executada com a função básica de promover a aderência em relação à camada asfáltica sobreposta.

Pintura de cura: é a pintura asfáltica aplicada sobre as camadas tratadas com cimento *portland* ou cal hidratada, recém-executadas, com a função de evitar a perda acelerada de umidade e conseqüentemente, promover adequadas condições para o desenvolvimento do processo de cura.

5.3 Avaliação Estrutural

A expressão *avaliação estrutural*, em seu sentido mais amplo, abrange a caracterização completa de elementos e variáveis estruturais dos pavimentos que possibilite uma descrição objetiva de seu modo de comportamento em face das cargas do tráfego e

ambientes, de modo a possibilitar a emissão de julgamento abalizado sobre a capacidade portante de um pavimento existente diante das futuras demandas do tráfego. Assim, caracterizar a estrutura de pavimento existente implica a determinação dos materiais e espessuras que constituem cada camada do pavimento, incluindo solos de subleitos, bem como a verificação, por meios e métodos de engenharia, das condições de integridade dos materiais existentes no pavimento em análise, por meio de parâmetros estruturais, em particular, da medida de deformações.

Tais avaliações, combinadas com a avaliação dos defeitos superficiais, possibilitam ao engenheiro a definição dos padrões e causas de patologias existentes nos pavimentos, visando a sua completa reparação, sendo, portanto, complementar à avaliação de defeitos por processos visuais. Além disso, a avaliação estrutural permite emitir conclusões sobre a integridade de camadas de materiais subjacentes ao revestimento, cujos defeitos, muitas vezes, não são detectados pela avaliação visual superficial, como no caso de intensas deformações plásticas, rupturas e contaminação em camadas granulares, ou mesmo fissuras de retração e fadiga em bases cimentadas (que ainda não se propagaram para a superfície do revestimento).

5.3.1 Avaliação Estrutural Destrutiva (Prospecções)

A avaliação estrutural destrutiva tem por finalidade a completa caracterização física da estrutura do pavimento: determinação das camadas existentes, definição dos materiais que as compõem e suas espessuras conforme os exemplos das figuras 08 e 09, bem como indicação do estado de degradação presente de todas as camadas, em geral inviáveis com apenas avaliações de defeitos superficiais. Esse conhecimento preliminar, porém já com certo detalhamento do pavimento, é o ponto de partida dos estudos para avaliação de necessidades de restauração.

Figura 8 - Extração de corpo de prova.



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.444).

Figura 9 - Camadas constituintes do pavimento.



Fonte: (DYNATEST, 2004).

O ensaio do frasco de areia (figura 10) é utilizado para se determinar o peso específico do solo seco e o controle da compactação em aterros.

Figura 10 - Ensaio do frasco de areia.



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.444).

O DCP (figura 11 e 12) é um ensaio realizado para se verificar a resistência à penetração, o nível de compactação e os diferentes tipos de camadas do solo. O ensaio é realizado com a cravação de um cone no solo devido à queda de um martelo, registrando-se a penetração provocada até que uma determinada profundidade de inspeção seja atingida.

Figura 11 - Equipamento DCP.

Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.444).

Figura 12 - Equipamento DCP em uso.

Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.444)

Uma avaliação destrutiva pode ser realizada por meio de processos manuais ou mecânicos. Os processos mais empregados são: aberturas de cavas à pá e picareta; abertura de furos a trado, concha helicoidal; abertura de trincheiras transversais à pista; extração de amostras de revestimentos e bases com sondagens rotativas.

Normalmente as cavas são realizadas à direita da faixa de rolamento (portanto no acostamento). A abertura de trincheiras em pista de rolamento só é justificável quando a avaliação e a análise estrutural do pavimento exijam um nível de detalhamento muito grande, que permita, por exemplo, observar deformações plásticas nas trilhas de roda, densidade de fissuração de bases cimentadas, rupturas de camadas de solo inferiores; são serviços mais abrangentes e normalmente empregados por setores de pesquisa e não de projeto.

Sondagens rotativas são, por sua vez, realizadas com emprego de brocas com coroas diamantadas (industrialmente), para a extração de amostras de misturas asfálticas, bases cimentadas e concretos (CCP ou CCR), para posteriores testes laboratoriais. É imperativo reconhecer que tal tipo de sondagem, empregando até mesmo água sob pressão para refrescar a coroa que aquece muito por atrito, não se presta à amostragem de materiais granulares ou solos para extração de amostras, posto que a excessiva vibração da broca, bem como a injeção de água no material, impede seu uso para determinação de massas específicas e de umidade *in situ*. A produção diária pode atingir cerca de 20 furos, conforme a dureza dos materiais em questão.

Sondagem a trado, seja do tipo concha, seja helicoidal, prestam-se à determinação da presença de materiais saturados ou ainda de lençol freático em camadas dos pavimentos, incluindo os subleitos, para posterior postulação de melhorias de drenagem subsuperficial ou profunda em regiões que apresentem padrões de degradação expressivos, com suspeita de ação de água.

5.3.2 Prospecção Não Destrutiva do Pavimentos

Equipamentos de alta tecnologia para identificação de espessuras de camadas e tipos de materiais existentes no pavimento são denominados *ground penetrating radar*, que baseados em processos geofísicos, por meio de uma antena emissora de ondas e outra antena receptora, permitem a detecção de alterações em padrões de reflexão de ondas conforme a profundidade dos pontos registrados. Tais processos permitem primariamente a determinação de espessuras de camadas.

O processo, realizado em movimento do veículo que transporta o equipamento, consiste na emissão de sinais por uma antena sobre a superfície do pavimento; a cada mudança de constantes dielétricas nas camadas, a forma de onda refletida sobre a superfície da camada modifica, permitindo a determinação de espessuras. A determinação do tipo de material existente em cada camada já é um processo menos imediato uma vez que, considerada a diversidade de tipos de materiais, bem como a dos estados de degradação (fissuração, contaminação), é necessária previamente a calibração de resultados para os inúmeros tipos de materiais, de maneira a tornar possível sua identificação pelos padrões de respostas eletromagnéticas obtidas pelo equipamento.

Os ensaios deflectométricos são designados como não-destrutivos ou NDT (*non-destructive testing*), apresentando sobre outros procedimentos todas as vantagens inerentes ao fato de não causarem danos à estrutura analisada.

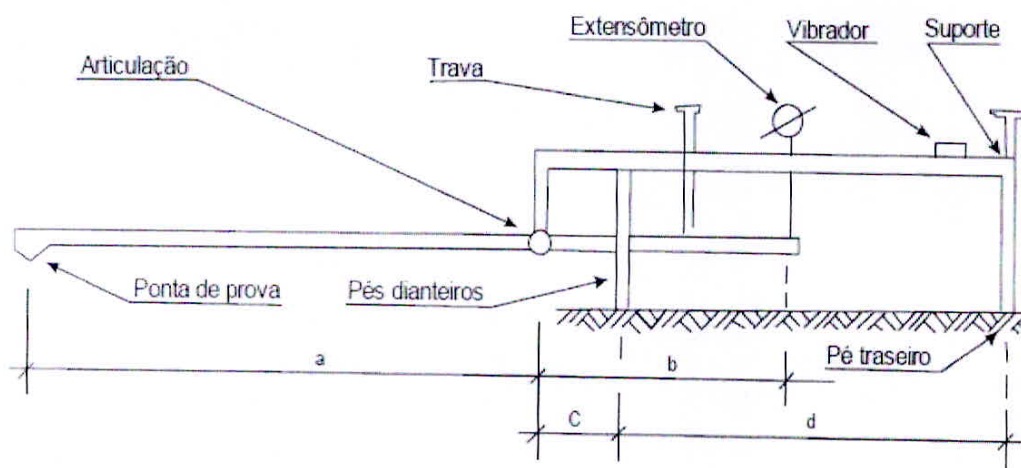
5.3.3 Medidas de Deflexões

Além da determinação de tipos, espessuras e condições presentes nas camadas, que nos trazem diversas informações estruturais, é necessária a determinação da capacidade estrutural do pavimento, o que se faz por meio de provas de carga. Nesse caso, a estrutura é submetida a uma carga conhecida e realiza-se uma medição de deformações que lhe são impostas. Dos tipos de equipamentos são amplamente empregados no Brasil (e no mundo) para tal finalidade: a viga de *Benkelman* e o defletômetro de impacto *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Tais equipamentos medem os deslocamentos verticais sofridos na superfície de um pavimento quando submetido a um carregamento. No meio rodoviário, por influência da escola americana, tais deslocamentos foram alcunhados deflexões (portanto, deflexão = deformação vertical total = deslocamento vertical).

5.3.3.1 Deflexões estáticas com viga de Benkelman (DNER-ME 24/1978)

A viga Benkelman (figura 13) foi e é, de longe, o equipamento de medida de deflexões mais difundido no Brasil. Até mesmo as normas vigentes no País para projetos de restauração de rodovias têm seus modelos de cálculos fundamentados em padrões de deflexão medida com a viga Benkelman (referência ao engenheiro do Bureau of Public Roads dos EUA, que inventou o dispositivo na década de 1950).

Figura 13 - Esquema da viga Benkelman.



- (a) - Distância entre a articulação e a ponta de prova
- (b) - Distância entre o extensômetro e a articulação
- (c) - Distância entre a articulação e os pés dianteiros
- (d) - Distância entre os pés dianteiros e o pé traseiro

Nota: A distância "a" deve ser - 244 cm.

Fonte: (DNIT 133/2010 - ME).

O princípio de funcionamento do equipamento (figura 14) é simplesmente aquele de um braço de alavanca. Uma haste rígida encontra-se com a ponta de prova entre um par de rodas do eixo traseiro de um caminhão do tipo toco (ESRD), carregado com a carga-padrão (80KN) e 100 psi de pressão nos pneumáticos de aro 10 x 20, com ranhuras de pneus em boas condições. Tal haste está articulada em um corpo de apoio para esta viga, e, na outra extremidade da viga, há um extensômetro (relógio comparador), analógico ou digital, com precisão mínima de centésimos de milímetro.

Figura 14 - Viga Benkelman em utilização.



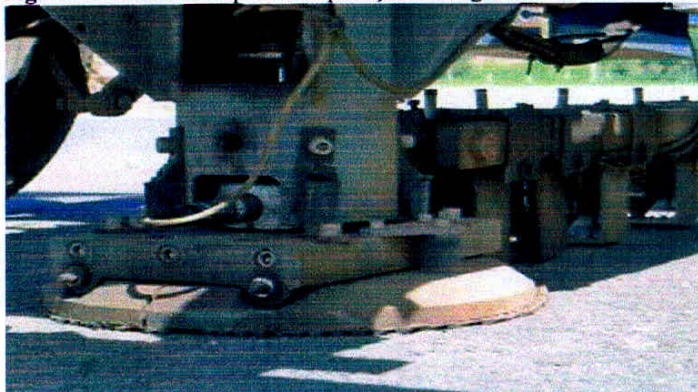
Fonte: (Concessionária Arteris, 2014)

O processo de leituras permite que seja determinada experimentalmente a linha de influência da carga. À medida que o caminhão se movimenta para a frente, a superfície do pavimento tende a retornar à sua posição original; se vários pares de leitruas relacionados à distância percorrida pelo eixo são registrados, é possível ser traçada a linha de influência longitudinal da carga, também denominada bacia de deflexões.

5.3.3.2 Deflexões por Impacto com falling weight deflectometer (DNER – PRO 273/1979)

O *Falling Weight Deflectometer* (FWD) é um equipamento concebido a partir de conceitos anteriormente desenvolvidos para testes geofísicos, tratando-se de um ensaio no qual uma carga dinâmica, aplicada instantaneamente por impacto (pulso de carga) sobre uma placa de dimensões conhecidas, procura similar a aplicação de carga de um par de rodas do caminhão (figura 15). Por se tratar de um teste dinâmico e instantâneo de aplicação de carga, naturalmente, durante sua realização, há condições reduzidas de mobilização de parcelas de deformação viscoelásticas nos materiais.

Figura 15 - Detalhe do prato de aplicação de carga e da barra de sensores.



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.451).

O ensaio consiste na queda de um conjunto de massas (variando de 50 a 300 Kg), a partir de uma altura pré-fixada (20 a 381 mm), sob um sistema de amortecedores de borracha que transmite a força aplicada a uma placa circular apoiada no pavimento. A carga do impulso pode ser variada (7 a 107 KN), pela modificação da altura de queda ou da configuração de massas utilizadas. Na placa circular existe uma célula de carga que mede a carga de impacto proveniente de queda do conjunto de massas; a duração do pulso de carga varia de 0,25 s a 0,30 s, o que equivale aproximadamente a um veículo em movimento a 70 km/h.

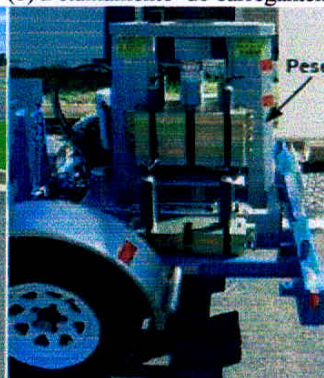
Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos por sete geofones (transdutores de velocidade), instalados na placa de carga e ao longo de uma barra metálica. Em cada estação de ensaio, é possível obter a variação ao longo do tempo das deflexões lidas em cada geofone, a forma do pulso de carga aplicado na placa e a temperatura ambiente e na superfície do pavimento. Uma vista geral do equipamento e do detalhamento do carregamento pode ser visto na figura 16 e um detalhe do esquema de medidas pode ser visto na figura 17.

Figura 16 – Equipamento FWD.

(a) Vista geral do FWD.

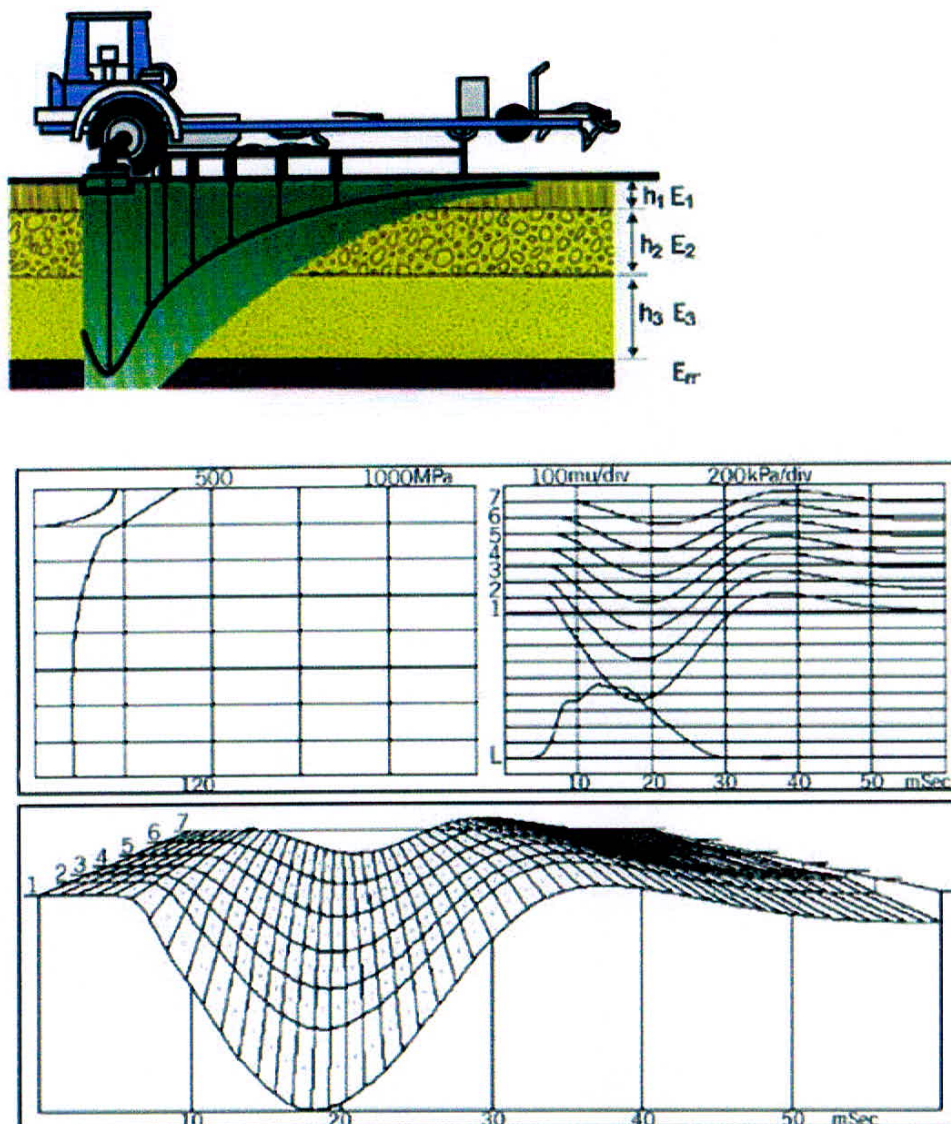


(b) Detalhamento do carregamento.



Fonte: (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.449).

Figura 17 - Esquema de medidas com o FWD.



Fonte: (www.dynatest.com).

5.3.4 Considerações finais sobre análise estrutural do pavimento

A avaliação estrutural é de suma importância para se determinar a capacidade de carga do pavimento desde sua construção, e ao longo de sua vida, para que se conheça o tempo certo, em qual camada e qual intervenção será necessário executar para a prevenção ou correção do problema. Conhecendo a constituição de cada camada, a sua espessura, associada com defeitos superficiais (quando este é visível), se torna mais fácil a definição de padrões e causas de patologias existentes no pavimento.

5.4 Avaliação Funcional

É difícil estabelecer uma única terminologia para os defeitos nos pavimentos. No âmbito rodoviário foi preconizada uma “Terminologia para os defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos”, na Norma DNER-TER 01/78 (Revisada para DNIT 005/2003 – TER) ou seja:

Fenda (F): Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, podendo se apresentar sob forma de fissura ou trinca:

Fissura (FI): Fenda capilar existente no revestimento, somente perceptível, à vista desarmada, a uma distância inferior a 1,50 m.

Trinca (T): Fenda com abertura superior a fissura, podendo apresenta-se sob a forma de trincas isoladas ou interligadas. A trinca isolada pode ser: curta(C) ou longa (L) (extensão superior a 100 cm), e Transversal (T) ou longitudinal (L) (aproximadamente paralela ao eixo do pavimento). Quando devidas a retração, são chamadas de Trincas de Retração (TRR – figura 18). As fendas interligadas podem se apresentar em forma de couro de jacaré (J) sem direções preferenciais ou em forma de Blocos (TB) com lados bem definidos.

Figura 18 - Trinca de Retração.



Fonte: (BERNUCCI, 2006).

Afundamento (A): Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento. Quando acompanhada de solevamento denomina-se de Afundamento Plástico (AP) ou, em caso contrário, Afundamento de Consolidação (AC).

Corrugação ou Ondulações Transversais do Pavimento (O): Deformação caracterizada por ondulações transversais no pavimento.

Escorregamento do Revestimento Betuminoso (E): Deslocamento do revestimento em relação à base com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

Exsudação (EX): Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultante da migração do ligante através do revestimento.

Desgaste (D): Efeito do arrancamento progressivo do agregado do revestimento, caracterizado por aspereza superficial.

Panela (P): Cavidade que se forma no revestimento, podendo alcançar a base, provocada pela desagregação dessas camadas.

Remendo (deterioração do remendo): O remendo é uma porção do revestimento onde o material original foi removido e substituído por outro material. Remendos existentes são em geral consideradas falhas, já que refletem o mau comportamento da estrutura original, gerando normalmente incremento na irregularidade longitudinal.

Separação entre pista e acostamento: Este efeito caracteriza-se pelo alargamento da junção entre a pista e o acostamento. Essa separação não é considerada como um defeito se a junta está muito fechada ou selada e impedindo a infiltração de água às camadas inferiores.

Bombeamento: O bombeamento (figura 19) é caracterizado pela ascensão de água e finos nas trincas sob a ação das cargas de tráfego. Ele é percebido pela existência de manchas na superfície ou pela acumulação de material fino junto às trincas.

Figura 19 - Bombeamento de finos.



Fonte: (BERNUCCI, 2006).

6 DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

“Quando um pavimento deixa de atender satisfatoriamente a segurança e o conforto ou, quando sua estrutura está de qualquer forma ameaçada, algum tipo de reparo ou de reabilitação deve ser empreendido, para que ele volte a ser seguro e de rolamento suave”. Domingues (1993).

De acordo com o informado pelo Assistente Técnico de Pavimento II da Arteris, quando procurado para apontar qual o problema que mais se repetia ao longo de seu trecho na BR – 381, o mesmo informou que eram as patologias de trincas e bombeamento de finos nos locais onde foi realizada a reciclagem de base.

Uma visita foi solicitada ao responsável pela recuperação do pavimento (Assistente Técnico), a qual foi realizada com o mesmo apontando onde os problemas ocorriam. Durante a visita ao lote 1, (km 477 ao 666), pôde-se verificar que são vários os pontos onde ocorrem as trincas, sejam elas transversais (T), longitudinais (L) ao pavimento ou couro de jacaré (J), e o bombeamento de finos. Observou-se que tais patologias ocorrem normalmente nos trechos onde foi executada a reciclagem de base.

Como o trecho é extenso (189 km multiplicados em toda sua extensão por pista dupla, alguns trechos com terceira faixa, pista sul e norte), não se consegue executar uma intervenção em todos os pontos assim que aparecem as primeiras trincas e bombeamento (figura 20), sendo que estes problemas acabam progredindo para afundamentos, trilhos de roda e panelas (buracos), tendo que executar ações provisórias como o remendo (tapas buracos) para que a empresa não seja notificada com o TRO (anexo A), correndo o risco de ser multada por não reparar o problema no tempo determinado.

Figura 20 - Trincas e bombeamento de finos no pavimento.



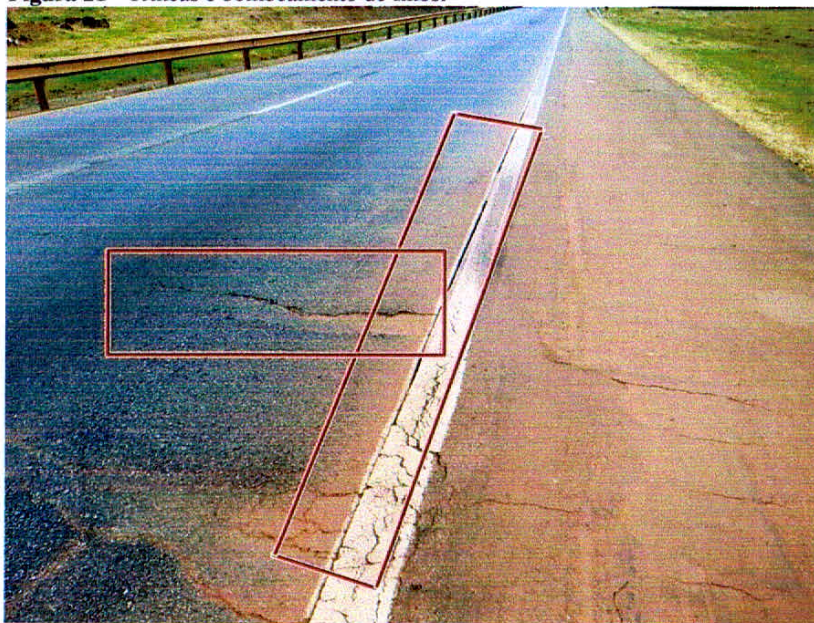
Fonte: (O autor, 2015).

6.1 Relação entre a patologia das trincas e bombeamento de finos e a reciclagem

De acordo com o informado pelo Assistente Técnico e o que pode ser constatado no trecho em análise, existem trincas em alguns pontos do pavimento causadas pela fadiga, contração/dilatação do material de revestimento, e pela solicitação da camada, imposta pela aplicação das cargas sobre elas, o que é aceitável e esperado durante os anos de utilização do pavimento, sendo que nestes pontos não foi executada a reciclagem de base. Porém nos pontos onde a reciclagem foi executada, percebe-se um percentual maior de trincas ao longo do pavimento. O próprio recorte realizado pela abertura feita para se realizar a reciclagem da base gera uma fissura longitudinal no pavimento, como pode ser visto na figura 21. Verificou-se também que de certas em certas distâncias, aproximadamente de 8 em 8 metros, nos trechos da reciclagem, forma-se uma trinca transversal (também visto na figura 21) e próximo a ela a formação de vários blocos de pavimento desprendidos.

Durante o escoamento da água de chuva sobre o pavimento, tem-se a infiltração pelas trincas atingindo as camadas inferiores do pavimento como o subleito, camada formada normalmente por material fino. Com a pressão exercida sobre o revestimento pelos veículos e transferida para as camadas subjacentes a esta pressionando a água sobre o material fino, faz com que estes se desprendam da camada e são carreados para a superfície do pavimento ocasionando o bombeamento de finos.

Figura 21 - Trincas e bombeamento de finos.



Fonte: (O autor, 2015).

6.1.1 Reciclagem profunda de pavimento com adição de cimento

A reciclagem profunda do pavimento com adição de cimento tem por finalidade a obtenção de uma camada de pavimento reciclada, aproveitando os materiais existentes, adição de cimento Portland, água e de agregados adicionais (quando necessário a correção granulométrica), conforme previsto no projeto de dosagem da mistura. A reciclagem da base é a reconstrução parcial desta camada com a adição de cimento junto com parte dos materiais, triturados das camadas superiores com o emprego de equipamento específicos, como podemos observar na imagem 22.

Figura 22 - Recicladora realizando a homogeneizando do cimento e dos agregados da base.



Fonte: (Concessionária Arteris, 2014).

A reciclagem foi realizada em diversos segmentos do trecho após ser realizado o ensaio com a viga Benkelman e constatar níveis de deflexão indesejados para a base do pavimento. Os níveis aceitáveis são abaixo de 60×10^{-2} mm, caso seja constatados níveis maiores que este, significa que algo está funcionando de modo ineficiente ao longo das camadas do pavimento.

Foi realizada uma fresagem (figura 23) constante de 11 cm ao longo de todo o segmento a ser reciclado. Após a fresagem, verificou deflexões acima de 100×10^{-2} mm, conforme observar-se no anexo B, havendo assim a necessidade de reciclagem de toda a base, que em alguns pontos havia sido executada com canga de minério e em outros com solo-brita (uma mistura realizada com solo e brita para execução de base). Dependendo do resultado da deflexão, a reciclagem no trecho em estudo foi feita para uma profundidade de 20 a 25 cm, extraindo apenas a base onde se tinha deflexões menores e de 30 cm extraindo parte da sub-base para deflexões maiores (atingindo valores de deflexão maiores que 130×10^{-2} mm).

Figura 23 - Remoção do Pavimento através da Fresagem.



Fonte: (Paulifresa, 2015).

A espessura do revestimento asfáltico ao longo do trecho analisado girava em torno de 12 a 13 cm (Anexo C). Então, ao se executar a fresagem de 11 cm, ficava hora 1, hora 2 cm de revestimento a serem reciclados junto com o material da base. A base apresentava espessura por volta de 20 cm a 25 cm, então, quando era realizada a reciclagem de 30 cm, atingia parte da sub-base.

O primeiro requisito para se obter uma base de solo cimento com características adequadas quanto ao comportamento sob a ação do tráfego é a utilização de um teor conveniente de cimento *portland* misturado com o solo pulverizado. Outro requisito é que a mistura seja feita com o teor ótimo de umidade, produzindo uma mistura que, antes da hidratação do cimento, possa ser devidamente compactada, atingindo a massa específica máxima exigida. A granulometria final do material reciclado deve ser densa e bem graduada se enquadrando em uma das faixas da tabela estabelecida pelo DNIT (Anexo D), de forma que os vazios sejam mínimos, impedindo que a água que infiltrar no pavimento atinja a sub-base ou o subleito.

A porcentagem de cimento acrescentada na reciclagem do trecho em estudo dependia do material existente na base e sua densidade. Se o material fosse considerado de boa qualidade como o de solo-brita, a porcentagem de cimento era menor, se fosse um material de qualidade inferior como a canga de minério a porcentagem era um pouco maior. Para a canga de minério acrescentava cerca de 7% de cimento, valor estabelecido em projeto.

O volume de cimento era acrescentado por metro quadrado de área reciclada, como por exemplo: se o material existente na base fosse canga de minério, com densidade em torno de 2800 kg/m^3 e adição de 7% de cimento, se obtém 196 kg/m^3 de cimento na região reciclada. Se a reciclagem for feita com uma espessura de 0,3 m, chega-se a uma quantidade de $58,8 \text{ kg/m}^2$ de cimento na área reciclada.

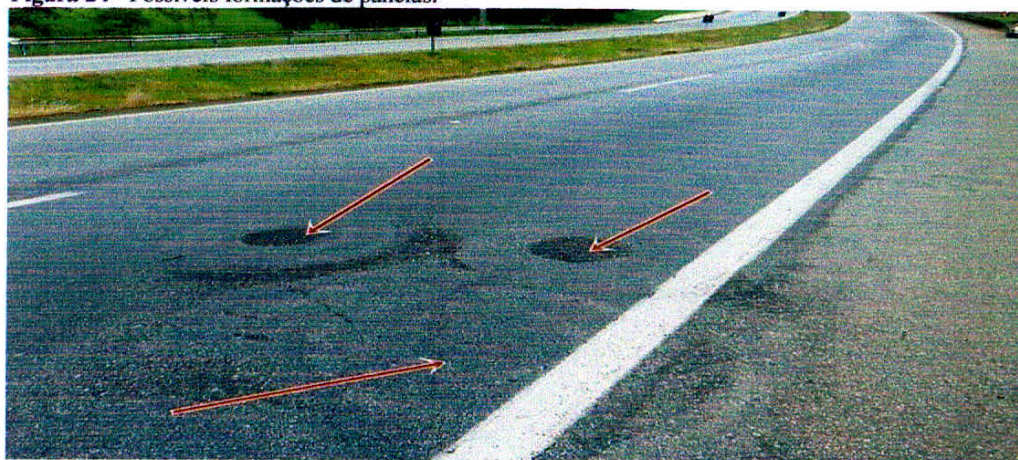
6.1.2 Fissuração durante a cura de concretos

A retração hidráulica nos concretos e também nas misturas cimentadas consiste em variações volumétricas na massa que ocasionam o surgimento de fissuras em sua estrutura. Entre vários mecanismos de retração, é dado um destaque especial à retração hidráulica e à retração térmica que alguns materiais de pavimentação podem apresentar.

Se não se toma um cuidado com a cura da superfície da camada reciclada com a adição de cimento cobrindo-a com material betuminoso, ou não se executa juntas de dilatação transversais para alívio da pressão provocada pela dilatação, certamente a camada irá fissurar durante o processo de cura ou durante a solicitação do pavimento exposto a variação da temperatura, e mais cedo ou mais tarde, as fissuras serão transmitidas por propagação para o revestimento asfáltico.

Pelas fissuras ocasionadas pelo processo de variação volumétrica da base cimentada, ou pelas fissuras realizadas para a abertura da camada a ser reciclada, há a percolação da água que escoar sobre o pavimento durante as chuvas. Essa água atinge as camadas inferiores do pavimento constituídas de materiais finos, que com a presença da água associado às tensões impostas ao pavimento pela movimentação dos veículos que circulam pela via, expulsam esses materiais diluídos na água para a superfície, formando vazios sob o pavimento e resultando no bombeamento de finos na superfície. Com esse transporte dos materiais finos para a superfície, forma-se um vazio abaixo das camadas semirrígidas do pavimento que ao receber sobre ele cargas elevadas, o mesmo se quebra formando blocos isolados ou associados (couro de jacaré), que futuramente poderão formar painelas (buracos) no pavimento como podemos observar na imagem 24.

Figura 24 - Possíveis formações de painelas.



Fonte: (O autor, 2015).

6.1.3 Execução x Normas e especificações

Como já verificado em campo, após a reciclagem da base com adição de cimento há o surgimento de trincas no pavimento, tanto pelo processo da abertura da caixa para a realização da reciclagem, trincas longitudinais, quanto pelo processo de retração volumétrica e térmica da base após a adição de cimento, trincas transversais.

Em observação a norma do DNIT 197/2013 – ES (Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “*in situ*” com adição de cimento Portland – Especificação de Serviço), existem alguns procedimentos que devem ser seguidos para um bom resultado do serviço. A concessionária Arteris desenvolveu uma especificação particular que também recomenda procedimentos a serem seguidos.

De acordo com o fornecido pela empresa de concessão, o único controle tecnológico (Anexo F) realizado foi o de corpos de prova para verificar a resistência a compressão e a resistência a tração por compressão diametral aos 7 e aos 28 dias, caso o ensaio correspondente aos 7 dias apresente a resistência mínima a compressão simples de 2,1 MPa, o trecho é liberado para aplicação do CBUQ, caso contrário se adiciona mais uma porcentagem de cimento para se atingir a resistência necessária.

Pelo que se pode verificar também no controle tecnológico (Anexo F) de base reciclada, o cimento utilizado na reciclagem foi o CP IV – ARI (cimento de alta resistência inicial). O cimento especificado CP IV – ARI, provavelmente deve ter sido digitado erroneamente suas iniciais, pois não se encontra no mercado CP IV – ARI e sim CP V – ARI. Verificando as especificações da norma do DNIT 197/2013 – ES os cimentos que, também, podem ser utilizados são Cimentos Portland Compostos do tipo II (CP II E, CP II F e CP II Z), não mencionando o CP IV – ARI.

Porém de acordo com as especificações da Arteris, os cimentos que podem ser utilizados são Cimento Portland comum, Cimento Portland de alto forno, Cimento Portland pozolânico e o Cimento Portland de alta resistência inicial, este último o utilizado no trecho correspondente ao relatório do controle tecnológico.

Mas para fins de análise, o cimento de alta resistência inicial é utilizado na produção de pré-moldados de concretos, em obras especiais onde se necessita de uma desforma mais rápida apresentando elevadas resistências nos primeiros dias.

No entanto o cimento de alta resistência inicial apresenta alto calor de hidratação em relação aos demais (Anexo E) sendo considerado pela norma NBR 13116/94 – cimento de baixo calor de hidratação, em um tempo de 72 horas calor de hidratação menor que 260 J/g e

168 horas 300 J/g, o que confere a estrutura uma grande probabilidade de retração se durante o processo de cura não forem tomados os devidos cuidados com a temperatura e a umidade do meio.

Na reciclagem da base com a adição de cimento, não é possível se ter um alto controle da perda de umidade devido a exposição à radiação solar. Por isso quanto mais rápido for feita a pintura de ligação, menor será a evaporação de água da camada reciclada.

A pintura de ligação de acordo com a revisão da norma DNER – ES 307/97 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. Para a cura da base reciclada, ambas as normas sugerem que se utilize o RR-2C, formando uma película protetora que deve ser aplicada em quantidade suficiente para constituir uma membrana contínua.

As especificações da concessionária relatam que o início da reciclagem e o fim da compactação não deverá exceder 3 horas, para que o material solto não fique muito tempo exposto e a perda da umidade em excesso afete o processo de cura da reciclagem.

De acordo com as especificações da concessionária após a passagem da recicladora, a camada deve estar em condições de ser compactada em uma única camada, sem conformação suplementar, de acordo com as condições geométricas especificadas em projeto.

A largura de cada pano não deverá permitir que juntas longitudinais fiquem situadas abaixo de trilhas de rodas o que se verifica em alguns locais da rodovia, isso propicia que a água que é direcionada para o ponto mais baixo da pista que são os trilhos de rodas, permaneçam em cima das trincas o que possibilita com que a água percole pelas mesmas atingindo a base.

Na especificação da concessionária não relata uma granulometria a ser seguida, e na execução do serviço não foi controlado esse quesito. O não acompanhamento da granulometria pode conferir uma base com uma curva granulométrica com fortes discontinuidades, podendo ocorrer um alto número de vazios na estrutura, o que propiciaria a percolação da água até a base e um maior desprendimento de material ao receber esforços.

Com relação ao teor de cimento em certos momentos, não foi utilizado o equipamento para a distribuição do mesmo, se utilizou sacos de cimento de 50 Kg (figura 25) sem o controle adequado da quantidade a ser lançada na camada, isso pode ter provocado uma distribuição em excesso, fora do estipulado em projeto, o que também aumentaria o calor de hidratação e uma solicitação maior de água para a hidratação da mistura, sendo que talvez

essa quantidade de água não tenha sido considerada, estes problemas também podem ter contribuído para o aumento de trincas.

Excepcionalmente a distribuição do cimento poderá ser através de sacos desde que a área a ser coberta pelo conteúdo de um saco de cimento seja previamente demarcada. O que não se verifica na imagem abaixo.

Figura 25 - Distribuição do cimento através de sacos



Fonte: (DIMAS TADEU, 2014).

7 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES PARA REDUÇÃO DAS TRINCAS

A reciclagem da base com adição de cimento é uma intervenção realizada quando o pavimento como um todo já não apresenta capacidade de suporte suficiente para o tráfego, e está se deteriorando rapidamente com o recebimento das cargas aplicadas sobre o mesmo.

Esta solução adotada em alguns trechos da BR – 381 teve o objetivo de recuperar a capacidade de carga do pavimento alcançado, porém ao passar algum tempo da execução do serviço os trechos recuperados vêm sofrendo com o aparecimento de trincas.

Em observação a norma do DNIT 197/2013 e analisando o caso, chega-se à conclusão que algumas medidas e intervenções podem ser tomadas durante a execução do serviço para a prevenção do surgimento de trincas, e caso apareça as trincas após a execução da reciclagem para recuperar a área danificada.

7.1 Durante a execução do serviço

Durante a execução do serviço, é exposto em norma alguns requisitos a serem seguidos que podem reduzir o aparecimento de trincas, assim como algumas outras medidas que podem ser executadas que também reduziriam esta patologia.

Como já exposto anteriormente, a norma do DNIT 197/2013 – ES rege o serviço da reciclagem profunda de pavimento com adição de cimento e estabelece alguns requisitos a serem cumpridos, e alguns desses requisitos se não acompanhado com perícia pode ser causa do surgimento das trincas.

A norma específica que não é permitida a execução do serviço em temperatura superior a 35° C. A não observância deste quesito pode proporcionar a rápida evaporação da água da mistura, resultando em uma cura inadequada da base reciclada, isso poderá favorecer o aparecimento de trincas até mesmo antes de aplicar a camada de pintura de ligação, que tem a finalidade de proteger a camada contra a perda de umidade antes da aplicação do CBUQ.

Com relação aos tipos de cimentos especificado na norma, já foi dito no capítulo anterior deste trabalho os tipos de cimento que, também, podem ser utilizados, a diferença da especificação da empresa que cita a utilização do CP IV – ARI e o que pode ocorrer com a utilização deste tipo de cimento, que pode também favorecer o aparecimento das trincas se não for tomado os devidos cuidados.

De acordo com a norma DNIT 197/2013 – ES a mistura reciclada deve enquadrar em uma granulometria densa e bem graduada dependendo da faixa de trabalho (I ou II), de acordo com o anexo D da norma.

Em observação a norma, o cimento deve ser espalhado uniformemente nas direções longitudinal e transversal. O equipamento que irá realizar o espalhamento do cimento (figura 26) deve ser dotado de controle eletrônico, para permitir a máxima precisão da taxa de aplicação, independente da velocidade de avanço. Também deve possuir um sistema de espalhamento controlado por um computador de bordo capaz de ser ajustado a qualquer momento e sempre que necessário.

Figura 26 - Distribuição do cimento com equipamento adequado



Fonte: (ARTERIS,2013).

Após a distribuição do cimento, a recicladora inicia seu trabalho adicionando água e homogeneizando os materiais. Imediatamente após a passagem da recicladora deve ser realizada a pré-compactação (Figura 27), para confinar a mistura reciclada e evitar perdas de umidade à medida que a recicladora avança.

Figura 27 - Compactação logo após a reciclagem

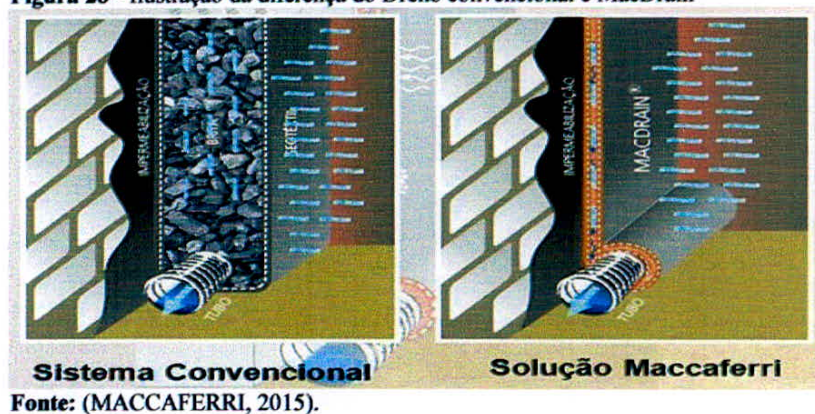


Fonte: (ARTERIS, 2013).

Como visto anteriormente, a mistura da base com adição de cimento apresenta variação volumétrica devido ao processo de cura da base reciclada. Uma solução que poderia ser adotada para a amenização do surgimento de trincas durante este processo, e também funcionaria como sistema de drenagem seria a execução do MacDrain®.

O MacDrain® (Trincheira Drenante) é uma revolução do sistema de drenagem para obras viárias, campos desportivos, estacionamentos, etc. Este dreno (figura 28) sintético é capaz de captar, conduzir e escoar o excesso de água provenientes de chuvas, sistema de irrigação, etc. com máxima eficiência e rapidez, apresentando uma série de vantagens técnicas, construtivas, econômicas em relação aos sistemas convencionais.

Figura 28 - Ilustração da diferença do Dreno convencional e MacDrain



Sua instalação é extremamente simples e prática pois já traz incorporada uma bolsa com guia para acondicionamento do tubo dreno (adquirido a parte). É necessário somente a abertura da vala (figura 29), posicionamento do dreno e o reaterro para a construção do sistema drenante. Devido a sua pequena espessura, necessita pouca escavação e praticamente elimina a necessidade de bota-fora, proporcionando baixo impacto ambiental e rapidez de execução.

Figura 29 - Execução do Macdrain e MacPipe



Fonte: (MACCAFERRI, 2014).

O MacPipe® é um tubo perfurado, flexível produzido em PEAD (polietileno de alta densidade) destinado a captação e condução de águas drenadas do solo. Com diâmetros externos de 110 e 160 mm.

Como é necessário a abertura de uma valeta na transversal para a execução do treno e nesta introduzida a membrana do MacDrain TD, esta intervenção funcionara como uma junta de dilatação, podendo ser realizada de 8 em 8 m ao longo do trecho que foi executada a reciclagem de base, distância esta que normalmente acontece uma aglomeração de trincas.

Além desta finalidade o sistema MacDrain juntamente com o MacPipe, terá a função principal de drenar parte da água (figura 30) que infiltrar no pavimento, não permitindo que esta chegue em grande proporção a base e/ou subleito ocasionando um carreamento de material dos mesmos. Está água ou será direcionada diretamente para os pontos baixos ao lado das pistas, bocas de lobo, escadas de dissipação, ou primeiramente para os drenos longitudinais, para posteriormente serem direcionados para estas áreas.

Figura 30 - Saída de água do tubo dreno MacPipe.



Fonte: (Arteris, 2011).

Após a cura da base reciclada, da pavimentação com o CBUQ e após alguns dias de liberação do tráfego, seria interessante a aplicação de uma camada de microrrevestimento sobre o pavimento, o que selaria eventuais fissuras que tenham se formado após a utilização, aumentaria a vida útil e a impermeabilidade do revestimento.

7.1.1 Composição de preço sistema MacDrain® e MacPipe®

Os preços a seguir (tabela 1) são reais, feitos por pesquisa de mercado consultando empresas conceituadas e que já prestam serviços para a concessionária. Como o estudo feito é em pontos diferentes ao longo do trecho 1, será considerado para fins de análise 1 km de extensão de área a ser recuperada.

Quadro 1 - Quadro da composição de custo do sistema MacDrain e MacPipe.

QUADRO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO DO SISTEMA MACDRAIN E MACPIPE					
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1	MacDrain TD	600	m ²	R\$ 24,00	R\$ 14.400,00
2	MacPipe	1000	m	R\$ 13,37	R\$ 13.370,00
3	Valetadeira	62,5	h	R\$ 47,08	R\$ 2.942,50
4	Microrrevestimento	3600	m ²	R\$ 14,00	R\$ 50.400,00
VALOR TOTAL					R\$ 81.112,50

Considerando uma extensão de 1 km de pista, drenos de 8 em 8 m e uma extensão de corte dos drenos de 8 m.

Fonte: (O autor).

7.2 Após o surgimento das trincas

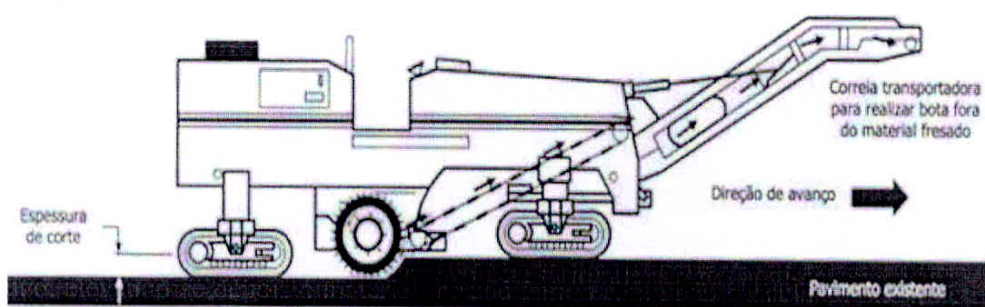
Após a execução da reciclagem da base com adição de cimento em trechos do lote 1 da Fernão Dias, houve o aparecimento de trincas, aparentemente o problema teve início durante a execução do serviço, no entanto é necessário que se faça algumas intervenções para que o problema não progrida colocando em risco a vida dos usuários da rodovia.

A dano ocorrido no pavimento pode ter diferentes dimensões, podendo ter afetado mais superficialmente a estrutura com trincas menos espessas ou poderá ter afetado uma área maior e profundidades maiores do pavimento. De acordo com o grau de danificações deve ser realizado a intervenção.

7.2.1 Fresagem associada a uma recomposição

A fresagem consiste no corte de uma ou mais camadas de um pavimento asfáltico por intermédio de processo mecânico a frio (figura 31). Efetuam-se cortes por movimento rotativo contínuo, elevando-se depois o material fresado para o caminhão basculante que irá efetuar o transporte do material fresado para o local de destino. É fundamental que a fresagem de 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 31 - Esquema de uma fresadora



Fonte: (TECNOPAV, 2015).

A finalidade da fresagem é a remoção de pavimentos antes da execução de novo revestimento dos mesmos. Áreas com defeitos que afetam o bom serviço do pavimento são alvo desta técnica. Também se utilizada a fresagem para a remoção de pavimentos betuminosos em pontes e outras obras de artes, assim como para melhorar o coeficiente de atrito em zonas de pistas onde ocorram muitas derrapagens.

A fresa tem um tambor (figura 32) rotativo para moagem, permitindo remover uma ampla faixa de pavimento a uma profundidade pré-determinada.

Figura 32 - Disposição dos bits e tambor rotativo para moagem.



Fonte: (BLOG ASFALTO DE QUALIDADE, 2012).

Durante a fresagem deve-se manter os dentes da fresa sempre molhados a fim de resfriá-los e controlar a suspensão de poeira. Para realizar a limpeza do local, utiliza-se vassouras mecânicas (figura 33) com caixa para receber o material.

Figura 33 - Vassoura mecânica (Bobcat).



Fonte: (UNIFRESA, 2015).

A fresagem do pavimento é realizada para que seja aplicada uma nova camada de CBUQ, microrrevestimento ou outro revestimento asfáltico, que dependerá da necessidade do pavimento. Então, dependendo da necessidade de intervenção no pavimento se determina o tipo de fresagem que se executará.

A fresagem é subdivida em três tipos: fresagem profunda, fresagem fina e microfresagem. A diferença basicamente é a distância entre os dentes de corte e a profundidade de trabalho alcançada.

A fresagem profunda apresenta distância entre os dentes de 15 mm e pode alcançar uma profundidade de 30 cm. Já a fresagem fina tem esse distanciamento reduzido para 8 mm, é sugerida em pequenas correções de trilhos de roda e nivelamentos longitudinais. A microfresagem, a distância entre os dentes é de apenas 6 mm e a profundidade máxima reduzida para 5 cm.

Para a patologia em estudos, a fresagem e o revestimento a ser escolhido dependerá do progresso das trincas e do estado do pavimento, quanto mais degradado maior a profundidade de intervenção.

Caso o problema não seja solucionado apenas com um novo revestimento, terão que ser adotadas outras intervenções nas camadas inferiores do pavimento juntamente com o serviço da fresagem.

7.2.2 Microrrevestimento asfáltico a frio

O Microrrevestimento (figura 34), moderna tecnologia da pavimentação asfáltica, desenvolvida e consagrada em países da Europa e dos Estados Unidos, a partir dos anos de 90, tecnologia está oriunda das lamas asfálticas selantes, para a proteção, impermeabilização e rejuvenescimento superficial e estético dos pavimentos asfálticos em início de desgaste pela ação do tráfego e envelhecimento (oxidação do betume) pelo intemperismo climático, provocando fissuras e perdas de materiais da camada asfáltica existente.

Figura 34 - Microrrevestimento aplicado



O microrrevestimento é um revestimento betuminoso modificado por polímeros, de espessuras delgadas, constituído de elementos minerais (agregados) de dimensões reduzidas, de elevada superfície específica, necessitando de relativo teor de ligante asfáltico (aglutinante) para o envolvimento de todas as partículas minerais, resultando um composto de alta resistência ao desgaste por abrasão, de baixa permeabilidade e antiderrapante.

O microrrevestimento poderá ser aplicado, como dito anteriormente, após a execução da reciclagem da base após a aplicação do CBUQ e sua cura, quando se iniciar a primeiras fissuras no pavimento reciclado. Assim o micro funcionará como camada selante e impermeabilizante, não permitindo que as águas das chuvas percole pelas fissuras e atinjam a base, danificando toda a estrutura do pavimento formando possíveis buracos na rodovia.

A tecnologia do microrrevestimento poderá ser utilizada também após as trincas já terem se formado, porém com pequenas espessuras, após a microfresagem neste caso, para que se remova a área mais danificada, em seguida se aplica o micro, com espessura de cerca de 12 mm (2 camadas de 6 mm cada).

O material deve ser espalhado com maquinário apropriado (figura 35), com controle de espessura, quantidade de agregado e emulsão a ser lançada. A calibração deve ser de acordo com especificado pelo projeto e é baseada na quantidade de emulsão. Após a aplicação da mistura, aguarda-se um tempo, que dependerá da temperatura ambiente do dia, e se inicia a compactação com rolo de pneus sobre a aplicação e assim que o material estiver seco já se pode liberar o tráfego.

Figura 35 - Aplicação do microrrevestimento



Fonte: (O autor, 2015).

7.2.2.1 Composição de custo de recomposição com microrrevestimento

Conforme citado acima é necessária uma microfresagem para remoção das fissuras antes da aplicação do microrrevestimento. Para a fresagem e aplicação do microrrevestimento serão gastos de acordo com a tabela 2:

Quadro 2 - Quadro da composição de custo do microrrevestimento.

QUADRO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO DO MICROREVESTIMENTO					
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1	Microfresagem	3600	m ²	R\$ 4,79	R\$ 17.244,00
2	Microrrevestimento	3600	m ²	R\$ 14,00	R\$ 50.400,00
VALOR TOTAL					R\$ 67.644,00

Considerando uma extensão de 1 km, largura de 3,6 e espessura de 1 cm de microfresagem e 12 mm de microrrevestimento. **Fonte:** (O autor).

7.2.3 Recomposição com CBUQ

Caso o microrrevestimento não seja suficiente para resolver o problema, e as trincas sejam de espessura maiores, será necessária uma fresagem mais profunda, e a recomposição com CBUQ.

O CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) é o revestimento asfáltico mais utilizado em vias urbanas e rodovias de todo o Brasil. O pavimento é constituído de diversas camadas, e o CBUQ (figura 36) é uma dessas camadas responsáveis por receber as cargas e transmiti-las para as demais camadas do pavimento, também tem a função de proteger o pavimento do intemperismo.

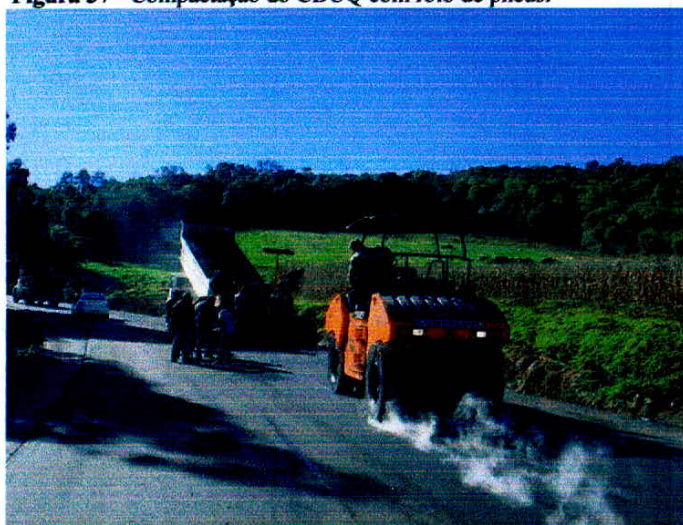
Figura 36 - Aplicação do CBUQ com vibroacabadora



Fonte: (O autor, 2012).

O material é fabricado em uma usina de asfalto e transportado para o local de sua utilização por caminhões basculantes. Sua utilização é imediata não aceitando estocagem do material. É normalmente composto por agregado miúdo (pó de pedra), agregado graúdo (brita) e um ligante (CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo). Após a distribuição da vibroacabadora (figura 36) a massa asfáltica é compactada por rolos de pneus (figura 37) e chapas até sua conformação ao longo do pavimento.

Figura 37 - Compactação do CBUQ com rolo de pneus.



Fonte: (CONCRESQL, 2015).

7.2.3.1 Composição de custo da recomposição com CBUQ

Para a Recomposição com CBUQ, será feita a fresagem para a remoção das trincas, em seguida a pintura de ligação, que permitirá a adesão da camada mais antiga com a que será aplicada e em seguida a aplicação do CBUQ, que resultará em um gasto conforme a tabela 3:

Quadro 3 - Quadro da composição de custo da recomposição com CBUQ.

QUADRO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO DA RECOMPOSIÇÃO COM CBUQ					
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1	Fresagem	360	m ³	R\$ 98,99	R\$ 35.636,40
3	Pintura de ligação	3600	m ²	R\$ 4,15	R\$ 14.940,00
4	CBUQ	360	m ³	R\$ 777,00	R\$ 279.720,00
VALOR TOTAL					R\$ 330.296,40

Considerando 1 km de extensão de pista, 3,6 m de largura, fresagem e recomposição de 10 cm.

Fonte: (O autor).

7.2.4 Reparo profundo localizado

Caso o problema das trincas já tenham evoluído a um nível maior, e não se possa resolver com as alternativas anteriores, caso o problema tenha afetado a qualidade do subleito, será necessário um reparo profundo (figura 38).

De acordo com o DAER-ES-CON 013.1/13 (Departamento Autônomo de Estrada de Rodagem), o serviço remendo profundo para reconstituição do subleito dos pavimentos betuminosos destina-se a reparar defeitos em pontos isolados e em áreas reduzidas do pavimento, ou seja, extensões com largura de aproximadamente 1,0 m ou áreas de aproximadamente 35 m² que atinjam a camada de subleito ou reforço de subleito.

Consiste na remoção do material deficiente do subleito, sua substituição por outro em perfeito estado e posterior reconstituição da sub-base, da base e de camadas betuminosas, em locais que apresentem defeitos ou falhas decorrentes da falta de suporte, por instabilidade ou da ocorrência de água no subleito.

Na execução do serviço serão utilizados os seguintes materiais:

- Rachão
- Brita Graduada (Sub-base + Base)
- Pintura de Ligação (RR-1C ou RR-2C)
- Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ

Figura 38 - Reparo profundo localizado.



Fonte: (CONSTRUTORA TRÊS LAGOAS, 2008).

7.2.4.1 Composição de custo do reparo profundo

O serviço de reparo profundo é uma intervenção de recuperação das primeiras camadas do pavimento, exige uma maior mobilização de materiais, com isso o valor com relação aos reparos anteriores é maior como podemos observar na tabela 4:

Quadro 4 - Quadro da composição de custo do reparo profundo localizado.

QUADRO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO DO REPARO PROFUNDO LOCALIZADO					
ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	UNIDADE	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
1	Rachão	1440	m ³	R\$ 73,88	R\$ 106.387,20
2	Brita Graduada	720	m ³	R\$ 67,98	R\$ 48.945,60
3	Pintura de Ligação	3600	m ²	R\$ 4,15	R\$ 14.940,00
4	CBUQ	432	m ³	R\$ 777,00	R\$ 335.664,00
VALOR TOTAL					R\$ 505.936,80

Considerando uma extensão de 1 km de pista, largura de 3,6 m, espessura de rachão de 40 cm, brita graduada de 20 cm e CBUQ de 12 cm. **Fonte:** (O autor)

8 CONCLUSÕES

Pode-se perceber ao longo deste estudo que, a reciclagem de base com adição de cimento é uma ferramenta muito útil para a recuperação de pavimentos que já não correspondem bem a solicitação das cargas dos veículos que lhes são impostas, além de ser uma tecnologia que reaproveita o material presente no próprio pavimento para composição de uma nova estrutura, contribuindo assim também com meio ambiente. Porém é uma tecnologia que merece cuidados assim como todas as intervenções feitas na engenharia.

Após a realização da reciclagem de base com adição de cimento, a rodovia Fernão Dias passou a sofrer com o aparecimento de trincas em seu pavimento, o que comprometeu a utilização e a vida útil do mesmo, como também gerou o processo de bombeamento de finos (figura 39). Esse problema como verificado, foi originado durante a execução do serviço, que provavelmente não teve uma execução criteriosa com o acompanhamento das especificações e utilização de materiais como vimos no caso do cimento.

Figura 39 – Bombeamento de finos através das trincas



Fonte: (O autor, 2015)

Conclui-se que, deve se ter muito cuidado na execução do serviço associado ao acompanhamento da norma que o rege, para que com isso, todas as etapas sejam realizadas e todas as matérias usados de maneira correta.

Atentar-se para a quantidade de cimento a ser lançada, assim como escolher um tipo de cimento que não apresente grande quantidade de calor de hidratação para que se evite a

formação de trincas pelo processo de retração da base caso não se tome o devido cuidado durante o processo de cura da mistura, tempo de exposição da camada reciclada para que a água presente na mistura não evapore bruscamente.

Como dissertado anteriormente, existem alternativas que podem ser executadas também juntamente a reciclagem de base que poderá reduzir o aparecimento de trincas e outros danos ao pavimento. A aplicação do microrrevestimento, que tem processo de execução simples, aplicando uma fina massa asfáltica sobre o pavimento, selaria pequenas fissuras que por ventura tenham se formado durante o processo de cura do revestimento, o que evitaria a infiltração de água para as camadas inferiores do pavimento além de aumentar a vida útil do mesmo. A utilização do MacDrain e MacPipe que também é de simples execução, drenaria e direcionaria as águas que infiltrassem nas laterais e canteiros centrais da pista.

Optando por utilizar essas alternativas, seriam uma prevenção de futuros problemas que poderiam ocorrer após a reciclagem, e observando o custo para implanta-las podemos perceber que, o seu uso é mais vantajoso do que ter que recuperar o pavimento após o aparecimento das trincas, o que pode chegar a custos muito altos dependendo do avanço da patologia que afeta o pavimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Cimento Portland de baixo calor de hidratação**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/colaborativo-portal/perguntas-frequentes.php?id=24>. Acesso em: 22 set. 2015.

ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre. **Rodoviário**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4740.html>, Acesso em: 01 março 2015

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica materiais**. 1ª reimpressão, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Nariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: Abeda, 2006.

BITTENCOURT, E.R. **Caminhos e estradas na geografia dos transportes**. Rio de Janeiro: Editora Rodovia, 1958.

BLOG ASFALTO DE QUALIDADE. **Fresadoras de asfalto**, 2012.

CNT (Confederação Nacional do Transporte). **Boletim Econômico**. [online], 2015. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=14>. Acesso em 09 abr. 2015

CONCRESUL. **Pavimentação asfáltica/terraplenagem**. Disponível em: <<http://www.concresul.com.br/ConcresulSite/website/carregarProduto/12>>. Acesso em: 22 set. 2015

CONSTRUTORA TRÊS LAGOAS. Site. Disponível em: <<http://engenheiroelson.wix.com/3lc#!testimonials>>. Acesso em: 22 set. 2015.

DAER (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem). **Remendo Profundo para Reconstituição do Subleito**. Disponível em: http://www.daer.rs.gov.br/site/forca_download.php?arquivo=arquivos/normas/arquivo23_26.pdf. Acesso em: 30 set. 2015

DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes). **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes. 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/Manual_de_Pavimentacao.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes). **DNIT 005-TER: defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia**. Rio de Janeiro, 2003a.

DNIT (Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes). **DNIT revisão da norma DNER – ES 307/97**. Rio de Janeiro, 2009.

DOMINGUES, F. A. A. MID. **Manual para Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos**. 1. ed. São Paulo, 1993.

ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO (Site na área de engenharia e construção civil).

Fresagem de Pavimentos. Disponível em:

<http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/10/fresagem-de-pavimentos.html>. Acesso em: 25 set. 2015

FONSECA, P. **Caracterização física e mecânica em laboratório de resíduos de fresagem de pavimentação asfáltica para utilização em base e sub-base de pavimento.** 2010, 75f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Positivo, Curitiba, 2010.

GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes). **SISAET - Sistema de Informações do Anuário Estatístico do Transporte.** [online], 2000. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br/NovaWeb/IndexAnuario.htm>. Acesso em: 10 março 2015.

LAFARGE (Empresa do grupo Holcim). – **Cimento Lafarge Plus CPV-ARI.** Disponível em: http://www.lafarge.com.br/wps/portal/br/2_3_B_4Detail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/lib_br/Site_br/AllProductDataSheet/ProductDatashet_1400785566266/Product. Acesso em 22 set. 2015.

MACCAFERRI – **MacDrain geocomposto drenate – Rodovias.** Disponível em: http://www.macdrain.com.br/?page_id=56. Acesso em 25 set. 2015

MOURA, Edson de. **Apostila de Projeto de Pavimento.** São Paulo: FATEC, 2011. Disponível em: http://www.professoredmoura.com.br/download/Dimensionamento_de_Pavimentos.pdf. Acesso em: 10 de abril de 2015

NAPA (National Asphalt Pavement Association) – **History of Asphalt.** Disponível em: https://www.asphaltpavement.org/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=41. Acesso em: 10 abr. 15.

NOVA 381. **História.** [online]. Disponível em: <http://www.nova381.org.br/site/historia.php>. Acesso em 09 abr. 2015.

OLIVEIRA, Alexandra Maria de, et al. **Estudo do comportamento mecânico de misturas asfálticas contendo material fresado a partir da dosagem Marshall.** In: VII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Disponível em: <http://pesquisa.ufcg.edu.br/anais/2010/ece/resumos/engenharia%20e%20ciencias%20exatas/ENGENHARIA%20CIVIL/Alexandra%20Maria%20de%20Oliveira%20-%20CTR.N.pdf>. Acesso em 13 maio 2015.

PIANEGONDA, Natália. **Excesso de cargas representa riscos para condutores e reduz vida útil do asfalto.** Agência CNT de Notícias, [online], abr. 2014. Disponível em: http://www.cnt.org.br/Paginas/Agencia_Noticia.aspx?n=9501. Acesso em: 10 de abril de 2015.

PINTO, Salomão; ERNESTO, Preussler. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis.** 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia :IBP, 2010.

SAMPAIO, Dimas Tadeu Barbosa. **Problemas recorrentes com a estrutura do pavimento entre os quilômetros 844,00 e 844,500 da rodovia Fernão Dias – Causas e Soluções.** Trabalho de Conclusão de Curso - Varginha, 2014.

TECNOPAV. Site. Disponível em: <<http://revisa-sa.com.br/wp-content/uploads/2010/11/fresagem.jpg>>. Acesso em: 22 set. 2015.

UNIFRESA. Site. Disponível em: <<http://unifresa.com.br/category/equipamentos>>. Acesso em: 22 set. 2015.

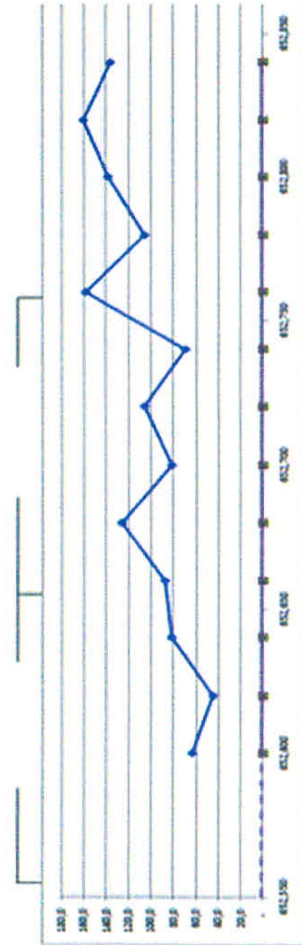
ANEXO A – Termo de Registro de Ocorrência (TRO)

 ANTT AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES		Termo de Registro de Ocorrência - TRO	
CONCESSIONÁRIA: Autopista FERNÃO DIAS		UR/POSTO: MG - Pouso Alegre	TRO Nº: 48471
OCORRÊNCIA: Depressão no pavimento		LOCALIZAÇÃO: BR 381/MG Km 646,65 pista norte	
DISPOSITIVO REGULAMENTAR: Resolução ANTT 4071/2013 Art. 6º Inc. III			
OBSERVAÇÕES:			
Superintendência de Exploração de Infraestrutura Rodoviária (SUIRF)	EMISSÃO	RECIBO	
	ASSINATURA: 	ASSINATURA: 	
	NOME: Daniel Henrique Dias de Dibo	NOME: João Batista de Andrade	
MATRÍCULA: 1675836	DATA E HORA DE REGISTRO: 05/03/15 12:20	MATRÍCULA: Seol	DATA E HORA DO RECEBIMENTO: 05/03/15 13:25
PRAZO PARA CORREÇÃO: 72h (setenta e duas horas)		DATA E HORA DA VERIFICAÇÃO:	

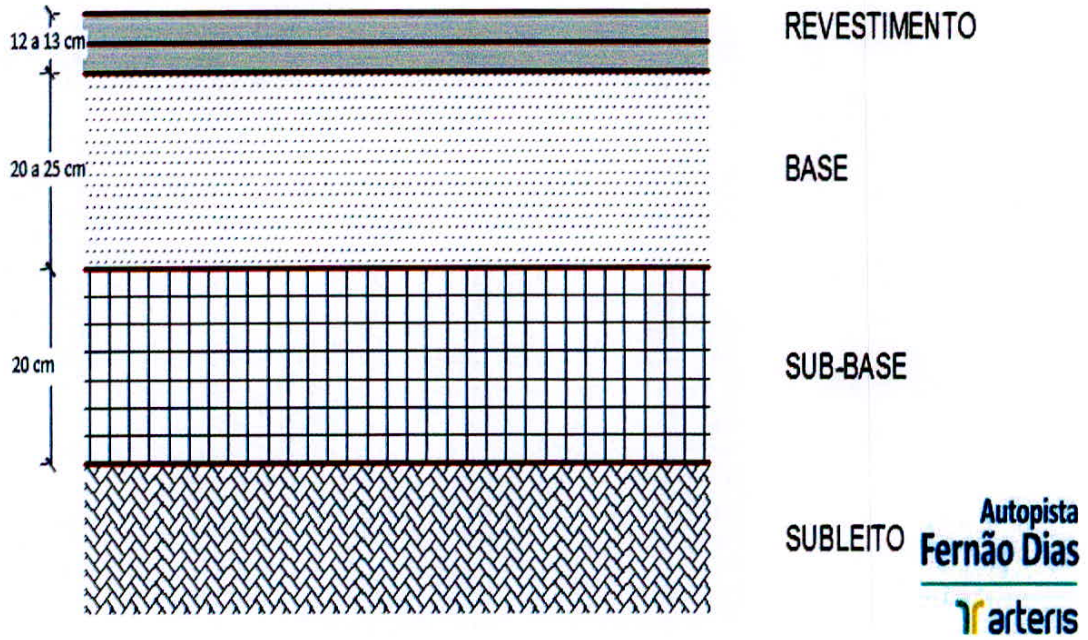
ANEXO B – Resultado da Viga Benkelman do trecho em estudo

Concessionária		AUTOPISTA FERNAO DIAS	
Obra:		FRESAGEM	
Construt.:		BROWN BROWN	
Segmento:		KM 652+600 A 652+840	
Pista:		SUL	
Const. Da Viga (K):		2,030	

KM	DEF. MÁX.		DATA:		DEF. MÁX.		DATA:	
	BASE APÓS FRESAGEM		BORDO		LEITURA		DEFLEXÃO (mm)	
	IN	EX	IN	EX	IN	EX	IN	EX
652,600	X				31		62,9	
652,620	X				22		44,7	
652,640	X				40		81,2	
652,660	X				43		87,3	
652,680	X				62		125,9	
652,700	X				40		81,2	
652,720	X				52		105,6	
652,740	X				34		69,0	
652,760	X				78		156,3	
652,780	X				52		105,6	
652,800	X				68		138,0	
652,820	X				79		160,4	
652,840	X				67		136,0	



ANEXO C – Seção transversal demonstrativa do pavimento existente




ANEXO D – Tabela da composição granulométrica (DNIT 167/2013-ES)

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em massa (%)		Tolerância da faixa de projeto (%)
ABNT	Abertura (mm)	I	II	
2"	50,8	100	100	
1"	25,4	75 – 90	100	± 7
3/8"	9,50	40 – 75	50 – 85	± 7
Nº 4	4,75	30 – 60	35 – 65	± 5
Nº 10	2,0	20 – 45	25 – 50	± 5
Nº 40	0,425	15 – 30	15 - 30	± 2
Nº 200	0,075	5 - 15	5 - 15	± 2

ANEXO E – TABELA DO CALOR DE HIDRATAÇÃO

Tipo de Cimento	TABELA 1 – Calor de Hidratação (J/g)				
	24h	41h	72h	120h	168h
CP II-F-32	260	276	278	281	283
CP II-F-40	320	328	329	331	334
CP II-Z-32	240	262	273	282	288
CP II-E-32	242	276	286	292	297
CP III-32	156	207	232	245	252
CP III-40	216	266	282	291	297
CP IV-32	209	230	236	241	244
CP V-ARI	334	355	361	363	361

ANEXO F – Controle Tecnológico de Base Reciclada

Autopista Fernão Dias 												CONTROLE TECNOLÓGICO DE BASE RECICLADA						
ANTERESSADO: AUTOPISTA FERNÃO DIAS				CONSTRUTORA:				ESTUDO DE RECICLAGEM				RELATÓRIO Nº: ISP PD 1133/2013						
CAMADA APLICADA: SIMULAÇÃO DE RECICLAGEM COM 5% DE CIMENTO				RECÓVOCA: BR 341				OBRA: VERIFICAÇÃO DE RECICLAGEM				LADO:						
EMPREITEIRA: BROWN BROWN												CIMENTO MARCA: MAJÁ						
CORPO DE PROVA Nº	N/I	Data		MARCA:	fck espec ¹ (MPa)	Sigma espec. (mm)	TIPO:	Sigma Obsid ² (mm)	Idade (Dias)	Dim. do CP (mm)	Área do CP (cm ²)	Carga (Ton)	Fator de Carga	Resist. Comp. (MPa)	FCR ESTIMADO ACS 28 DIAS	N/D	Pega Concretada	
		Assura	Requis															
1133	1231	30/06/13	06/11/13	7	7	.			7	150	300	176,715	4,65	1,00	4,89	7,89	2,00	
1133	1233	30/06/13	27/11/13	7	7	.			28	150	300	176,715	9,04	1,00	5,12	5,12	2,00	
Resistência a tração por compressão diametral - ARTERIS ES-002 REV.5																		
1133	1232	30/06/13	27/11/13	1	1	.			28	150	300	8030	940,00	.	0,80	0,80	2,00	
1133	1234	30/06/13	27/11/13	1	1	.			28	150	300	8030	620,00	.	0,88	0,88	2,00	
ROMPIMENTO POR COMPRESSÃO AXIAL E DIAMETRAL.																		
SIMULAÇÃO DE RECICLAGEM COM 5% DE CIMENTO																		
CÂMADA APLICADA: SIMULAÇÃO DE RECICLAGEM COM 5% DE CIMENTO																		