



**VERIFICAÇÃO DE ORIGENS DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM PAVIMENTO ASFÁLTICO
ESTUDO DE CASO**

CURITIBA

2014



VINÍCIUS ANDRÉ MAKIAK

**VERIFICAÇÃO DE ORIGENS DE MANIFESTAÇÕES
PATOLÓGICAS EM PAVIMENTO ASFÁLTICO
ESTUDO DE CASO**

Projeto de pesquisa desenvolvido para
apresentação de Trabalho de Conclusão do
Curso de Pós Graduação em Patologia nas Obras
Civis para obtenção do grau de especialista.

Prof. Orientador: M. Sc. Kirke Moreira.

CURITIBA

2014

AGRADECIMENTOS

A Prefeitura Municipal de Porto União, sobretudo a Secretaria de Planejamento pela liberação do arquivo e autorização para realização deste estudo de caso em uma obra do município.

A toda a equipe da Secretária de Planejamento, sobretudo ao Secretário de Planejamento: Engenheiro Civil Claudio Tilgner de Souza, pela ajuda neste trabalho bem como liberações de dias de serviço para estar cursando a especialização em Patologia de Obras Civis.

A empresa executora do serviço e a executora dos ensaios pelas informações prestadas e pelos envio dos resultados dos mesmos.

A minha noiva Kamile Cristine Fryder, pela ajuda com as fotos e com as correções finais do trabalho.

Aos professores e engenheiros: M. Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira pela orientação durante o trabalho e por dar rumos a ele, bem como ao professor M. Sc. Luís César Siqueira De Luca, pelas considerações sobre o trabalho e pelos conhecimentos repassados em suas aulas.

Aos demais professores do curso que repassaram os mais diversos conhecimentos.

FOLHA DE APROVAÇÃO

VERIFICAÇÃO DE ORIGENS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTA ASFÁLTICO ESTUDO DE CASO

Por
VINÍCIUS ANDRÉ MAKIAK

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) 12 de Dezembro de 2014.

M. Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira.

M. Sc. Luis César Siqueira De Luca.

Esp. Marcelo Araújo Brandão.

RESUMO

O presente estudo de caso trata especificamente sobre origens de manifestações patológicas em pavimentos asfáltico, tendo por objetivo verificá-las quanto as suas origens. O estudo de caso foi realizado na Avenida dos Ferroviários, município de Porto União, estado de Santa Catarina. Como metodologia para tal estudo o mapeamento das manifestações patológicas, verificação dos ensaios realizados, dos projetos e dos arquivos de execução da obra. Compilando todos os dados apresentam-se duas causas distintas as manifestações patológicas mapeadas: erro no processo executivo e erro de projeto. Apresentam-se ainda considerações a respeito do cálculo da deflexão do projeto da Avenida dos Ferroviários e da relação com o tráfego calculado do projeto.

Palavras chave: pavimento, asfalto, manifestação patológica, execução, projeto, Viga Benkelman, exsudação, panelas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Faixas granulométricas de mistura asfáltica	20
Tabela 02 – Quadro resumo das patologias encontradas	40
Tabela 03 – Viga Benkelman Calculo	42
Tabela 04 – Viga Benkelman Correção para temperatura	44
Tabela 05- Faixas granulométricas de mistura asfáltica	45
Tabela 06- Faixas granulométricas de mistura	45
Tabela 07 – Comparação da deflexão admissível	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Correção de efeito de temperatura de Viga Benkelman	30
Equação 02 – Deflexão Admissível	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Estrutura Padrão de Pavimento Asfáltico	19
Figura 02 – Trinca Longitudinal	22
Figura 03 – Trinca Couro de Jacaré	23
Figura 04 – Trincas em bloco	23
Figura 05 – Trincas de Bordo	24
Figura 06 – Corrugação	24
Figura 07 – Exsudação	25
Figura 08 – Afundamentos	26
Figura 09 – Desgaste	27
Figura 10 – Panela	27
Figura 11 – Escorregamento	28
Figura 12 – Esquema do sistema	29
Figura 13 – Posicionamento de Viga Benkelman	29
Figura 14 – Mapa da Região	31
Figura 15 – Imagem de satélite ampliada	32
Figura 16 – Mapa da Região ampliado	32
Figura 17 – Trafego pesado na região	33
Figura 18– Desgaste da capa por falta de manutenção	34
Figura 19 – Fresagem sendo realizada	34
Figura 20 – Aplicação de nova capa	35
Figura 21 – Avenida Ferroviários	36
Figura 22 – Trevo entre a Avenida Ferroviários e a Av João Pessoa	36
Figura 23– Duas primeiras painéis do trecho	37
Figura 24 – Panela em formação	37
Figura 25 – Panela já consolidada, com trincas de expansão.	38
Figura 26– Série de trincas isoladas	38
Figura 27– Trincas em série	39
Figura 28 – Painéis próximos em trecho de 20 metros.	39
Figura 29 – Painéis próximos em trecho de 20 metros.	40
Figura 30 – Viga Benkelman	41
Figura 31– Ensaio sendo realizado	41
Figura 32 – Quadro de Temperatura Janeiro de 2014.	43

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
FOLHA DE APROVAÇÃO	4
RESUMO	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE EQUAÇÕES	6
LISTA DE FIGURAS	7
SUMÁRIO	8
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. PROBLEMA	10
1.2. OBJETIVOS	11
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	11
1.3. HIPÓTESE	11
1.4. JUSTIFICATIVAS	11
1.4.1. <i>Tecnológicas</i>	11
1.4.2. <i>Econômicas</i>	11
1.4.3. <i>Sociais</i>	12
1.4.4. <i>Ecológicas</i>	12
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	12
1.6. APRESENTAÇÃO DESTE TRABALHO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. PAVIMENTO	14
2.1.1. <i>Definição</i>	14
2.1.2. <i>Histórico</i>	14
2.1.3. <i>Classificação</i>	15
2.2. PAVIMENTO ASFÁLTICO	16
2.2.1. <i>Características</i>	17
2.2.1.1. <i>Subleito</i>	17
2.2.1.2. <i>Sub-base</i>	18
2.2.1.3. <i>Base</i>	18
2.2.1.4. <i>Revestimento</i>	18
2.2.2. <i>Principais tipos de pavimento asfáltico</i>	19
2.2.3. <i>Principais manifestações encontradas</i>	21
2.2.3.1. <i>Fendas</i>	21

2.2.3.2.	Corrugações	24
2.2.3.3.	Ondulações.....	24
2.2.3.4.	Exsudação.....	25
2.2.3.5.	Afundamentos.....	25
2.2.3.6.	Defeitos de asfalto	26
2.2.4.	<i>Ensaio</i>	28
2.2.4.1.	Viga Benkelman.....	28
3.	ESTUDO DE CASO	31
3.1.	LOCAL E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS.....	31
3.2.	ENSAIOS REALIZADOS	40
3.2.1.	<i>Viga Benkelman</i>	41
3.2.2.	<i>Retirada de Corpos de Prova</i>	44
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
5.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
5.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
7.	ANEXOS	54
7.1.	PLANILHA DOS RESULTADOS DA VIGA BENKELMAN	54
7.2.	PLANILHA DOS RESULTADOS DA EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA	57

1. INTRODUÇÃO

O modal rodoviário é o principal meio de transporte de cargas e pessoas no Brasil, e, o pavimento mais utilizado é o concreto betuminoso usinado a quente, também conhecido como asfalto, principalmente pelo fato do mesmo ser flexível se adequando desta forma a diversas superfícies sem necessitar de uma regularidade com os pavimentos rígidos necessitam.

O grande problema para este tipo de pavimento vem na base do mesmo, que, deve ter uma compactação o suficiente para resistir aos esforços oriundos das cargas nele aplicadas, sendo assim, a base é parte fundamental da estruturação do pavimento. Consideramos ainda que esse pavimento exige uma drenagem que esteja de acordo e que a mesma seja mantida a sua manutenção, visto que, ele impermeabiliza a superfície levando a sobrecarga das galerias.

Todos esses fatores acabam acarretando uma série de problemas ao pavimento asfáltico levando a diversos transtornos e a cada manutenção que o pavimento sofre, se ela for feita de maneira equivocada o pavimento ficará cada vez mais suscetível a danos, e, caso não ocorra à manutenção da capa, a mesma ficará cada vez mais fraca, gerando cada vez mais manifestações patológicas.

Na Avenida dos Ferroviários foi executado um recape sob o pavimento existente, com remoção da capa onde a mesma apresentava manifestações patológicas mais severas. Porém, pouco tempo após a aplicação deste recape, apareceram novas manifestações patológicas na pista; questionada a empresa, a mesma executou testes e.

Neste trabalho verificar-se-á as origens dessas manifestações patológicas a partir dos ensaios realizados; dos registros da execução; projetos da obra e comparando os dados compilados com a bibliografia sobre o assunto.

1.1. PROBLEMA

Na Avenida dos ferroviários em Porto União – Santa Catarina, qual a origem das manifestações patológicas no pavimento?

1.2. OBJETIVOS

Apresenta-se abaixo o objetivo deste trabalho.

1.2.1. Objetivo Geral

Verificar as origens das manifestações patológicas ocorridas em trechos do pavimento asfáltico da Avenida dos Ferroviários em Porto União – Santa Catarina.

1.3. HIPÓTESE

Considerando que, após a correção provisória feita pela empresa a manifestação patológica não voltou a aparecer, descartamos o problema com a base e damos como mais provável um erro executivo.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Apresentamos abaixo descritas as justificativas nas áreas teológica, econômica, social e Ecológica da realização deste estudo de caso.

1.4.1. Tecnológicas

Pela via ser de grande uso para o transporte de carga deve-se definir de qual forma o reparo ficará mais bem executado, para que a manifestação patológica não volte a ocorrer.

1.4.2. Econômicas

Damos como grande relevância econômica tal assunto, visto que, a empresa contratada, foi paga para executar tal serviço e, desta forma, seu serviço

deve estar atendendo ao público, devemos desta forma apresentar a solução para o local já que é uma via de ligação dentro de nosso município

1.4.3. Sociais

Como o empreendimento envolve dinheiro público, que, poderia estar sendo usado em outras áreas, bem como manifestações patológicas em uma pista de rolamento pode gerar acidentes, atrasos em entregas de mercadorias e desconforto aos usuários, tudo isso faz com que a sociedade esteja diretamente envolvida com o assunto.

1.4.4. Ecológicas

O Concreto Asfáltico Usinado a Quente é um material que vêm do petróleo que é retirado da natureza causando diversos problemas ambientais, assim, reduzir o seu uso fazendo um reparo adequado será ecologicamente correto. Outro fator é que o material que se solta nas manifestações patológicas, bem como o material que é retirado nas manutenções, deve ser descartado, e, em geral tal descarte ocorre na natureza.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho será feita uma inspeção no pavimento da Avenida dos Ferroviários, no bairro Santa Rosa, município de Porto União estado de Santa Catarina, com objetivo de verificar as origens das manifestações patológicas presentes no pavimento, visto que, após ser aplicada uma nova capa surgiram manifestações patológicas pontuais na pista.

Esse estudo será feito com pesquisa e vistoria em campo e será correlacionado com registros executivos do arquivo da Prefeitura Municipal de Porto União com relação a esta obra, para verificar possíveis registros do processo executivo.

A primeira etapa será o levantamento em campo com o auxílio de máquina fotográfica digital, trena e prancheta. Nessa etapa serão identificadas as manifestações patológicas presentes.

Posteriormente verificar-se-á o registro de atividade da prefeitura municipal comparando com as normas e boas praticas para execução do serviço com esse registro e através de ensaios, serão levantadas as origens das manifestações patológicas.

Espera-se neste caso determinar o(s) agente(s) causador(es) das manifestações patológicas, que está entre o erro executivo ou de material, ou ainda de ambos.

1.6. APRESENTAÇÃO DESTE TRABALHO

O presente trabalho divide-se em cinco capítulos além dos anexos:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre definição de pavimento, os principais tipos, apresentação do pavimento asfáltico, seus principais tipos, as manifestações patológicas mais comuns e transcorre por fim sobre o ensaio da Viga Benkelman.

O **Capítulo 3** apresenta o estudo de caso, onde, colocam-se os dados sobre o local, são apresentadas as manifestações patológicas encontradas e os ensaios já realizados no local.

O **Capítulo 4** apresenta a verificação das origens das manifestações patológicas encontradas com base na revisão bibliográfica apresentada e na análise dos resultados dos ensaios.

O **Capítulo 5** apresenta a as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo transcorreremos sobre o pavimento asfáltico, suas principais características e as principais manifestações patológicas encontradas nesse tipo de pavimento.

2.1. PAVIMENTO

Neste capítulo abordaremos temas relativos a pavimento, sendo, definição, histórico e classificação.

2.1.1. Definição

Pavimento é uma superestrutura constituída de diversas camadas de espessuras finitas, sobre uma infraestrutura considerada infinita: o subleito, sendo que este deverá ser estudado até onde as cargas nele atuarem. (DNIT, 2006)

Da mesma forma podemos ainda considerar o pavimento uma estrutura construída sobre uma terraplanagem e destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los, melhorar as condições de rolamento a fim de dar conforto e segurança, bem como resistir ao desgaste por esforço horizontal tornando a superfície de rolamento mais durável. Trata-se ainda de um sistema com múltiplas camadas onde a sua fundação é conhecida como subleito. (SENÇO, 2008)

Devemos ainda considerar que estamos lidando com a camada que se destina a receber as ações climáticas, dessa forma, a mesma deve ser impermeável e as cargas que ela resistirão terão grande variabilidade, pois, dependem da carga e velocidade do veículo que está transitando sobre ela. (BERNUCCI, *et al*, 2010)

2.1.2. Histórico

A história da pavimentação percorre pela história da humanidade, quanto mais evolui os meios de transporte e o comércio, os pavimentos o seguem. Inicialmente os veículos utilizavam rodas de madeira que necessitavam de uma boa regularidade para circular, porém, as cargas eram pequenas. (Andrade, 2011)

A mais antiga estrada pavimentada é considerada a do Egito, que, foi utilizada para os transporte de cargas elevadas, para a construção das pirâmides entre 2400 a 2600 A.C., (Andrade, 2011)

A partir da antiguidade começaram a surgir na Grécia e no Império Romano as rodas de aço que já necessitava de estruturas mais resistentes, sendo que nessa época o sistema romano viário já existia e necessário à transformação desse sistema, sendo que nessa época gerou grande desenvolvimento dos pavimentos, e, pavimentos construídos nesse sistema ainda são existentes como em Lyon na França, por exemplo. (Ferreira, 2008)

Na pós-renascença as preocupações começam a ser na questão da drenagem e na manutenção dessas estradas, já que, começou-se a usar materiais mais leves e com estabilidade granulométrica. (Andrade, 2011)

No Brasil, os primeiros registros de pavimentação vêm da estrada Caminho do mar em 1560, ligação entre São Vicente e Piratininga, sendo que o primeiro calçamento asfáltico vem a aparecer no Brasil apenas em 1906 no Rio de Janeiro. Atualmente o Brasil está recuperando as suas principais estradas pavimentadas, que, remontam dos anos 60 e 70 durante a ditadura militar, que, já se encontram muito danificados, sendo que o custo de recuperação para esses pavimentos é entre 3 a 5 vezes o custo de fazer um pavimento novo. (ANDRADE, 2011).

2.1.3. Classificação

De forma geral, usasse a TB-7 (terminologia brasileira) da associação brasileira de normas técnicas- ABNT, onde a mesma classifica os pavimentos em rígidos e flexíveis (SENÇO, 2006).

A fim de ampliar os estudos podemos colocar ainda uma classificação intermediária, os semirrígidos, que, tem características dos dois outros tipos em sua composição (DNIT, 2006)

- Pavimento Rígido: Pouco deformáveis, constituídos, sobretudo por concreto de cimento Portland e rompem por tração na flexão (SENÇO, 2008); Sendo a camada superior mais rígida do que as inferiores esse tipo de pavimento absorve na primeira camada a grande maioria dos esforços (DNIT, 2006), nesse tipo de pavimento a carga distribui suas tensões de maneira semelhante em toda a placa. (MOURA, 2011);

- Pavimento Flexível: nesse pavimento a carga impõe um campo de tensões muito concentrado na aplicação da mesma (MOURA, 2011). Dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas do veículo (SENÇO, 2008), esses pavimentos sofrem deformação elástica significativa, dessa forma a carga se distribui de maneira equivalente entre as camadas. (DNIT, 2006)

- Pavimento Semirrígido: Caracteriza-se por uma base mais rígida (solo cimento, por exemplo), revestido por uma camada de asfalto (pavimento flexível) (DNIT, 2006). Esse tipo de pavimento tem um deformabilidade maior que o rígido, porém, menor que o flexível (MOURA, 2011).

A ABNT não traz em sua norma a classificação de pavimento semirrígido, porém, é válido o uso do termo, visto que temos a liberdade de executar camadas rígidas e flexíveis em um mesmo pavimento, nada impedindo a execução de uma base de solo cimento que é rígida revestida com uma capa de concreto asfáltico que é flexível, sendo essas estruturas tipicamente mistas. (SENÇO, 2008).

2.2. PAVIMENTO ASFÁLTICO

Neste capítulo abordaremos temas relativos a pavimento asfáltico, sendo, característica, principais tipos de manifestações patológicas e ensaios.

2.2.1. Características

Pavimento asfáltico faz parte dos pavimentos flexíveis, sendo ele multicamada (SENÇO, 2008). Nesse sistema multicamada são utilizados materiais com granulometrias diversas a fim de dar o melhor travamento possível, fazendo com que a transmissão de cargas até o subleito ocorra de forma correta. (DNIT, 2006)

Segundo Greco(2010), esse tipo de pavimento geralmente por três camadas: sub-base, base e revestimento, entretanto Senço (2008) considera o subleito como uma das camadas do pavimento, mais exatamente como a sua fundação e coloca ainda a possibilidade da existência de uma camada de reforço de subleito como uma camada suplementar. Ainda nesse sentido Bernucci, et al (2010) apresenta que o pavimento asfáltico é uma estrutura em geral composta por três camadas assentadas sobre um subleito que vem a ser a sua fundação.

2.2.1.1. Subleito

A primeira camada do pavimento asfáltico é o subleito sendo a fundação do pavimento, quando se trata de aterro recente, a granulometria e a compactação já devem ser controladas durante a execução este aterro, porém, ao pavimentar uma estrada existente teremos que fazer a regularização do subleito, a fim de retirar as imperfeições existentes e trazer a regularidade necessária para o suporte da base. (SENÇO, 2008)

Caso seja necessário, o sistema pode ser reforçado, com o chamado reforço de subleito, que, trata-se de uma camada constante com resistência superior a da regularização e inferior a sub-base, é uma camada suplementar do subleito, usado muitas vezes quando se encontram solos moles no subleito.

(ANDRADE, 2011). Esse reforço é uma camada que pode ser considerada como complementar da sub-base ou suplementar do subleito (SENÇO, 2008)

2.2.1.2. Sub-base

Imediatamente após o subleito ou seu reforço vem à sub-base, camada em geral composta por rachão, tendo por objetivo evitar o bombeamento de solo diretamente para a base, que, pode contaminar as camadas causando manifestações patológicas nesses pontos (BERNUCCI,*et al*, 2010)

A Sub-base pode ser tanto granular quanto coesiva, onde, a primeira é a mais utilizada, principalmente pelo baixo custo em relação à segunda, porém a segunda resiste melhor à compressão. (SENÇO, 2008) É uma camada considerada suplementar a base, tendo a mesma função, e ainda utilizada para a montagem de redes de drenagem e para evitar bombeamento de solo para a base (GRECO, 2010)

2.2.1.3. Base

A base é a camada que recebe o esforço do tráfego e o distribui ao subleito, sendo que a sub-base pode ou não vir junto a ela, mas, de maneira geral considera-se que o pavimento é composto de base e revestimento. (DNIT, 2006)

Segundo Senço (2008): trata-se de uma estrutura granular com capacidade de distribuir os esforços, geralmente é granular e caso haver sub-base, é de uma granulometria menor, mas, com maior resistência.

Já para Greco (2010) é a camada mais importante do pavimento por ter a função de distribuir os esforços, sendo que muitas vezes além de materiais granulares são nela usados compostos químicos para ajudar na estabilização.

2.2.1.4. Revestimento

O revestimento é uma capa que deve ser impermeável, no caso em estudo, composta de material asfáltico, tem a serventia de receber os esforços

diretos do tráfego e transmiti-los a base, e ao mesmo tempo, proteger a base. (MOURA, 2011)

Dessa forma, pode-se dizer que no caso dos revestimentos asfálticos, o mesmo deve ser recuperado em períodos determinados, visto que, está muito sujeito ao tráfego e as intempéries, que vem a causar desgaste, e, quando isto ocorre à base acaba por ficar ela sujeita as ações de tráfego e das intempéries, podendo levar a diversas manifestações patológicas na capa e no restante do sistema por consequência. (SENÇO, 2008)

É constituído de uma junção entre agregados minerais, em torno de 90%, e o material betuminoso (asfalto) que é o ligante em torno de 10%, sendo que o primeiro tem a função de resistência ao desgaste enquanto o segundo serve como ligante entre os agregados. (GRECO, 2010)

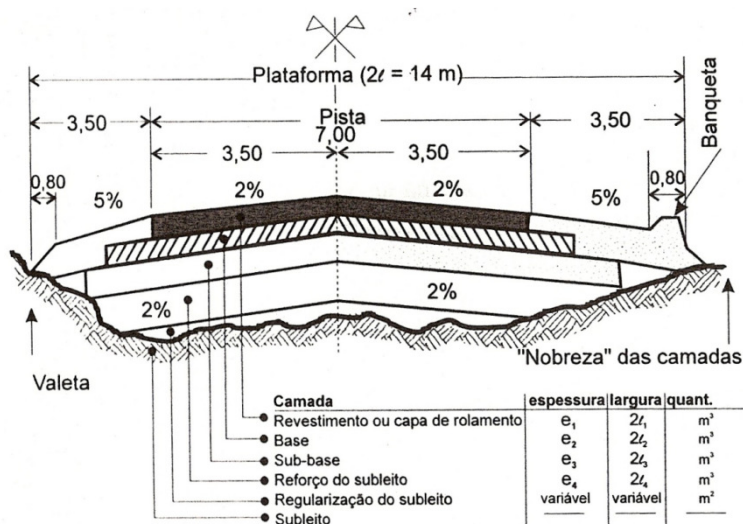


Figura 01 – Estrutura Padrão de Pavimento Asfáltico (SENÇO,2008)

2.2.2. Principais tipos de pavimento asfáltico

Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ): Segundo Grego (2010): trata-se de uma mistura usinada à quente composta por agregado mineral, material de enchimento (filer) e ligante betuminoso, sendo, espalhada e compactada a quente. O DER-PR em sua norma ES-P 21-05 (2005) elucida que o CBUQ é uma mistura asfáltica feita em usina específica e pode, dependendo da sua formulação, ser chamada de capa asfáltica, que é usada como revestimento,

binder que é usado como camada intermediária entre o revestimento e a base para impermeabilizar o substrato ou ainda como reperfilagem que é uma camada mais fina usada para corrigir imperfeições para a execução de recapeamentos. (DER-PR, 2006). Esse material não pode ser aplicado em dias de chuva, ou com temperatura ambiente inferior a 10 °C. (DNER-ES, 1997), segundo o DEINFRA-SC (1992) o Concreto Asfáltico pode-se dividir em cinco (cinco) faixas granulométricas diferentes sendo elas referenciadas de A à F e essa divisão provém das faixas granulométricas em que a mistura atravessa em diferentes peneiras conforme Tabela 01, conforme informações dessa tabela podemos ver que a faixa recomendável para servir de capa asfáltica são as de “C” a “E”.

PENEIRA		PORCENTAGEM PASSANDO, EM PESO					
ASTM	mm	A	B	C	D	E	F
2"	50,8	100	—	—	—	—	—
1 ½"	38,1	95 – 100	100	—	—	—	—
1"	25,4	75 – 100	95 - 100	—	—	—	—
¾"	19,1	60 – 90	80 - 100	100	100	100	—
½"	12,7	—	60 - 90	85 - 100	90 - 100	80 - 100	—
3/8"	9,5	35 – 65	45 - 80	75 - 100	76 - 93	70 - 90	100
Nº 4	4,8	25 – 50	28 - 60	50 – 85	44 – 74	50 – 70	75 - 100
Nº 10	2,0	20 – 40	20 - 45	30 – 75	25 – 55	33 – 48	50 - 90
Nº 40	0,42	10 – 30	10 - 32	15 – 40	9 – 27	15 – 25	20 - 50
Nº 80	0,18	5 – 20	8 - 20	8 – 30	4 – 17	8 – 17	7 - 28
Nº 200	0,074	1 – 8	3 - 8	5 - 10	2- 10	4 - 10	3 - 10
CAMADAS		LIGAÇÃO	LIGAÇÃO OU ROLAMENTO	ROLAMENTO			REPERFILAGEM

Tabela 01- Faixas granulométricas de mistura asfáltica (DEINFRA)

- **Pré-Misturado à Quente:** É uma mistura usinada a quente composta de agregado graúdo e cimento asfáltico onde o volume de vazios é maior que 12% (DER-PR, 2006). Segundo Grego (2010) é considerado pré-misturado a quente quando ligante e agregado são misturados na pista ainda quentes. (GREGO, 2010)
- **Pré-Misturado à Frio:** Tem a mesma composição do concreto betuminoso usinado à quente, mas, todas os estágios são feitos à frio. (GRECO, 2010).

Sendo que o DNER-ES traz como definição em sua norma 317-97 o seguinte texto: “mistura executada a temperatura ambiente em usina apropriada composta de agregado mineral graúdo, material de enchimento e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida a frio”. Não é permitida a utilização de PMF em dias de chuva (DER-ES, 1997)

- Areia Asfalto à Quente: mistura usinada a quente composta de agregado mineral miúdo, material de enchimento e emulsão asfáltica, sendo ele espalhado e compactado à quente (GREGO, 2010). Sendo que o DER-ES aplica essa mesma nomenclatura em sua norma 312-97. Não é permitida a aplicação, transporte e usinagem em dias com temperatura inferior a 10°C e em dias de chuva. (DER-ES, 1997)

2.2.3. Principais manifestações encontradas

As manifestações patológicas do revestimento asfáltico são, segunda Silva (2008): Deformações de superfície, defeitos de superfície, panela, escorregamentos do revestimento, trincas e fissuras. Nesse mesmo sentido verificando a DNIT 005/2003 – TER, temos as seguintes manifestações listadas: Fendas, que se subdividem em fissuras e trincas; Afundamento; Ondulação ou corrugação; Escorregamendo; Exsudação; Desgaste; Panela ou Buraco e; Remedo.

2.2.3.1. Fendas

Fenda é segundo o DNIT (2003) qualquer descontinuidade do pavimento que conduza a abertura de maior ou menor porte, da mesma forma BERNUCCI (2010) coloca as fendas como aberturas na superfície asfáltica e que as mesmas podem ser classificadas em fissuras ou trincas. Segundo SILVA (2008) as trincas podem ser causadas por fadiga ou não, sendo a fadiga relacionada com a repetição da passagem de carga de veículo comercial.

Fissuras: é uma fenda perceptível a olho nu a uma distância inferior a 1,5 metros (BERNUCCI, *et al*, 2010), são fendas incipientes que ainda não causaram problemas funcionais ao pavimento. (DNIT, 2006)

Trincas: é uma fenda que pode ser percebida facilmente a olho nu e tem abertura superior ao da fissura (BERNUCCI, *et al*, 2010), pode ainda se subdividir em isoladas ou interligadas (DNIT, 2006). As trincas isoladas são as trincas transversais e longitudinais e podem ainda ser interligadas, e, o couro de jacaré, vindo a ser uma evolução das primeiras.

As trincas longitudinais são trincas paralelas ao eixo do pavimento, causadas por má execução de juntas de construção, reflexão de trincas, assentamento da fundação, retração do revestimento de asfalto ou estágio inicial de fadiga. Enquanto as transversais são paralelas ao mesmo e causadas pela reflexão de juntas ou trincas subjacentes ou ainda a retração da própria camada asfáltica, são classificadas como curta quando não chegam a 1 metro e longas quando estão acima disto (SILVA, 2008)



Figura 02 – Trinca Longitudinal (BERNUCCI, *et al*, 2010)

As trincas couro de jacaré apresentam um estágio avançado de fadiga, sendo que inicialmente tem-se um serie de trincas isoladas, sendo que

posteriormente elas vêm a formar um couro de jacaré podendo chegar a formar uma panela (BERNUCCI, *et al*, 2010)



Figura 03 – Trinca Couro de Jacaré (BERNUCCI, *et al*, 2010)

Podemos ainda ter as trincas em bloco causadas por retração do revestimento e variações diárias de temperatura, esse tipo de trinca indica que o asfalto sofreu perda de flexibilidade pela oxidação ou volatilização dos maltenos (SILVA, 2008).



Figura 04 – Trincas em bloco (SILVA, 2008)

Quando o acostamento não é pavimentado a incidência de trincas de bordo situando-se no máximo a 60 cm do bordo do pavimento, devido à umidade excessiva das camadas, ou baixa espessura da camada de rolamento. (SILVA, 2008).

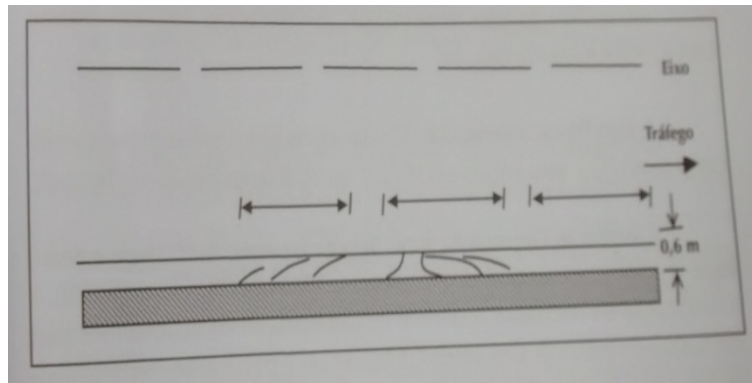


Figura 05 – Trincas de Bordo (SILVA, 2008).

2.2.3.2. Corrugações

Corrugações são deformações transversais ao eixo da pista, compostas em geral de depressões intercaladas de elevações, onde o comprimento de onda entre duas cristas é de no máximo dezenas de centímetros. (BERNUCCI, *et al*, 2010) Também conhecidas como costelas de vaca são devidos a uma base instável resultante de uma má execução. Ou ainda está ligado a excesso de asfalto ou a finos bem como uma baixa resistência do CBUQ. A corrugação está associada a tensões cisalhantes geradas pelos veículos em áreas de aceleração ou frenagem. (SILVA, 2008)



Figura 06 – Corrugação (BERNUCCI, *et al*, 2010)

2.2.3.3. Ondulações

Para Silva (2008) as ondulações são escorregamentos de massa devidos à baixa estabilidade da massa quando sujeito ao tráfego ou

intemperismo, onde a massa é expulsa para fora da trilha da roda devido a excesso de asfalto, excesso de agregado fino, graduação inadequada, agregado de textura fina e arredondado. Entretanto BERNUCCI, *et al*,(2010)considera que são deformações transversais ao eixo em geral decorrentes da consolidação diferencial do subleito diferenciado das corrugações pelo comprimento de onda ser da ordem de metro.

2.2.3.4. Exsudação

A exsudação ocorre quando o calor faz o asfalto dilatar e não havendo espaço para tanto o mesmo exsudará através do revestimento deixando o mesmo com um brilho devido ao excesso de ligante betuminoso, diminuindo também a viscosidade fazendo com que o agregado acabe penetrando dentro dele (SILVA, 2008).



Figura 07 – Exsudação (BERNUCCI, *et al*, 2010)

2.2.3.5. Afundamentos

Os afundamentos podem ser tanto plásticos quanto de consolidação , o primeiro caso é devido a deformação plástica de uma ou mais camadas do pavimento e/ou do subleito e apresenta elevação ao longo dos lados do

afundamento, quando a extensão for maior que 6 metros é considerado afundamento de trilha, caso contrario é afundamento local, já nos de consolidação ocorrem em camadas do pavimento ou subleito devido a consolidação diferencial entre os mesmos, e a classificação funciona da mesma forma que o anterior.

Os afundamentos estão relacionados às tensões cisalhantes geradas à aceleração ou frenagem, sendo comum em rampas, curvas e intersecções, nos casos onde há ainda o escorregamento da massa, citam-se os problemas devidos à má dosagem do asfalto. (SILVA, 2008)



Figura 08 – Afundamentos (BERNUCCI, *et al*, 2010)

2.2.3.6. Defeitos de asfalto

Tratando-se de defeito de asfalto apresentamos os seguintes:

Desgaste: esse tipo de situação é a associação entre o intemperismo e o tráfego, que, pode vir a se tornar um arrancamento progressivo do agregado, que pode vir a ser por problemas na própria produção da massa asfáltica (Figura 09) (DNER-TER 01-78);



Figura 09 – Desgaste (BERNUCCI, *et al*, 2010)

Panela: Esse tipo de manifestação patológica nada mais é do que uma evolução de outras manifestações como trincas, afundamentos ou desgaste, geralmente o processo de abertura é acelerado pela ação da água; (BERNUCCI, *et al*, 2010)



Figura 10 – Panela (BERNUCCI, *et al*, 2010)

Escorregamento do revestimento betuminoso: consiste em um deslocamento de revestimento formando trincas em forma de meia-lua, ocorrendo principalmente em áreas de frenagem e de interseções, sendo que, quando o veículo causar o deslizamento é por baixa aderência e quando causar a

deformação é por baixa resistência, ambos os problemas da massa.(SILVA, 2008)



Figura 11 - Escorregamento (BERNUCCI, *et al*, 2010)

2.2.4. Ensaios

2.2.4.1. Viga Benkelman

Segundo BERNUCCI, *et al*, (2010) a Viga Benkelman é um equipamento simples que necessita de um caminhão com eixo traseiro simples e de roda dupla carregado com 8,2 toneladas que tem por objetivo medir a deformação elástica do pavimento.

Nesse mesmo sentido o DNER-ME (1994) apresenta na norma 024 de 1994 que a carga deve estar simetricamente distribuída no eixo, e, que a Viga Bekelman é formada por dois braços onde um conjunto de sustentação articula uma alavanca interfixa.

Os comprimentos *a* e *b* (Figura 12) obedecem a relações de 2/1, 3/1 ou 4/1, podemos ainda dizer que essa relação é uma constante da viga, para facilitação nos cálculos. Segundo Pereira (2013) é necessário também um termômetro de mercúrio graduado e sensível a 0,5 °C e uma régua com comprimento de 1,50 metros.

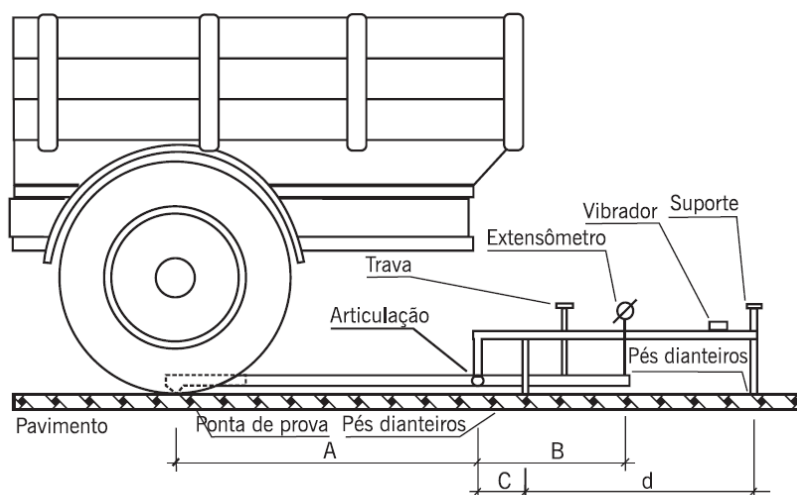


Figura 12 – Esquema do sistema (DNER 24/94)

Os ensaios consistem em colocar a ponta da viga entre uma das rodas duplas do caminhão no eixo traseiro, fazer uma leitura inicial do extensômetro que se situa sobre o braço móvel, liberar o caminhão para percorrer 10 metros de distância ou até que o extensômetro não acuse variação. (Pereira, 2013).

O DNER (1994) coloca ainda em sua norma que apenas após o correto posicionamento da viga (Figura 13) no centro das duas rodas deve ser ligado o vibrador da viga e fazer uma leitura inicial apenas quando o extensômetro indicar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min, após isso o caminhão é deslocado para frente pelo menos 10 metros e feita uma leitura final quando o extensômetro indicar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min ou passados 3 minutos do caminhão sair da posição original, terminada a leitura trava-se a parte móvel e passa ao próximo ponto de medição



Figura 13 – Posicionamento de Viga Benkelman (BERNUCCI, *et al*, 2010)

Após a leitura dos dados são feitos os cálculos de deflexão ou raio de curvatura conforme o solicitado (BERNUCCI, et al, 2010)

Sendo as fórmulas as seguintes: para o calculo de deflexão: $D0 = (L0 - Lf) a/b$ onde: D0 é a deflexão real (medida em centésimo de milímetro); L0 é a leitura inicial (medida em centésimo de milímetro); Lf é a leitura final (medida em centésimo de milímetro); a e b são as dimensões da viga conforme figura 14 (DNER, 94).

Segundo Ferreira (2008), conhecendo-se a e b pode-se substituir os termos por uma constante k, visto que a viga não tem variação de suas dimensões, ainda segundo ele pode ser necessária uma calculo de correção para eliminar os efeitos da temperatura no ensaio, uma vez que a camada asfáltica sofre interferência direta da temperatura na elasticidade. Na equação 01 temos a correção para a temperatura:

$$D_{20^{\circ}C} = \frac{Dt}{[10^{-3} * e * (t - 20^{\circ}C)] + 1}$$

Equação 01 – Correção de efeito de temperatura de Viga Benkelman (Ferreira, 2008)

Onde: Dt é a deflexão em temperatura ambiente; t é a temperatura em graus célsius no interior da camada de pavimento asfáltico; D20°C é a deflexão corrigida; e= espessura da camada asfáltica em centímetros.

3. ESTUDO DE CASO

Apresenta-se neste capítulo todos os detalhes a respeito do estudo de caso, com as principais considerações sobre o local, apresentação das manifestações patológicas encontradas e dos ensaios já realizados no local.

3.1. LOCAL E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS

O local objeto deste estudo de caso é a Avenida dos Ferroviários, no município de Porto União – SC, importante avenida desta cidade, não somente pelo fato de ligar os bairros Santa Rosa, Bela Vista e Conjuntos ao Centro. Da mesma forma é uma ligação entre as rodovias: BR-280 (Joinville, Mafra, Jaraguá dos Sul, Canoinhas), e, a SC-135 (Videira e Caçador), com as rodovias BR-153, sentido sul do país e com a BR-476, conhecida como a rodovia do xisto sentido São Mateus do Sul, Lapa, Curitiba, Palmeira e Ponta Grossa (Figura 14, 15 e 16).

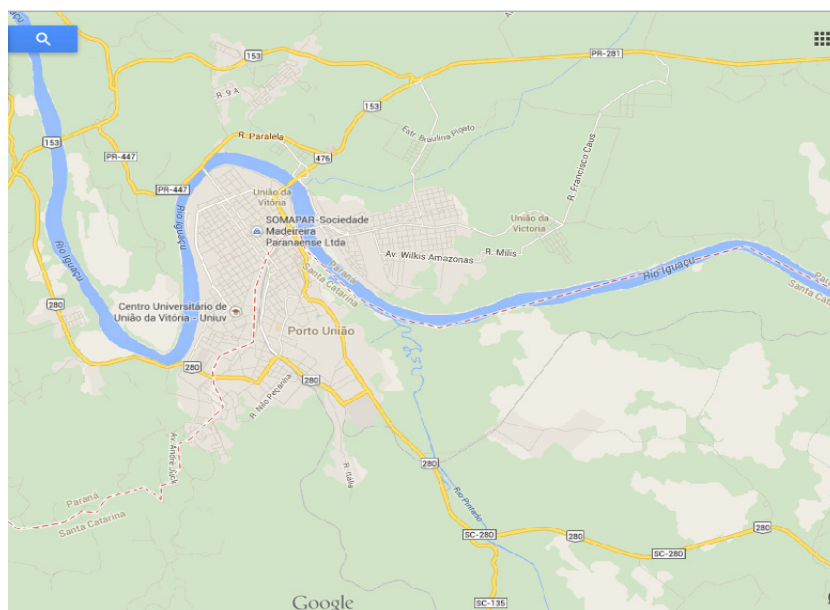


Figura 14 – Mapa da Região (Google, 2014)



Figura 17 – Trafego pesado na região (PMPU, 2012)

Considerando-se a produção madeireira local, o que leva diversos caminhões com múltiplos eixos e carregados com madeira. Bem como na continuação desta avenida vem a ser a Avenida João Pessoa que com uma pedreira e nas proximidades da BR-153 um local de extração de areia.

Esse local foi pavimentado no final dos anos 80, e, segundo relatos de pessoas que trabalhavam na prefeitura naquela época, houve uma grande dificuldade com relação à estabilidade do subleito. Assim, foram necessárias diversas escavações de solos moles, sendo que em alguns locais chegou a ser retirado um metro de profundidade de material e reposto com material mais nobre.

Com todo o trafego pesado que circula nessa região por ser ligação de rodovias, e, pelo fato da pavimentação ser antiga e os tratamentos posteriores serem apenas nos remendos e consertos de panelas e couro de jacaré já existentes devidos ao desgaste natural da capa de rolagem, a pista acabou ficando com condições ruins (Figura 18) com diversas manifestações patológicas espalhadas por toda a pista.



Figura 18– Desgaste da capa por falta de manutenção (PMPU, 2012)

Necessitou-se assim um recapeamento com fresagem prévia do local. Retirou-se a capa existente e fez-se uma nova capa com espessura de sete centímetros, sendo: três centímetros de reperfilagem e quatro centímetro de capa asfáltica.

Segundo o projetista justifica a escolha colocando que os sete centímetros totais seria suficientes para o tráfego e a necessidade de três com uma massa mais fina (reperfilagem) vem da necessidade de nivelar o pavimento existente (Figura 19 e 20), executada entre abril e dezembro de 2013.



Figura 19 – Fresagem sendo realizada (PMPU, 2013)



Figura 20 – Aplicação de nova capa (PMPU, 2013).

A partir disso esperava-se que a via atendesse as necessidades, e, que a mesma não apresentasse manifestações patológicas pelos próximos 20 anos desde que a manutenção periódica ocorresse no local, porém após quatro meses do término das obras (dezembro de 2013) começaram a surgir algumas manifestações patológicas pontuais no pavimento, tanto na Avenida dos Ferroviários quanto na Avenida João Pessoa.

Surgiu então a necessidade da realização de ensaios para verificar as condições do pavimento, sendo eles: Viga Benkelman para verificar se o problema não estava na base; extração de corpos de prova para verificar condições do revestimento.

Como parte ainda deste trabalho foi realizada uma vistoria em setembro de 2014, onde, para verificar-se a presença de manifestações patológicas na Avenida dos Ferroviários.

No início da pista de rolamento da Avenida dos ferroviários, trevo com a BR-280, e, na rotatória que liga esta com Avenida João Pessoa apresenta-se as mesmas manifestações patológicas (Figura 21 e 22), nesse ponto a trilha da roda está apresentando um brilho e, olhando mais de perto se verifica uma diferença na composição do material entre a trilha do rodado e os materiais onde as rodas não estão passando, estes dois locais são na proximidade de rotatórias, ou seja, local de frenagem e aceleração dos caminhões principalmente. Sobretudo

no ultimo caso onde existe uma lombada que induz tal movimentação, assim, essas manifestações patológicas coincidindo com exsudação por excesso de ligante, que, acaba exsudando pelo fato da tração dos caminhões nesse ponto.



Figura 21 – Avenida Ferroviários com marcas na trilha de roda (PMPU, 2014)



Figura 22 – Trevo entre a Avenida Ferroviários e a Av João Pessoa (PMPU, 2014)

No trecho com 75 metros próximo a Rua Helmuth Muller apresentam-se diversas manifestações patológicas, com o surgimento de panelas, sendo que nesse trecho são duas (Figura 23) em uma distância de 8 metros uma do outra.



Figura 23– Duas primeiras panelas do trecho.

A primeira panela (Figura 24) ainda em formação apresenta diversas trincas couro de jacaré sobre ela, indicando que irá aumentar. Conforme a biografia já apresentada essa manifestação patológica iniciou com um afundamento no local da trilha de roda, que gerou as trincas e posteriormente as panelas.



Figura 24 – Panela em formação

Já a segunda panela (Figura 25) está mais consolidada, entretanto, o couro de jacaré se estende sobre as bordas indicando uma possível expansão da mesma.



Figura 25 – Panela já consolidada, com trincas de expansão.

A uma distância de 35 metros das duas primeiras panelas, existem outras panelas e neste trecho entre as duas verificam-se três pontos onde trincas isoladas e que já começaram a se conectar dando origem a uma trinca couro de jacaré, indicando dessa forma que este problema deve seguir evoluindo em todo esse trecho com o possível aparecimento de panelas. (Figura 26,27).

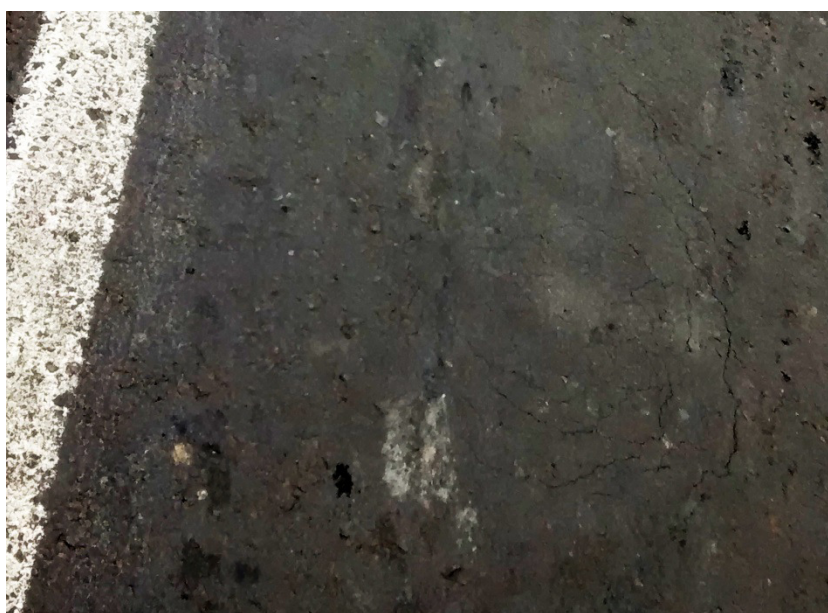


Figura 26– Série de trincas isoladas, em formação uma trinca de jacaré.



Figura 27 – Trincas em série.

No final deste trecho de 75 metros, apresentam-se ainda sete painéis (Figura 28 e 29) em um trecho de 20 metros, onde, em uma delas existe trincas na borda possibilitando a expansão. As demais se apresentam consolidadas, porém, o constante tráfego pesado do local causará o esborcinamento das bordas o que fará com que estas painéis venham a se expandir. Pode-se considerar que o espaço entre as painéis seja um ponto frágil do pavimento com uma possibilidade de aparecimento de trincas futuras vindo a interligar estas painéis.



Figura 28 – Painéis próximas em trecho de 20 metros.



Figura 29 – Painéis próximos em trecho de 20 metros.

Abaixo quadro resumo das manifestações patológicas encontradas em quantidade.

Manifestação Pat.	QUANTIDADE ENCONTRADA	PORCENTAGEM
Exsudação na trilha	02	14,29 %
Painéis	07	50 %
Trincas couro de jacaré	02	14,29%
Trincas isoladas	05	34,72%
Total	14	100

Tabela 02 – Quadro resumo das manifestações patológicas encontradas.

Verifica-se que as painéis são as mais encontradas, o que indica que estas manifestações patológicas tiveram um desenvolvimento rápido chegando ao estágio final que seria o aparecimento das painéis, e, trincas isoladas e couros de jacaré, que, tendem a uma evolução chegando a painéis também.

3.2. ENSAIOS REALIZADOS

O ensaio da Viga Benkelman tem por fim a verificação das condições da base do local, já o segundo tem o objetivo de verificar a espessura do pavimento bem como sua faixa estabelecida.

3.2.1. Viga Benkelman

No dia 31 de janeiro de 2014 executou-se um ensaio com Viga Bekelman, iniciada a extração dos dados no horário de 13:45h e finalizando os mesmos as 15:30h (Figuras 31 e 32), o ensaio foi feito em diversos pontos no trecho, e a respectiva planilha de controle tecnológico segue no Anexo “A”. A análise aqui colocada será focada nos pontos onde se apresentaram as principais manifestações patológicas.



Figura 30– Viga Benkelman. (PMPU, 2014)



Figura 31 – Ensaio sendo realizado. (PMPU, 2014)

Para preservar a precisão dos resultados foram elaboradas planilhas em programa próprio para este fim, onde, duas planilhas distintas (Tabela 3), sendo que na primeira foi feito o calculo com a fórmula deflexão conforme a própria empresa já o executou.

CALCULO VIGA BENKELMAN					
Local	INICIAL	FINAL	DIFERENÇA	DEFLEXÃO D0= LI-LF X K	Dentro do limite
nº 2151 + 80M	500	450	50	100	NÃO
nº 2151 + 120M	500	447	53	106	NÃO
nº 2151 + 180M	500	450	50	100	NÃO
Nº 639	500	464	36	72	NÃO
REMAX	500	446	54	108	NÃO
Nº 1799	500	455	45	90	NÃO
Nº 1677	500	437	63	126	NÃO
Nº1590	500	458	42	84	NÃO
Nº 1493	500	462	38	76	NÃO
Nº 1369	500	460	40	80	NÃO
Nº 1273	500	468	32	64	NÃO
Nº 1221	500	465	35	70	NÃO
Nº 1155	500	475	25	50	OK

Tabela 3 – Viga Benkelman Calculo

Os resultados da Viga Benkelman encontrados são resultados de deflexão do pavimento, tal resultado é uma medida para analisar problemas na estrutura do pavimento, nesse caso o comparativo é feito com uma deflexão de 50 centésimos de milímetros, que, é o mesmo que a empresa executora dos ensaios utilizou para os ensaios na BR-280, o que é justificável em vista de que o tráfego pesado de tal via está sendo redirecionado para o objeto deste estudo.

Verifica-se que os resultados foram negativos em todos os pontos, mesmo os fora da área de estudo, sendo que em apenas um dos pontos apresentou-se o dentro do limite, o calculo realizado é a diferença entre a

deflexão final (após o caminhão teste movimentar-se) e a deflexão inicial padrão colocada na viga, multiplicada pela constante da viga, que, no caso deste é dois.

Realizou-se ainda uma correção para os efeitos de temperatura e, conforme a figura 17, que é um registro das temperaturas de janeiro tem que nesse dia a mesma encontrava-se em 32°C. Consideremos que a temperatura de calculo será de 37 °C, pois, a temperatura a ser considerada era interna do pavimento asfáltico, as duas fórmulas utilizados estão apresentadas no item “7.2.4.1 – Viga Benkelman” da revisão bibliográfica supracitada.

< dezembro 2013		Vista: 		janeiro 2014		fevereiro 2014 >	
domingo	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	sábado	
dez 29	30	31	jan 1	2	3	4	
Temp. atual 29° Mn 19° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 29° Mn 19° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 30° Mn 21° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 27° Mn 20° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 29° Mn 20° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 30° Mn 21° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 23° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	
5	6	7	8	9	10	11	
Temp. atual 22° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 26° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 28° Mn 16° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 28° Mn 16° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 28° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 16° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	
12	13	14	15	16	17	18	
Temp. atual 24° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 26° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 25° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 25° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 28° Mn 16° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 28° Mn 14° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 28° Mn 15° Média hist. N/A Mn N/A	
19	20	21	22	23	24	25	
Temp. atual 29° Mn 15° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 30° Mn 13° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 15° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 33° Mn 19° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 19° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 19° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 20° Média hist. N/A Mn N/A	
26	27	28	29	30	31	fev 1	
Temp. atual 30° Mn 19° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 30° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 16° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 18° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 31° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 32° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	Temp. atual 33° Mn 17° Média hist. N/A Mn N/A	

Figura 32 – Quadro de Temperatura Janeiro de 2014. (ACUWHEATTER, 2014)

A correção para efeitos de temperatura é feita dividindo a deflexão encontrada por um calculo que considera a espessura e a temperatura encontrada na hora do ensaio, mesmo com tal correção todos os resultados continuam sendo negativos, sendo que os pontos marcados em negrito são os do local com as manifestações patológicas apresentadas.

CORREÇÃO PARA EFEITOS DE TEMPERATURA				
	Deflexão	DT / (10 ³ * e * (t -	Espessura	7 cm
Local	encontrada	20) -1)	temperatura	37º
nº 2151 + 120M	106	94,727	NÃO	
nº 2151 + 180M	100	89,366	NÃO	
Nº 639	72	64,343	NÃO	
REMAX	108	96,515	NÃO	
Nº 1799	90	80,429	NÃO	
Nº 1677	126	112,601	NÃO	
Nº1590	84	75,067	NÃO	
Nº 1493	76	67,918	NÃO	
Nº 1369	80	71,492	NÃO	
Nº 1273	64	57,194	NÃO	
Nº 1221	70	62,556	NÃO	

Tabela 4 – Viga Benkelman Correção para temperatura

Os levantamentos marcados em negrito são os pontos onde ocorreram as manifestações patológicas mais complicadas para o transito, ou seja, as panelas e escorregamentos. Verifica-se que nesses pontos a estrutura pavimento não atingiu a deflexão mínima para o trafego existente no local.

3.2.2. Retirada de Corpos de Prova

O segundo ensaio realizado foi uma retirada de corpos de prova, onde, foram levantados dados sobre a espessura da capa executada bem como sobre a faixa em que o revestimento se encontra nas classificações das normas.

Os dados levantados pelo ensaio encontram-se no Anexo B. Verifica-se nestes resultados que a espessura está em acordo com o projeto na média, sendo que a espessura de projeto era sete centímetros e a espessura executada está dentro deste parâmetro.

Quanto à faixa utilizada, no projeto o memorial descritivo traz a seguinte redação: “CBUQ FAIXA C, conforme DNIT 036/2006 – ES”, todavia no resultado do levantamento temos a seguinte redação: “FAIXA: CAUQ (“D”

DEINFRA)”, abaixo apresenta-se a tabela 5 com as faixas granulométricas do Deinfra e Tabela 06 com as faixas granulométricas da Norma DNIT 036/2006 – ES

PENEIRA		PORCENTAGEM PASSANDO, EM PESO					
ASTM	mm	A	B	C	D	E	F
2"	50,8	100	—	—	—	—	—
1 ½"	38,1	95 – 100	100	—	—	—	—
1"	25,4	75 – 100	95 - 100	—	—	—	—
¾"	19,1	60 – 90	80 - 100	100	100	100	—
½"	12,7	—	60 - 90	85 - 100	90 - 100	80 - 100	—
3/8"	9,5	35 – 65	45 - 80	75 - 100	76 - 93	70 - 90	100
Nº 4	4,8	25 – 50	28 - 60	50 – 85	44 – 74	50 – 70	75 - 100
Nº 10	2,0	20 – 40	20 - 45	30 – 75	25 – 55	33 – 48	50 - 90
Nº 40	0,42	10 – 30	10 - 32	15 – 40	9 – 27	15 – 25	20 - 50
Nº 80	0,18	5 – 20	8 - 20	8 – 30	4 – 17	8 – 17	7 - 28
Nº 200	0,074	1 – 8	3 - 8	5 - 10	2- 10	4 - 10	3 - 10
CAMADAS		LIGAÇÃO	LIGAÇÃO OU ROLAMENTO	ROLAMENTO		REPERFILAGEM	

Tabela 05- Faixas granulométricas de mistura asfáltica (DEINFRA, 2005)

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Tabela 06- Faixas granulométricas de mistura asfáltica(DNIT 036/2006 – ES).

Verifica-se uma diferença nas relações de porcentagem de material, entretendo como o ensaio não apresentou a curva granulométrica, desta forma, o ensaio não apresentou o resultado esperado, entretanto, isso não significa que o revestimento foi feito fora dos parâmetros especificados em projetos.

Recomenda-se com relação a este ensaio que seja refeito e complementado para que seja apresentada a curva granulométrica, ou, que seja levantada a classificação em conformidade com a tabela da norma do DNIT que, é a referência para o projeto.

Verificamos que, estando o concreto betuminoso usinado à quente alvo deste estudo dentro da “faixa D” do Deinfra-SC, o mesmo está também dentro da “Faixa C” do DNIT.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analizando todos os dados acima, confrontando as informações e fazendo o comparativo com a bibliografia e normas técnicas, pode-se avaliar:

A primeira situação são as exsudações em trilhas de roda encontradas na proximidade das rotatórias. Essa situação é característica de problema de execução ou com o material aplicado, entretanto, conforme análise dos ensaios temos que a faixa granulométrica tipo D do DEINFRA foi respeitada, desta forma, descartamos um erro no traço do concreto betuminoso e apresenta-se o excesso de ligante asfáltico como o fator que gerou tal manifestação patológica.

Nesse local pode-se solucionar o problema fazendo uma retirada de toda a capa asfáltica e reaplicando a mesma, porém, ressalta-se a possibilidade de esse mesmo problema existir em outros pontos, mas, só apareceu nos locais onde existe maior tração dos veículos comerciais, ou seja, as saídas e entradas de rotatórias.

O trecho onde ocorreram as aberturas de panelas, trincas isoladas, trincas do tipo couro de jacaré, correspondendo a um trecho de 75 metros nas proximidades da saída com a Rua Helmuth Muller, conforme se apresenta nos resultados dos ensaios e na comparação com a bibliografia o local apresenta um problema de estruturação da base e/ou sub-base, comparando-se os resultados com uma deflexão admissível para a BR-280 que foi utilizada pela empresa executora dos testes, onde, a deflexão admissível seria de 50 centésimos de milímetros.

Analizando tráfego existente no local, assim a deflexão aceitável que é dada pela fórmula segundo o DNER PRO 11-1979:

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

Equação 02 – Deflexão Admissível. (DNER, 1979)

Nesta fórmula a deflexão admissível do pavimento é uma relação direta com o número N calculado que é o tráfego que o pavimento deverá suportar para um determinado período de tempo.

Segundo o memorial descritivo da referente obra de recape temos que o número N calculado para este pavimento está em $2,86 \times 10^5$, assim utilizando esse número para o calculo da deformação admissível ter-se-ia uma deflexão admissível no valor de 113 centésimos de milímetros.

Voltando à análise das deflexões encontradas, na Tabela 4 comparamos, na Tabela 7, elas com esta deflexão admissível.

CORREÇÃO PARA EFEITOS DE TEMPERATURA				
Local	Deflexão encontrada	DT / ($10^3 \cdot e \cdot (t - 20) - 1$)	Dentro da Deflexão Admissível	
nº 2151 + 180M	100	89,366	SIM	
Nº 639	72	64,343	SIM	
REMAX	108	96,515	SIM	
Nº 1799	90	80,429	SIM	
Nº 1677	126	112,601	SIM	
Nº1590	84	75,067	SIM	
Nº 1493	76	67,918	SIM	
Nº 1369	80	71,492	SIM	

Tabela 07 – Comparação da deflexão admissível (Autor, 2014)

Considerando que o tráfego mais pesado da BR-280 vem a transitar pela Avenida dos Ferroviários, nesse ponto deve-se recalcular a questão do número N de trafego. Com esses dados não está confirmado que deflexão será realmente de 50 centésimos de milímetros, todavia, segundo a bibliografia os resultados do calculo do trafego N, variam entre 10^5 até 10^9 , dependendo a vida útil e da quantidade de trafego no local, entendemos dessa forma que o Número N utilizado nesse projeto que é de $2,86 \times 10^5$ é um tráfego leve, em vista de a vida útil ser de 20 anos.

Para solucionar essas manifestações patológicas, deverá ser feito um estudo mais aprofundado da base e corrigir a sua estruturação, seja por remoção de solos moles, ou mesmo pela adoção de um sistema diferente de pavimento,

por exemplo, o pavimento de concreto armado, onde, o próprio pavimento estrutura o sistema, dessa forma, a base é menos solicitada.

Assim, apresentados os resultados acima, apresenta-se que nesse existiram duas causas distintas para as manifestações patológicas, sendo a primeira de problema executivo (excesso de ligante asfáltico) enquanto a segunda ocorreu por um problema de suporte das camadas de base, onde, pode-se concluir pelo levantado que foi um problema de projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentaremos as considerações finais acerca deste trabalho, bem com sugestões para futuros trabalhos.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O apresentado demonstra que o projeto de pavimentação asfáltica envolve muitas variáveis e deve-se estar ciente de todas essas exigências para que não tenhamos manifestações patológicas sendo apresentadas na obra.

Verificou-se para as patologias apresentadas: exsudações e, trincas e panelas, que, nas primeiras o problema vem da execução, por uma falta de controle na aplicação do ligante, quanto ao segundo apresenta-se um problema de base.

Quanto ao problema de base, apresentou-se na análise deste problema que o projeto foi calculado para um tráfego abaixo do necessário, tal fato contribui para os problemas apresentados na base, que, necessitaria de um reforço para vir a suportar o tráfego, ou necessitaria de uma técnica diferenciada de pavimentação.

Na questão da exsudação, a manifestação patológica apresentada veio a aparecer nos locais de maior tração dos veículos de grande porte, rotatórias e lombadas, onde houve a exsudação do ligante asfáltico deixando a trilha de roda com um aspecto brilhoso e fazendo com que a mesma perdesse aderência.

Ainda na questão da exsudação não há como garantir que esse erro executivo não esteja presente em outros pontos da pista, dessa forma, deverão ser feitos estudos a respeito disso, para corrigir a manifestação patológica, fazendo com que a mesma não venha a aparecer em outros pontos.

Portanto, apresenta-se como resultados deste estudo de caso que as origens das manifestações patológicas apresentadas são: para a exsudação, falha de execução. Na questão das fissuras e trincas: problema na estruturação da base, que, veio originado de um problema de projeto.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apresentam-se como sugestões as seguintes:

Considerando o caso da exsudação, um estudo mais aprofundado em outros pontos do pavimento, onde, far-se-ia um gráfico com a composição granulométrica em diversos pontos, para, que se possa projetar um reparo no pavimento;

No caso dos problemas da base, sugere-se a adoção de um novo calculo de tráfego, bem como estudos no solo através de testes para verificar a possibilidade de um reforço de subleito ou da base. Caso verifique-se que o solo não tem capacidade real de suporte mesmo com reforço, sugere-se a adoção de um pavimento de concreto armado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. H. F., **Introdução a Pavimentação**. Curitiba: UFPR, 2011.
Disponível em < <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MOdu%201%20-%20Introducao.pdf>> acessado dia 28/08/2014

BERNUCCI, *et al.*, A. L. **Pavimentação Asfáltica, formação básica para engenheiros**. . Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.

CASTRO, Eng. Pery C. G., **Recapeamento com objetivos estruturais**, Setembro, 2009

DER-PR, **Pavimentação – Concreto Asfáltico Usinado à Quente**, DER-PREs-P 21/2005

DER-PR, **Pré-Misturado À quente**, DER-PREs-P 22/2005

DEINFRA-SC, **Especificações Gerais para Obras Rodoviárias**, DEINFRA-SC-ES-P-05/1992

DNER, **Avaliação estrutural de Pavimentos Flexíveis**, DNER Pro10-1979

DNER, **Pavimentação Areia Asfalto a Quente**, DNER-ME 312/1997

DNER, **Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman**, DNER-ME 024/1994

DNIT, **Manual de Pavimentação**, 3ª Edição, Rio de Janeiro, DNIT, 2006

FERREIRA, Eng Clóvis Madruga, **Trabalhando com a Viga Benkelman**, 2007

PEREIRA, Caio, **Viga Benkelman**, Escola de Engenharia, 2013. Disponível em <<http://www.escoladeengenharia.com.br/viga-benkelman>>, acessado dia 10/11/2014

MOURA, Edson, **Notas de Aula – Projeto de Pavimento**. São Paulo: FATEC-SP, 2011.

SENÇO, de W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Editora Pini, 2008.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e manutenção de pavimentos**. São Paulo, Editora Pini, 2008.

7. ANEXOS

Apresentam-se abaixo as planilhas com os resultados dos ensaios realizados.

7.1. PLANILHA DOS RESULTADOS DA VIGA BENKELMAN

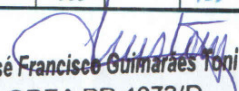
[illegible]

José Francisco Guimarães Ton

CREA PR 4072/D

Engenheiro Civil

VIGA BENKELMAN											
Rodovia:					MATERIAL:						
Trecho:					CAMADA:						
Segmento:					DATA:	Constante da viga (k): 2,00					
Pista:					Operador:						
Km Inicial:	KM final:										
CONTROLE TECNOLÓGICO - VIGA BENKELMAN											
BORDO: ESQUERDO					Deflexão (Do)	BORDO: DIREITO					Deflexão (Do)
KM/ESTACA	INICIAL	L-25	FINAL	Diferença	LI - LFX (k)	KM/ESTACA	INICIAL	L-25	FINAL	Diferença	LI - LFX (k)
	500					4000 CUB	500	-	465	35	70
	500					4000 421	500	-	474	26	52
	500					4000 378	500	-	470	30	60
	500					4000	500	-	467	36	62
	500					4000	500	-	475	22	44
	500					4000	500	-	478	22	44
	500					4000	500	-	477	33	106
	500					4000 (208)	500	-	474	26	52
	500					4000 (188)	500	-	480	20	40
	500					4000 (148)	500	-	471	9	18
	500					4000 (120)	500	-	475	25	50
	500					4000 (80)	500	-	477	21	42
	500					4000 MT	500	-	477	21	42
	500					4000 H2	500	-	485	15	30
	500					4000 H2	500	-	482	47	94
	500					4000 (273)	500	-	463	37	74
	500					2285	500	-	458	42	84
	500					450	500	-	444	56	112
	500					2135	500	-	455	45	90
	500					4000 (151)	500	-	445	46	90
	500					4000 (140)	500	-	458	42	84
	500					4000 (130)	500	-	450	50	100
	500					4000 (120)	500	-	447	53	106
	500					4000 (100)	500	-	450	50	100
	500					639	500	-	464	36	72
	500					REMA 1	500	-	446	54	108
	500					1597	500	-	455	45	90
	500					1677	500	-	431	63	126
	500					159	500	-	458	42	84
	500					1493	500	-	462	38	76
	500					1363	500	-	460	40	80
	500					1245	500	-	410	77	154
	500					1221	500	-	465	35	70
	500					1155	500	-	475	25	50
	500					1034	500	-	463	37	74
	500					1000 (120)	500	-	458	42	84
	500					967	500	-	448	52	104
	500					9000 (200)	500	-	478	22	44
	500					2658	500	-	472	28	56
	500					2709	500	-	460	40	80
	500					2660	500	-	446	54	108
	500					2514	500	-	463	37	74
	500					2420 2838	500	-	446	54	108
	500					241700	500	-	458	42	84
	500					2868	500	-	455	45	90


 José Francisco Guimarães Toni
 CREA PR 4072/D
 Engenheiro Civil

7.2. PLANILHA DOS RESULTADOS DA EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA



EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA

OBRA: AV. JOÃO PESSOA, RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA E AV DOS FERROVIÁRIOS					TIPO DE MATERIAL: BASALTO
TRECHO: RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA					FAIXA: CAUQ ("D" DE INFRA)
DATA: 14/11/2013					KM: USINA DE PORTO UNIÃO - KERBER
NOME DA RUA	FURO N.º	ESPESSURA REAL (CM)	ESPESSURA PROJETO (CM)	ESPESSURA DIF. (CM)	OBSERVAÇÃO
RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA	1	7,01	7,00	7,01	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA	2	6,98	7,00	6,98	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA	3	6,99	7,00	6,99	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA	4	6,99	7,00	6,99	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA	5	7,03	7,00	7,03	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA	6	7,04	7,00	7,04	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
MÉDIA FINAL				7,02	

EXTRAÇÃO DE CORPOS DE PROVA

OBRA: AV. JOÃO PESSOA, RUA EUGÊNIO A. DE ALMEIDA E AV DOS FERROVIÁRIOS					TIPO DE MATERIAL: BASALTO
TRECHO: AV. DOS FERROVIÁRIOS					FAIXA: CAUQ (14" DE INFRA)
DATA: 23/11/2013					KM: USINA DE PORTO UNIÃO - KERBER
NOME DA RUA	FURO N.º	ESPESSURA	ESPESSURA	ESPESSURA	OBSERVAÇÃO
		REAL (CM)	PROJETO (DIF. (CM)		
AV. DOS FERROVIÁRIOS	1	7,02	7,00	7,02	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
AV. DOS FERROVIÁRIOS	2	7,03	7,00	7,03	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
AV. DOS FERROVIÁRIOS	3	6,98	7,00	6,98	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
AV. DOS FERROVIÁRIOS	4	6,99	7,00	6,99	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
AV. DOS FERROVIÁRIOS	5	7,01	7,00	7,01	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
AV. DOS FERROVIÁRIOS	6	7,00	7,00	7,00	FUROS FEITOS PELA CONSTRUTORA
MÉDIA FINAL				7,00	