UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

Curso de Graduação em Engenharia Civil

THIAGO BREUNIG HERMES

IMPACTO DO ALTO TRÁFEGO EM PAVIMENTO DIMENSIONADO PARA BAIXO TRÁFEGO – ESTUDO DE CASO: CORONEL BARROS – RS

Ijuí – RS

2013

THIAGO BREUNIG HERMES

IMPACTO DO ALTO TRÁFEGO EM PAVIMENTO DIMENSIONADO PARA BAIXO TRÁFEGO – ESTUDO DE CASO: CORONEL BARROS – RS

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. José Antonio Santana Echeverria

Ijuí – RS

2013

THIAGO BREUNIG HERMES

IMPACTO DO ALTO TRÁFEGO EM PAVIMENTO DIMENSIONADO PARA BAIXO TRÁFEGO – ESTUDO DE CASO: CORONEL BARROS – RS

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da Banca Examinadora.

Banca Examinadora:

_____

Prof. José Antonio Santana Echeverria, Mestre – Orientador

_____

Prof. Carlos Alberto Simões Pires Wayhs, Mestre

Ijuí, 26 de novembro de 2013

Dedico este trabalho à minha querida irmã Thais para lhe servir de motivação na busca do conhecimento e que nunca se canse disto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proteger, guiar, iluminar e conceder conhecimento para conseguir efetuar esta longa jornada de graduação.

Ao Walmor e a Doris, meus queridos pais, por me darem esta oportunidade, por nunca terem deixado faltar nada, pela preocupação, carinho e boa vontade. Fico eternamente grato a vocês. Amo vocês!

Ao Professor, Amigo e Orientador deste trabalho José A. S. Echeverria agradeço pelos ensinamentos, conselhos, paciência e o exemplo de honestidade, que com certeza, levarei por toda minha vida. E aos professores(as): Cristina E. Pozzobon, Carlos A. S. P. Wayhs, Paulo C. Rodrigues, Raquel Kohler, Valdi Spohr, Gustavo Cantarelli e Giuliano Daronco que em algum momento me passaram os ensinamentos técnicos necessários para se aprender o que é Engenharia Civil.

A minha querida namorada Mariele por me dar todo apoio necessário e sempre ao meu lado quando precisei.

A TODOS os colegas, agradeço pelo companheirismo durante toda essa caminhada do curso.

A TODOS os amigos e familiares que se puseram a disposição e me apoiaram, mesmo estando longe, ao longo desta jornada.

RESUMO

Atualmente, a taxa de crescimento da frota de veículos comerciais vem aumentando consideravelmente, bem mais do que previsto na época em que a grande maioria das nossas rodovias foram projetadas e executadas, efeito disto são pavimentos deteriorados precocemente e com uma grande diversidade de patologias. Este é o principal motivo que preocupa os responsáveis pela manutenção destas vias. Com isso, o conhecimento dos efeitos patológicos que estas cargas geram é crucial para tomar as soluções corretas, sejam para corrigir erros funcionais ou estruturais dos pavimentos, diminuindo tempo e custos. Este trabalho relata as patologias que mais são encontradas nos revestimentos de misturas asfálticas utilizadas em nossas estradas, e com isso, é realizada uma análise do comportamento de um pavimento utilizado como desvio da BR-285 em Cel. Barros/RS. Esse segmento estudado, foi projetado para suportar a fadiga, ruptura das camadas granulares e deformação permanente para um volume de tráfego de 7,8 x 10^5 (USACE) para o período de 10 anos, valor muito menos das solicitações geradas pela rodovia que resulta em um N de 2,9 x 10^7 para o mesmo período, a partir disto, o dimensionamento do pavimento do desvio resultou camadas menos espessas e resistentes para suportar tal volume de tráfego. Através desta consideração, foi realizado num período de aproximadamente 200 dias na qual o segmento do desvio foi exposto a esse alto volume de tráfego, avaliações de todas as patologias ocorridas no pavimento, macrotextura, vida de fadiga e evolução dos afundamentos nas trilhas de rodas numa periodicidade de 15 dias. As linhas de tendência para a estimativa da deformação permanente e vida de fadiga, podem ser usados como ferramenta no Sistema de Gerencia de Pavimentos (SGP), com o intuito de prever o momento na qual o pavimento deverá sofrer intervenções garantindo a segurança dos usuários. Devido as patologias precoces e a alta evolução das deformações geradas no pavimento dimensionado para baixo tráfego, este trabalho demonstra a importância da previsão das cargas que um determinado pavimento será solicitado, levando isso em consideração para seu dimensionamento, evitando assim a ocorrência precoce dessas patologias que tanto estão presentes em nossas rodovias.

Palavras-chaves: Patologias. Alto Volume de Tráfego. Pavimento Flexível.

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALL – América Latina Logística
ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte
ANTF – Associação Nacional de Transportadores Ferroviários
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASTM – *American Association for Testing and Materials*
ATR – Afundamento na Trilha de Roda
BGS – Brita Graduada Simples
CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CNF – Confederação Nacional do Transporte
DER/SP – Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Trânsito
fa – Frequência Absoluta
FD – Fatores de Expansão Diária
fr – Frequência Relativa
FS – Fator de Correção Semanal
IGG – Índice de Gravidade Global
IRI – Índice de Irregularidade Internacional
LD – Lado Direito
LE – Lado Esquerdo
SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos
UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul
USACE – *United States Army Corps of Engineers*
VMD – Volume Médio Diário
VRD – Valor de Resistência à Derrapagem
VSA – Valor de Serventia Atual

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 16ª edição da pesquisa CNT (2012).....13
Tabela 2 – Equações FEC/USACE 46
Tabela 3 – Limites de aplicação de revestimento segundo sua macrotextura 49
Tabela 4 – Valores de IGG para determinado período.....56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas do pavimento flexível 18
Figura 2 – Ficha de avaliação da serventia 21
Figura 3 – Demarcação das estações para inventário de defeitos 22
Figura 4 – Faixas de variação do IRI 24
Figura 5 – Trinca isolada longitudinal (RS-155) 27
Figura 6 – Trinca couro de jacaré (RS-155) 28
Figura 7 – Trinca couro de jacaré com erosão 28
Figura 8 – Trincas de bloco 29
Figura 9 – Afundamento por consolidação 31
Figura 10 – Afundamento plástico 31
Figura 11 – Plataforma do pavimento do desvio 37
Figura 12 – Relatório fotográfico da execução do pavimento 39
Figura 13 – Ficha de contagem de tráfego 43
Figura 14 – Número N para os períodos 48
Figura 15 – Comparação da macrotextura antes e depois 50
das solicitações do tráfego 50
Figura 16 – Reflexão de trincas na estaca 475 + 460 LD 51
Figura 17 – Afundamento local na estaca 475 + 100 LE 52
Figura 18 – Afundamentos nas trilhas de rodas 52
Figura 19 – Patologias na estaca 475 + 380 LE 53
Figura 20 – Panela 53
Figura 21 – Leitura das deformações 54
Figura 22 – Marcação das estações 54
Figura 23 – Estrutura do pavimento 57
Figura 24 – Dados do tráfego 57

Figura 25 – Clima da região 58
Figura 26 – Gráfico do desenvolvimento dos afundamentos 60
nas trilhas de rodas 60
Figura 27 – Evolução dos afundamentos 61
Figura 28 – Modelos de deformação por camada 63
Figura 29 – Comparação das deformações ocorridas no.....64
desvio com os modelos de previsão 64
Figura 30 – Comparação da vida de fadiga do desvio com modelos de previsão.....66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos do IGG 23
Quadro 2 – Volume médio diário.....47
Quadro 3 – Mancha de areia realizado antes da liberação ao tráfego 48
Quadro 4 – Mancha de areia realizado 181 dias após a liberação do tráfego 49
Quadro 5 - Módulo de Resiliência das camadas do Pavimento do desvio.....58

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **13**

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **16**
1.1 PAVIMENTO 16
1.1.1 Pavimentos Rígidos **16**
1.1.2 Pavimentos Semi-Rígidos **17**
1.1.3 Pavimentos Flexíveis **17**
1.2 CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL 18
1.2.1 Revestimento **18**
1.2.2 Base **19**
1.2.3 Sub-base **19**
1.2.4 Reforço do Subleito **20**
1.2.5 Regularização do Subleito **20**
1.3 AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO 20
1.3.1 Valor de Serventia Atual **21**
1.3.2 Avaliação Objetiva de Superfície DNIT 006/2003-PRO **22**
1.3.3 Índice de Irregularidade Internacional **23**
1.4 AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA 24
1.5 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS 25
1.5.1 Fissuras **26**
1.5.2 Trincamentos **26**
1.5.2.1 Trincas Isoladas 26
1.5.2.2 Trincas Interligadas 27
1.5.2.3 Trincas por Reflexão 29
1.5.3 Afundamentos em Trilha de Roda **30**
1.5.4 Ondulação ou Corrugação **32**
1.5.5 Escorregamento do Revestimento **32**
1.5.6 Exsudação **33**
1.5.7 Desgaste **33**
1.5.8 Panelas ou Buracos **33**
1.5.9 Remendos **34**

1.6 SISPAV 35

2 METODOLOGIA **36**
2.1 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA 36

2.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO 36
2.2.1 Execução do Trecho Estudado 37
2.3 PLANEJAMENTOS DA PESQUISA 42
2.3.1 Contagem de Tráfego 42
2.3.2 Previsões do Desempenho do Pavimento 43
2.3.3 Avaliação Textural 44
2.3.4 Avaliação Funcional 44

3 RESULTADOS E ANÁLISE 45
3.1 CONTAGEM DO TRÁFEGO 45
3.2 AVALIAÇÃO MACROTEXTURA 48
3.3 AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS 50
3.3.1 Índice de Gravidade Global 53
3.4 DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS 56
3.4.1 Deformação Permanente 59
3.4.2 Vida de Fadiga 64

CONCLUSÃO 67

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

ANEXOS 73

INTRODUÇÃO

Com o atual desenvolvimento comercial das nações, o transporte de seus bens e serviços tem adquirido fundamental importância estratégica, sendo de grande relevância as obras de implantação de novos segmentos bem como dispor sua manutenção. Embora no Brasil existem outros meios de transportes, o transporte rodoviário é o principal meio para o deslocamento de cargas, isso se justifica por chegar a praticamente todos os lugares e atender as necessidades de uma forma mais rápida.

De acordo com a 16ª edição da pesquisa CNT de rodovias (2012) foram avaliados 95.707 km, na qual se refere a toda a malha rodoviária federal pavimentada, os mais significativos trechos das rodovias estaduais pavimentadas e rodovias concedidas, visando os aspectos de sinalização e da geometria da via, classificando-as como ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo. A tabela 1 apresenta os resultados da pesquisa, concluindo que 46% (43.981 km) da extensão pesquisada apresenta algum tipo de problema.

Tabela 1 – 16ª edição da pesquisa CNT (2012)

Pavimento	2012	
	km	%
ótimo	46890.0	49
Bom	4836.0	5.1
Regular	31944.0	33.4
Ruim	8272.0	8.6
Péssimo	3765.0	3.9
Total	95707.0	100

Fonte: Adaptado da 16ª edição da pesquisa CNT (2012).

É notório que rodovias pavimentadas em mau estado de conservação afetam de modo negativo a economia, aumentando o consumo de combustíveis, manutenção dos veículos e poluição, no qual tudo isso resulta em produtos menos competitivos no mercado. Segundo a pesquisa citada anteriormente, uma rodovia em bom estado de conservação resulta em até 5% de economia de combustível, ao contrário de uma rodovia em mau estado de conservação, ou seja, renderia em uma economia de 616 milhões de litros de óleo diesel que totaliza um valor de aproximadamente R$ 1,29 bilhões e uma redução da emissão de 1,6 megatoneladas de CO_2, principal causador do efeito estufa.

O presente trabalho tem como tema a análise de possíveis patologias em um pavimento flexível. Sendo realizada uma avaliação da evolução das patologias num pavimento dimensionado para baixo tráfego utilizado por alto tráfego.

O pavimento analisado se localiza na cidade de Coronel Barros – RS, onde foi efetivada a implantação de uma travessia urbana para o acesso à cidade, no trecho dos km 474 + 450 ao 477 + 355 da BR-285, onde num determinado período das obras a BR foi interrompida para a escavação e execução de uma passagem inferior sobre a rodovia, na qual passou a ser utilizada como desvio uma das vias laterais, onde então se realizou os estudos e análises propostas neste projeto, que são:

- Acompanhamento da execução do pavimento em estudo e conhecimento de suas características;
- Marcação das estações no pavimento para a realização das análises das patologias bem como seus desenvolvimentos;
- Avaliação da aderência no revestimento (macrotextura – ensaio da mancha de areia);
- Identificação e avaliação objetiva do pavimento;
- Realização da análise de previsão de danos com modelos matemáticos e utilizando o software SisPav;
- Efetuar levantamento de tráfego manualmente no local do estudo, classificando-o por configuração de eixos.

Os pavimentos estudados neste trabalho são compostos por mistura asfáltica, ou seja, de características flexíveis que segundo Bernucci *et al*. (2008): “os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos”, onde serão

relatados os tipos de defeitos, desenvolvimento nos afundamentos das trilhas de rodas, aderência e métodos de análise, avaliando as patologias iniciais em um pavimento flexível.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 PAVIMENTO

Um pavimento é constituído por várias camadas, onde cada uma delas tem uma função estrutural com o objetivo de absorver os impactos causados pelo tráfego. Essa estrutura do pavimento, objetiva proporcionar um conforto e segurança ao trafegá-lo.

O termo pavimento significa segundo Bernucci *et al*. (2008, p. 9):

> [...] uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinado tecnicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos, às condições do clima e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança [...].

De uma forma geral os pavimentos são classificados como rígidos, semi-rígidos e flexíveis. Fatores estes que se traduzem na citação de Balbo (1997):

> A diferença evidentemente notável, pois facilmente mensurável, entre o pavimento rígido e o pavimento flexível é que este último apresenta um maior e mais expressivo deslocamento vertical elástico (ou *deflexão*, conforme emprega-se no mundo rodoviário), quando solicitados por cargas idênticas.

1.1.1 Pavimentos Rígidos

Segundo o manual de pavimentação do DNIT (2006, p. 95) os pavimentos rígidos são aqueles que o revestimento é muito mais rígido comparando às camadas inferiores, tendo a quase total absorção de todas as tensões causadas pelo carregamento aplicado. Usualmente é construído em lajes de concreto de cimento Portland.

Para Balbo (1997) considera-se um pavimento rígido aquele que constitui-se com uma camada superficial em concreto de cimento Portland.

1.1.2 Pavimentos Semi-Rígidos

Os pavimentos semi-rígidos conforme norma do DNIT (2006, p. 95) são caracterizados por uma base constituída por algum aglutinante com propriedades cimentícias e uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

Segundo o DER/SP os pavimentos semi-rígidos conceituam-se por constituir uma camada de revestimento asfáltico e de base ou sub-base em material estabilizado com adição de cimento Portland. Conhecem-se esses pavimentos como sendo do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre uma camada de base cimentada e do tipo indireto ou invertido quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada.

1.1.3 Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis segundo a especificação de serviço do DNIT 031/2006 ES, são aqueles na qual todas as suas camadas sofrem algum tipo de deformação elástica sob o carregamento exercido, porém, esse carregamento é distribuído em partes aproximadamente equivalentes entre as camadas. Como por exemplo, um pavimento constituído por uma base de brita graduada ou macadame revestido por uma camada betuminosa.

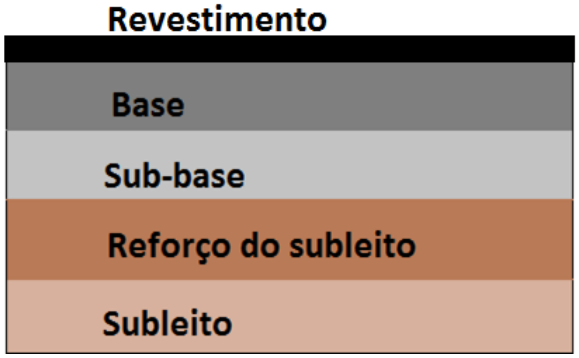
Conforme DER/SP (2006) os pavimentos flexíveis são constituídos por algum revestimento asfáltico sobre camadas com base granular ou sobre camada de base com solo materializado granulometricamente. Os esforços oriundos do tráfego são absorvidos pelas diversas camadas constituintes das estruturas do pavimento flexível.

De acordo com o DNER (2009) pavimento flexível é um elemento constituído por revestimento asfáltico sobre camada de base granular ou sobre camada de base de solo estabilizado granulometricamente. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos pelas diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento flexível.

1.2 CAMADAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

As camadas típicas de um pavimento flexível são: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (figura 1).

Figura 1 – Camadas do pavimento flexível



Fonte: Autoria própria (2013).

1.2.1 Revestimento

A camada superficial executada no pavimento é o revestimento, onde serão aplicadas todas as tensões derivadas do tráfego. O revestimento pode ser executado com concreto asfáltico, constituído de ligante betuminoso e agregados.

A camada de revestimento do pavimento conforme Senço (2001) pode ser definida como sendo a camada designada a resistir ao desgaste imposto pela ação do tráfego. Ainda o autor cita que revestimento “é a camada mais nobre do pavimento, devendo a sua execução ser procedida de detalhados ensaios de dosagem e acompanhada por rigorosos ensaios de controle”.

Ainda, Pinto e Preussler (2002) descrevem que a camada de revestimento deve ser projetada para suportar as forças abrasivas do tráfego; reduzir a penetração de água superficial no pavimento; promover resistência superficial ao deslizamento dos veículos e fornecer um rolamento suave e uniforme ao tráfego.

No Brasil são utilizados vários tipos de revestimentos, sendo que o mais executado é o CAUQ no qual é constituído por agregados de vários tamanhos e misturado com um ligante betuminoso. Esse concreto pode ser fabricado em usinas fixas ou móveis onde todos os elementos são aquecidos em temperaturas controladas em função da característica visco-plástica do cimento asfáltico de petróleo.

1.2.2 Base

A base é uma camada com função de aliviar os esforços e distribuí-los às demais camadas inferiores. Existem vários tipos de materiais utilizados na camada de base e sua escolha depende principalmente dos tipos existentes na região onde ela será executada. Senço (2001) cita os materiais mais utilizados:

- Brita Graduada Simples (BGS) – ela pode ser definida como uma base originada da combinação entre agregados antecipadamente dosados, contendo finos para enchimento e água, onde se resulta em uma excelente resistência e distribuição das cargas após sua devida compactação;
- Solo estabilizado granulometricamente – essa base consiste na mistura de solos naturais ou artificiais com rocha alterada, que após adicionado água e compactado oferece boa condição de estabilidade;
- Solo-cal – o uso da cal na estabilização dos solos tende consentir uma melhoria da qualidade do solo e a estabilidade aumentando a capacidade de suporte. Esse tipo de base atualmente é pouco utilizado;
- Base de solo-asfalto – é uma mistura de solo com asfaltos diluídos a uma devida temperatura de aplicação e em dosagens adequadas. Essa camada sendo bem compactada e protegida pela camada de revestimento gera boa estabilidade e durabilidade ao pavimento;
- Macadame hidráulico ou seco – é definido pela compressão do agregado graúdo e o enchimento de seus vazios com materiais finos uniformemente distribuídos com o auxílio da água (no caso do hidráulico) ou não. Esse método como base ou sub-base gera boa estabilidade ao pavimento.

1.2.3 Sub-base

Uma definição para sub-base conforme o DNER (1997) “camada granular de pavimentação executada sobre o subleito ou reforço do subleito, devidamente compactada e regularizada”.

A sub-base é executada abaixo da base tendo suas mesmas funções, porém é construída com características de suporte inferiores, pois recebe menor tensão. Ela deve ser estabilizada para ter capacidade de suporte.

Os materiais utilizados nesta camada podem ser os mesmos utilizados na camada de base.

1.2.4 Reforço do Subleito

A norma DNIT ES 138/2010 define reforço do subleito como a “camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito”.

Os materiais empregados nesta camada podem ser solos, misturas de solos ou materiais rochosos com características físicas melhores que os materiais empregados do subleito.

1.2.5 Regularização do Subleito

Segundo DNER ES 299/97 regularização do subleito é a “Operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes ou aterros até 20 cm de espessura”.

O material empregado nessa camada é preferencialmente o próprio material do leito do terreno onde será aplicada a rodovia.

1.3 AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

Avaliação funcional é a determinação da capacidade de um pavimento fornecer conforto de rolamento ao usuário. Através desta avaliação estima-se o estado de superfície do pavimento e como seu estado interfere no rolamento dos veículos, auxiliando no diagnóstico dos problemas, fornecendo uma ideia do grau de deterioração.

Essa avaliação define a serventia do pavimento que segundo a norma DNIT 009/2003-PRO é a “capacidade de um trecho específico de pavimento proporcionar,

na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego”.

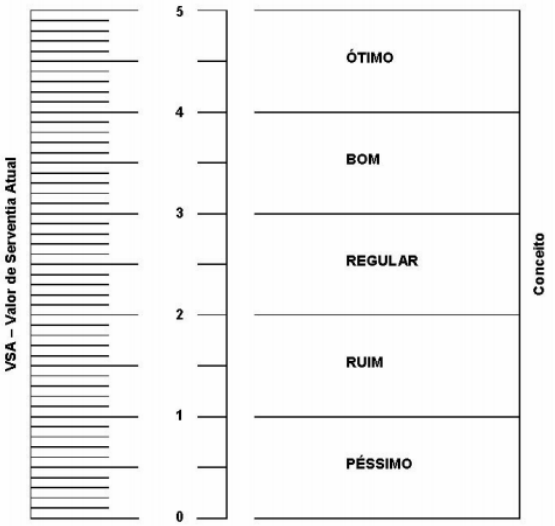
1.3.1 Valor de Serventia Atual

Segundo a norma DNIT 009/2003-PRO o VSA é a medida individual das condições de superfície de um pavimento, realizada por uma equipe de avaliadores que cursam pelo trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade em que o pavimento tem de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no período da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.

A utilização deste parâmetro como medida de condição do pavimento remonta aos experimentos da AASHO, atual AASHTO, planejado nos anos 50 onde seu grande objetivo como índice de qualidade é refletir a opinião dos usuários quanto ao estado de um pavimento (BALBO, 1997).

É atribuída uma nota de zero a cinco pelos avaliadores onde o valor máximo cinco representa um pavimento em ótimo estado e a nota mínima zero representa um pavimento em péssimo estado (figura 2).

Figura 2 – Ficha de avaliação da serventia



Fonte: DNIT 009/2003-PRO.

1.3.2 Avaliação Objetiva de Superfície DNIT 006/2003-PRO

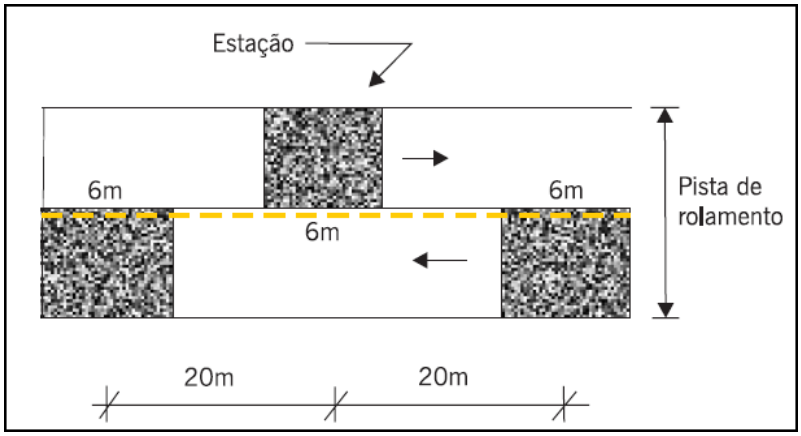
Esse método de avaliação funcional visa classificar o estado de conservação do pavimento. Ele estabelece um método de levantamento sistemático de patologias e atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG).

O IGG é determinado através da identificação de defeitos em estações com área e distanciamento entre elas prefixadas pela especificação do DNIT. Essas estações são alternadas em pista simples a cada 20 m ou no caso de pistas duplas as demarcações devem ocorrer a cada 20 m na faixa mais solicitada de tráfego. No caso das demarcações que deverão ser feitas na rua do desvio será considerado de pista simples. A superfície avaliada corresponde a 3 m antes e a 3 m depois das estacas demarcadas, totalizando em cada estação 6 m de comprimento e largura igual a da faixa de rolamento. A figura 3 ilustra as estações em pista simples. Faz-se então a anotação dos defeitos em uma planilha utilizando a terminologia das patologias pela norma DNIT 005/2003-TER.

Os afundamentos de trilhas de rodas deverão ser mensurados nos bordos externos e internos da faixa utilizando uma treliça metálica e anotada na planilha.

De acordo com Bernucci *et al*. (2008) os defeitos são subdivididos em oito categorias: fissuras e trincas, trincas de bloco sem erosão, trincas de bloco com erosão, afundamentos localizados ou nas trilhas, corrugação e panelas, exsudação, desgaste e remendos. Além de anotar os afundamentos de trilhas de rodas internas e externas e a existência de afundamentos por consolidação e escorregamentos.

Figura 3 – Demarcação das estações para inventário de defeitos



Fonte: Bernucci *et al*. (2008).

Após efetuado o preenchimento dos defeitos na planilha é realizado o cálculo do IGG, onde os parâmetros são definidos pela norma DNIT 006/2003-PRO que resultam em valores que conceituam o pavimento (figura 4).

Quadro 1 – Conceitos do IGG

Norma DNIT 06/2003	
Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: Adaptado de Bernucci *et al*. (2008).

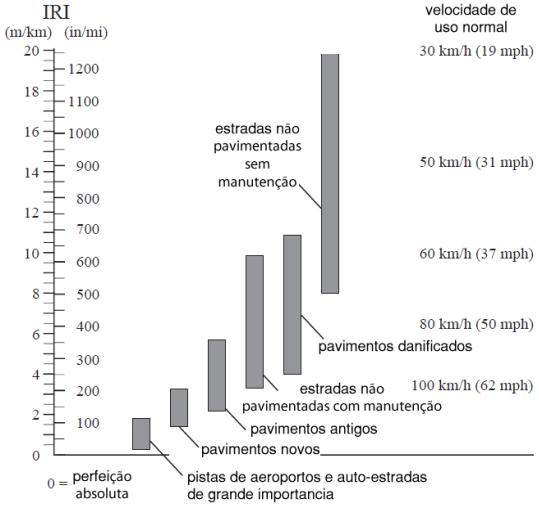
1.3.3 Índice de Irregularidade Internacional

Na busca de uma medida que fosse relevante, estável no tempo e facilmente compreendida, a AASHTO desenvolveu uma escala de medida de irregularidade chamada IRI, na qual trata-se de uma medida padrão relacionada ao somatório dos deslocamentos ocorridos na suspensão de um veículo, sendo expresso nas unidades m/km ou mm/m.

Segundo Gillespie (1992) o IRI é uma escala para a irregularidade baseada na resposta de um veículo genérico motorizado. Seu valor é obtido a uma medida precisa e compatível do perfil da rodovia, processando os dados com um algoritmo que simula a maneira que um veículo de referência responderia aos dados de irregularidade e acumulando o movimento da suspensão.

Esse método é aceito como a medida de irregularidade para o controle de obras e sistemas de gerenciamento entre outros objetivos. Na figura 4 são representadas diversas faixas de variação do IRI dependendo do caso e situação.

Figura 4 – Faixas de variação do IRI



Fonte: Sayers e Karamihas (1998).

1.4 AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA

Segundo o Manual de Conservação Rodoviário DNIT (2005) a principal propriedade do pavimento quando se trata de segurança é a sua capacidade de gerar a adequada aderência e atrito a sua superfície e os pneus do veículo.

A irregularidade da textura do pavimento afeta na estabilidade direcional, aderência e dinâmica do veículo ao trafegar na pista, principalmente em dias chuvosos. As características de aderência superficial de um pavimento são definidas em duas escalas de textura: microtextura e macrotextura.

De acordo com Bernucci *et al*. (2008) na microtextura são avaliadas as superfícies no que se refere a aderência, dependente da superfície e aspereza dos agregados e a macrotextura dependente da rugosidade formada pelo conjunto dos agregados com mastique. A macrotextura dá uma indicação de rugosidade geométrica média do revestimento podendo estimar sua capacidade de drenagem da água em sua superfície.

A avaliação da microtextura pode ser realizada por equipamento constituído por pêndulo britânico (ASTM E 303), onde esse aparelho possui um braço pendular, onde sua extremidade tem um pé recoberto de borracha umedecida para se atritar contra a superfície do pavimento. Nesse processo é determinado o VRD, onde os resultados menores a 25 são considerados de classe perigosa e maiores que 75 muito rugosos.

A macrotextura pode ser determinada pelo ensaio de altura média de mancha de areia (ASTM E 965), onde se emprega para o ensaio areia uniforme passante na peneira nº 60 e retina na peneira nº 80, com um volume conhecido de 25.000 mm^3. A areia deve ser espalhada sobre a superfície do pavimento com o auxílio de um bastão que deve ser movimentado circularmente sobre a areia, espalhando-a até formar um círculo. Na sequência é medido o diâmetro do círculo em três direções diferentes fazendo a média aritmética entre elas. A altura de mancha define qual a classe da macrotextura que pode ser calculada pela equação 1:

Equação 1

$$HS = \frac{4V}{D^2\pi}$$

Onde:

HS = altura média de mancha de areia em mm

V = volume constante de areia de 25.000 mm^3

D = diâmetro médio do círculo de areia em mm

A classificação da macrotextura pode ser dada como muito fina ou muito fechada para valores de HS ≤ 0,20 mm e até muito grosseira ou muito aberta para valores de HS > 1,20 mm.

Alguns resultados em relação a Macrotextura são aplicandos, como por exemplo, um valor da altura da mancha de areia igual a 0,2mm refere-se a velocidades menor que 80km/h e alturas na ordem de 0,4 a 0,8mm é indicado para velocidades da ordem de 80 a 120km/h, valores estes segundo Pasquet (1968).

1.5 PATOLOGIAS DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos flexíveis submetidos ao tráfego e intempéries estarão sujeitos à fadiga e deformações, gerando várias patologias em sua estrutura que poderão aparecer precocemente ou a médio ou longo prazo e serão definidas e explicadas neste capítulo, citando suas principais causas.

Conforme Bernucci *et al*. (2008) “para a classificação dos defeitos, utiliza-se a norma DNIT 005/2003-TER: defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia”. Ainda o autor cita a catalogação dos defeitos:

> Os tipos de defeitos catalogados pela norma brasileira e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); corrugação e ondulações transversais (O); exsudação (EX); desgaste ou desagregação (D); panela ou buraco (P); e remendos (R).

1.5.1 Fissuras

Fissuras e trincas são definidas dentro de um grupo geral de patologias chamadas fendas. Segundo Balbo (1997) “uma fissura é, portanto, uma fenda perceptível a olho nu a partir de distância inferior a 1,5 m; trincas são fendas maiores que as fissuras considerando o critério adotado para definir fissuras”.

Conforme Bernucci *et al*. (2008) “As fendas representam um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididos dependendo da tipologia e da gravidade”.

Segundo a norma DNIT 005/2003-TER “As fissuras são fendas incipientes que ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo assim consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície”.

1.5.2 Trincamentos

As trincas são classificadas como longitudinais (paralelas ao eixo da rodovia) ou transversais (perpendiculares ao eixo da rodovia), sendo que quando tiverem extensão menor que 1,0 m são consideradas curtas (TLC e TTC) e maiores que 1,0 m são consideradas longas (TLL e TTL).

1.5.2.1 Trincas Isoladas

Conforme Bernucci *et al*. (2008) as trincas isoladas podem ser transversais curtas ou longas, longitudinais curtas ou longas, ou por retração.

Segundo Balbo (1997) trincas isoladas são fendas que podem ser reconhecidas a olho nu, dispostas em direção aproximadamente paralela ao sentido do tráfego ou transversal ao mesmo (figura 5).

As possíveis causas para esse defeito podem ser através da execução de juntas entre etapas do pavimento construídas em momentos diferentes, causada pelo escorregamento do revestimento, ruptura de camadas inferiores, retração do subleito coesivo por secagem, entre outros.

Figura 5 – Trinca isolada longitudinal (RS-155)

Fonte: DNIT 005/2003 TER

1.5.2.2 Trincas Interligadas

a) Trinca “couro de jacaré”

Essa patologia pode ser identificada quando houverem trincas interligadas sem direções preferenciais gerando uma similaridade com o couro de jacaré.

Balbo (1997) define trinca couro de jacaré como um defeito com forma de pele de jacaré conjuntada de trincas não paralelas e formando um conjunto intimamente ligado de círculos ou mapas. As bordas dessas trincas devem estar íntegras, sem desagregação e perda de material, manifestando-se geralmente em trilhos de rodas podendo expandir-se em toda a área de rolamento (figura 6).

Bernucci *et al*. (2008) citam que as principais causas da trinca couro de jacaré podem ocorrer pela ação repetitiva de cargas do tráfego, ação climática, envelhecimento do ligante e perda de flexibilidade, execução de compactação mal

feita, deficiência no teor de ligante asfáltico, subdimensionamento, alta rigidez do revestimento em estrutura com elevada deflexão, reflexão das trincas de mesma natureza, recalques, entre outros.

Figura 6 – Trinca couro de jacaré (RS-155)

Fonte: Autoria própria (2013).

b) Trinca "couro de jacaré com erosão"

Segundo Balbo (1997) trinca couro de jacaré com erosão é um estágio mais avançado do defeito, quando podem ser visíveis as desagregações em suas bordas, proporcionando aberturas cada vez maiores para as fendas, apresentando comumente material solto em suas aberturas (figura 7).

Bernucci *et al*. (2008) relatam as possíveis causas na qual podem ocorrer essas patologias: envelhecimento do ligante e perda de flexibilidade pelo tempo em que esteja exposto, excesso de temperatura na fabricação, baixo grau de compactação e recalques diferenciais.

Figura 7 – Trinca couro de jacaré com erosão

Fonte: Bernucci *et al*. (2008).

c) Trincas de bloco

Segundo a norma DNIT 005/2003-TER trincas de bloco são o “conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela formação de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas”.

Balbo (1997) define trincas de bloco como sendo um defeito com o aspecto predominante de forma de placas que apresentam paralelismo entre seus lados, criando fissuras maiores que as do couro de jacaré. Essas trincas possuem “tendência que as extremidades sejam lineares, bem definidas e paralelas às direções longitudinal e transversal” (figura 8). O autor cita que as principais causas para essa patologia podem ser o tratamento da base com ligantes hidráulicos, retrações causadas pelo efeito térmico e hidráulico, a propagação das trincas da base ao revestimento, secagem do subleito ou base argilosa (coesiva).

Figura 8 – Trincas de bloco

Fonte: Bernucci *et al*. (2008).

1.5.2.3 Trincas por Reflexão

As trincas por reflexão ocorrem quando existe trincamento em camadas inferiores no pavimento, propagando-se até a camada superior atingindo o revestimento. Elas podem submeter-se a qualquer tipo de trinca (longitudinais,

interligadas ou irregulares). É, também, muito comum dessas trincas aparecerem em camadas onde houve reforço no revestimento sobre uma camada trincada, na qual se pretendia melhorar a capacidade funcional e estrutural do pavimento, porém isso se torna suscetível à propagação dessas trincas.

Segundo o Manual de Conservação Rodoviário do DNIT (2005) os efeitos gerados por essa propagação equivalem ao enfraquecimento da estrutura do pavimento devido o aumento da umidade, desenvolvendo panelas, deformações plásticas e outros tipos de defeitos.

1.5.3 Afundamentos em Trilha de Roda

Balbo (1997) define afundamento em trilha de roda como “uma superfície com depressões nas posições das trilhas de rodas, acompanhadas de deslocamentos laterais do revestimento asfáltico, podendo atingir profundidades significativas”.

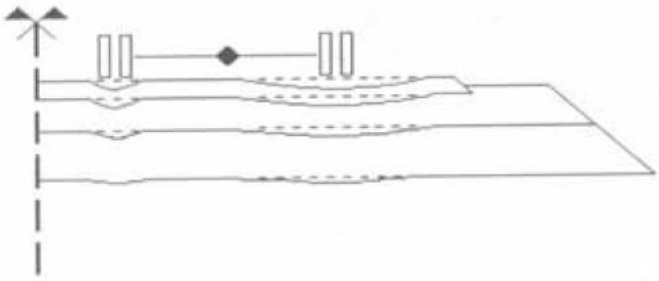
Conforme a norma DNIT 005/2003-TER afundamento é a “deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação”.

Segundo o Manual de Conservação do DNIT (2005) define-se afundamento por consolidação e plástico como:

a) Afundamento por consolidação

É uma depressão do revestimento que se forma na região onde se dá a passagem das cargas, ou seja, nas trilhas de rodas (figura 9). Em seu princípio esta falha é apenas percebível após a ocorrência de chuva, pois os sulcos ficam preenchidos por água, sendo toleráveis até o afundamento formar uma flecha significativa nas trilhas de rodas, podendo por em risco a segurança dos usuários.

Figura 9 – Afundamento por consolidação

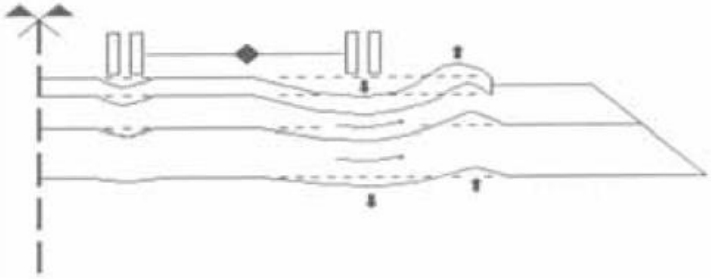


Fonte: Manual de Conservação DNIT (2005).

b) Afundamento plástico

Esse afundamento é caracterizado por um solevamento lateral junto à região da depressão formada na trilha de roda, tendo como causa a ruptura das camadas do pavimento devido à solicitação do tráfego (figura 10).

Figura 10 – Afundamento plástico



Fonte: Manual de Conservação DNIT (2005).

De acordo com Bernucci *et al*. (2008) as prováveis causas para essa patologia: falha na dosagem de mistura asfáltica; excesso de ligante asfáltico; escolha equivocada do tipo de revestimento asfáltico para as cargas solicitantes.

Ainda, têm-se como principais causas a essa patologia a insuficiência de compactação de uma ou mais camadas durante a execução do pavimento e enfraquecimento das camadas devido à infiltração de água.

1.5.4 Ondulação ou Corrugação

Conforme Bernucci *et al*. (2008) a corrugação é uma deformação transversal ao eixo da pista, com depressões entremeadas de elevações, podendo ter um comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros. Ainda os autores definem também as ondulações como sendo também deformações transversais ao eixo da pista, porém decorrentes da consolidação diferencial do subleito.

Segundo Balbo (1997) as corrugações se apresentam como pequenas ondulações longitudinalmente na faixa de rolamento com amplitude irregular, com ou sem escorregamentos, dando a sensação de vibrações para os veículos em transição na pista. Este defeito geralmente se localiza nos trechos de baixa velocidade do trânsito e locais de paradas. O autor relata as possíveis causas para o defeito corrugação sendo a má execução da imprimação (excessiva ou insuficiente) do revestimento sobre a camada inferior; má execução da compactação do revestimento asfáltico; viscosidade inadequada do cimento asfáltico para o tipo de pavimento.

1.5.5 Escorregamento do Revestimento

Conforme a norma do DNIT 005/2003-TER escorregamento é o “deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua”.

Segundo Balbo (1997) escorregamento do revestimento é comumente ocorrido em faixas solicitantes por veículos comerciais na qual poderão se associar a afundamentos e trincas. Ainda o autor relata algumas causas para ocorrer essa patologia como a imprimação inadequada do revestimento sobre a camada inferior ocasionando em deslocamentos transversais da mistura asfáltica geralmente nos trechos em curvas, viscosidade inadequada do cimento asfáltico para as condições de uso, excesso de ligante asfáltico na mistura, falha na produção do concreto ou emprego de misturas asfálticas ricas em betume e em agregados miúdos.

1.5.6 Exsudação

Segunda a norma DNIT 005/2003-TER exsudação é o excesso de ligante betuminoso do revestimento na superfície do pavimento, ocasionado pela migração do ligante através do revestimento.

Balbo (1997) descreve essa patologia como sendo formas de manchas isoladas ou ainda em grande extensão, podendo ser visivelmente notado a CAP na superfície, sendo facilmente identificadas por registrarem as marcas dos pneus em dias quentes. Ainda o autor afirma que a exsudação pode estar associada a escorregamentos da mistura asfáltica. Essa patologia é motivada pela segregação da mistura, compactação excessiva da mistura, elevada quantidade de ligante na mistura, baixa viscosidade do ligante aplicado em locais de clima quente e falta de adesividade do ligante asfáltico.

1.5.7 Desgaste

Segundo a norma do DNIT 005/2003-TER o desgaste é a perda do agregado miúdo do revestimento e se caracteriza por possuir uma superfície áspera provocada pelos esforços tangenciais do tráfego.

De acordo com Pinto e Preussler (2002) tem-se como desgaste “o efeito do arrancamento progressivo do agregado do revestimento, caracterizado por aspereza superficial”.

Bernucci *et al*. (2008) citam que as prováveis causas para que possa ocorrer o desgaste nos pavimentos são as falhas de adesividade ligante-agregado, presença de água aprisionada sobre repressão em vazios da camada de ligante, gerando deslocamento de ligante, problemas no teor do ligante, falhas de bico em tratamentos superficiais, problemas na execução ou de projeto.

1.5.8 Panelas ou Buracos

Panelas ou buracos são depressões causadas pela perda de material de superfície. Esse defeito propaga-se rapidamente se não forem realizadas as

correções adequadas com frequência, causando sérios danos aos veículos, aumentando o tempo de viagem e o consumo de combustíveis.

Esta patologia pode ocorrer em diversas possibilidades, no geral elas surgem de uma fase evolutiva de outras patologias que não foram tratadas devidamente em época adequada.

Conforme o *U.S Departament of Transportation* considera-se panela cavidades com dimensão mínima de 150mm e são classificadas por sua profundidade em três níveis de severidade, que são: baixa com profundidade menor que 25mm, moderada para as que ficam entre 25 a 50mm de profundidade e alta para profundidade maior que 50mm.

Segundo a norma DNIT 005/2003-TER essa patologia pode ser causada por várias hipóteses como a falta de aderências entre as camadas superpostas, causando o desplacamento das camadas gerando cavidades no revestimento, podendo chegar a camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

Balbo (1997) relata panelas ou buracos como sendo cavidades na superfície do pavimento, caracterizadas pela ausência de materiais, podendo atingir as camadas de base ou até mesmo o subleito da estrutura, suas formas e dimensões são bem variáveis, não devendo ser confundidos com o solapamento. O autor relata algumas possíveis causas para esse defeito como a desagregação de revestimento trincado, evolução de afundamentos localizados e a evolução de processo de descolamento do revestimento sobre antigos revestimentos ou bases.

1.5.9 Remendos

Conforme Bernucci *et al*. (2008) remendos são preenchimentos de panelas ou depressões com massa asfáltica, que além de ser uma forma de restauração, é considerado um defeito, pois pode provocar danos ao conforto do rolamento.

A norma do DNIT 005/2003-TER classifica remendos profundos e remendos superficiais. Os remendos profundos sendo aqueles em que é retirada a camada do revestimento e eventualmente uma ou mais camadas do pavimento, geralmente são

retangulares. Já os remendos superficiais são apenas uma correção em área localizada na superfície do revestimento pela aplicação de um material betuminoso.

Segundo Balbo (1997) os remendos são pequenas áreas reparadas, apresentando características físicas diferentes à superfície asfáltica original, podendo ter forma de quadrilátero bem definido ou irregular. O autor descreve que os remendos evidenciam intervenções corretivas no pavimento, por motivos de que existam afundamentos, escorregamentos, trincas interligadas, buracos, etc.

1.6 SISPAV

Segundo Franco (2007) o *Software* SisPav tem como objetivo de auxiliar na análise e dimensionamento de pavimentos conforme a conceituação ao estado da arte da mecânica dos pavimentos, tendo um interface fácil de utilização e entrada de dados simplificada e com valores sugeridos para fins de anteprojeto.

Para executar uma análise é necessário entrar com as propriedades das camadas que envolve o pavimento, condições do clima da região e o tráfego por configuração de eixo na qual o pavimento será solicitado, podendo também, visualizar ou alterar os modelos matemáticos na qual são calculados as deformações permanentes e a vida de fadiga do pavimento. Os resultados são emitidos através de gráficos e tabelas podendo serem exportadas para planilhas do *Microsoft Excel* ou *Word*.

Segundo Ribas (2010) o propósito da criação deste programa é contribuir para o dimensionamento mecanístico-empírico de estruturas de pavimentos asfálticos e ainda foi elaborado um conjunto de programas anexados ao Sispav para a análise da vida útil do projeto, o de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC), o de Análise por Elementos Finitos Tridimensional (EFin3D) e um método de retroanálise do pavimento.

2 METODOLOGIA

2.1 CLASSIFICAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa pode ser classificada como estudo de caso.

Quanto aos procedimentos é uma pesquisa descritiva, envolve o uso de técnicas padronizadas e coleta de dados. Os procedimentos técnicos foram executados em campo, com análise e coleta de dados no local do estudo.

Do ponto de vista da forma de abordagem a pesquisa pode ser classificada como explicativa, na qual visou explicar os fatores que contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

2.2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO

O estudo de caso foi realizado na BR-285 onde tem seu início em Araranguá – SC e atravessa a serra e o planalto gaúcho com extensão de 674,5 km. Passa por cidades como Vacaria, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Carazinho, Ijuí, São Luiz Gonzaga e termina em São Borja (fronteira com a Argentina). Essa rodovia tem grande importância para o escoamento de produtos no Mercosul por cruzar o Estado rio grandense de Leste a Oeste.

Segundo Canabarro (2004) a plataforma de terraplenagem executada é de 12 m, com pista de rolamento de 7 m e acostamento de 2,5 m. A estrutura do pavimento é formada por sub-base de macadame hidráulico, brita graduada ou macadame betuminoso, com espessuras da ordem de 20 cm; de base de macadame betuminoso, com espessura de 10 cm e revestimento de 5 a 15 cm de CBUQ.

Especificamente a pesquisa foi realizada em Coronel Barros – RS onde está sendo executada uma travessia urbana na BR-285/RS. Essa obra está localizada entre os km 474 + 450 ao 477 + 355 totalizando uma extensão de 2.905 metros contendo ruas laterais paralelas à BR, interseções, passeios, sinalizações e obras de arte.

O empreendimento é de competência do governo federal, executado pelo DNIT. Como objetivo, a construção dessa travessia urbana visa facilitar o acesso dos usuários da rodovia à cidade ou vice-versa; separar o trânsito dos munícipes do

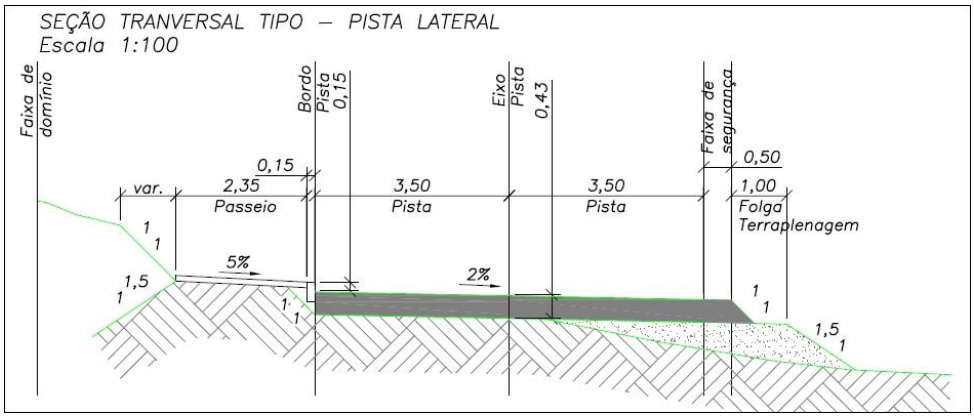
longo curso da rodovia através das marginais; permitir a travessia da rodovia sem interferi-la através de uma passagem inferior; entre outros benefícios que o empreendimento trará à sociedade local.

A análise dos dados objetos deste trabalho foi realizada em uma das vias laterais que serviu de desvio do tráfego da pista central no segmento do km 475 + 050 ao 475 + 520 que foi interrompido para a execução de uma Passagem Inferior (ANEXO A).

2.2.1 Execução do Trecho Estudado

O segmento do desvio é constituído por uma plataforma de terraplenagem de 8 m contendo duas faixas de rolamento de 3,5 m cada, conforme o corte transversal da pista (figura 11).

Figura 11 – Plataforma do pavimento do desvio



Fonte: Projeto Geométrico Travessia Urbana Coronel Barros (2010).

Os pavimentos constituintes do empreendimento foram dimensionados através do volume médio diário (VDM), ou seja, a quantidade de carros que transitam por dia sobre as vias que se configura em um número equivalente de operações de um eixo padrão para um determinado período (número N), pelo método do DNER (atual DNIT) acrescido do CBR do local tendo como verificação e adequação o método Mecanístico para dimensionamento de pavimentos da República Sul-Africano. O número N de projeto da BR-285/RS no segmento em estudo foi calculado pelos fatores de equivalência do USACE (*United States Army Corps of Engineers)* resultando em um valor de 2,9 x 10^7 para a pista principal e para as vias laterais 7,8 x 10^5, ambos para um período de 10 anos.

Para obter um melhor aproveitamento dos resultados da pesquisa procurou-se acompanhar a execução de todas as camadas do pavimento e conhecer as principais características dos materiais utilizados. Para isso realizaram-se ensaios laboratoriais, caracterizando os materiais por sua definição mecânica, granulométrica e volumétrica.

Para a caracterização do material constituído no subleito utilizou-se o ensaio de granulometria por peneiramento (NBR 6457/ABNT); curva de compactação (Proctor – NBR 7182/86); expansão por saturação – Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895) e limites de Atterberg (LL – NBR 6459/84; LP – NBR 7180/84).

A camada de sub-base foi executada com macadame seco com rocha de origem basáltica variando a granulometria entre 2,5 até 5 polegadas, seus vazios preenchidos com material de enchimento e compactada.

Na camada de base, utilizou-se BGS, onde sua caracterização deu-se através dos ensaios de granulometria por peneiramento (NBR 7182/82); curva de compactação (Proctor – NBR 7182/86) e Índice de Suporte Califórnia (NBR 9885/87).

O material para a camada de revestimento foi o CAUQ e para sua caracterização foi submetido aos ensaios de massa específica (NBR 15619/08); ensaio de módulo de resiliência (DNER-ME 138/94), ensaio de resistência à tração por compressão diametral (NBR 15087/04), teor de betume da mistura asfáltica através do método extrator Soxhlet DNIT 2011 ME e dosagem Marshall.

A seguir (figura 12) é apresentado um relatório fotográfico das etapas acompanhadas da execução.

Figura 12 – Relatório fotográfico da execução do pavimento

1 – Regularização do subleito: terraplenagem

2 – Regularização do subleito: escarificação

3 – Regularização do subleito: escarificação

4 – Regularização do subleito: aeração

5 – Granulometria

6 – Camada de bloqueio

7 – Macadame: espalhamento

8 – Macadame: espalhamento

9 – Macadame: granulometria

10 – Macadame: enchimento

11 – Macadame: compactação

12 – Brita graduada simples

13 – Brita graduada simples: granulometria

14 – Revestimento: espalhamento

15 – Revestimento: espalhamento

16 – Revestimento: compactação

17 – Rua lateral (desvio): sentido leste a oeste

18 – Rua lateral (desvio): sentido oeste a leste

Fonte: Autoria própria (2013).

2.3 PLANEJAMENTOS DA PESQUISA

Este trabalho de pesquisa visou apresentar, através de dados coletados no projeto, normas, livros, artigos, trabalhos de conclusão de curso e dissertações, informações pertinentes ao tema do projeto, relacionado às patologias em pavimentação asfáltica, estudando o caso específico na BR-285 em Coronel Barros – RS.

2.3.1 Contagem de Tráfego

Para avaliar o desempenho e o risco de possíveis defeitos no pavimento como afundamentos e trincamentos por fadiga, é necessário tomar conhecimento da magnitude das cargas na qual o pavimento está sendo solicitado. Assim foi realizada uma contagem do tráfego no local do estudo para chegar aos resultados almejados neste trabalho. O levantamento foi executado mais precisamente no km 475+400 da BR-285/RS em Coronel Barros, sendo contadas as quantidades de veículos por sentido de fluxo e configuração de eixos conforme figura 13.

Os veículos rodoviários são de diversos tipos, sendo que alterações em suas características se refletem em modificações nos efeitos gerados sobre os pavimentos. Dessa forma, foi necessário realizar uma classificação detalhada dos veículos que trafegam na rodovia no que diz respeito as suas configurações de eixos, principalmente dos veículos comerciais.

Figura 13 – Ficha de contagem de tráfego

F 05 - Ficha de Contagem de Tráfego - Contagem Volumétrica - Horária

Instituição responsável:	Identificação do trecho:		
Estado:	Rodovia:		
Data da contagem:	Hora de início:	Hora de término:	
Local da contagem em marco quilométrico:		Posto:	
A Trecho:		B	Sentido: A → B ☐ / B → A ☐

TIPO DE VEÍCULO		CONFIGURAÇÃO	Horário	Total	Horário	Total
Moto						
Carro de passeio						
Utilitário, pick-up e furgão						
Ônibus (2 eixos)						
Ônibus (3 eixos)						
Caminhão médio	2C					
	3C					
	4C					
Caminhão semi-reboque	2S1					
	2S2					
	2S3					
	2S3					
	3S3					
Duplo semi-reboque	3S2S2					
Caminhão + reboque	2C2					
	2C3					
	3C2					
	3C3					
Treminhão	3C2C2					
Rodotrem	3S2C4					
Outros						

Fonte: DNIT (2010).

2.3.2 Previsões do Desempenho do Pavimento

A partir da coleta de dados referente às características dos materiais empregados na camada do pavimento, contagem do tráfego e conhecimento do clima, foram realizados cálculos utilizando modelos matemáticos e o *Software*

SisPav, visando prever o número de repetições da carga até o revestimento atingir o trincamento por fadiga e a deformação permanente.

Para chegar aos resultados foram identificados os módulos de resiliência das camadas do pavimento através do método de retroanálise pelo programa de dimensionamento de pavimentos SisPav.

2.3.3 Avaliação Textural

Antes e após de o trecho estudado ser solicitado pelo tráfego da BR, realizou-se a avaliação textural através do método da mancha de areia, identificando as características da macrotextura na mistura asfáltica. Nessa comparação foi identificado o desenvolvimento da aderência do revestimento, que é fundamental para a segurança dos veículos principalmente em dias chuvosos.

2.3.4 Avaliação Funcional

A avaliação do pavimento em relação ao desempenho funcional deu-se através do método da Avaliação Objetiva de Superfície, segundo o procedimento do DNIT 006/2003-PRO, por ser um método que classifica quase todas as patologias que possam ocorrer num pavimento, inclusive o ATR.

Essa análise seguiu a norma DNIT 006/2003-PRO, porém com uma alteração referente à distribuição das estações no decorrer do segmento em estudo, demarcando essas em 20 em 20 m nos dois sentidos por ser um trecho curto e melhorando a precisão dos resultados.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

Neste capítulo são apresentados os resultados dos trabalhos relatados na metodologia do projeto, analisando o comportamento do pavimento e descrevendo as consequências que o alto tráfego gerou no trecho do desvio da BR-285 em Coronel Barros – RS.

3.1 CONTAGEM DO TRÁFEGO

A contagem do tráfego realizada no local do estudo resultou em um VMD de 6371 veículos e valor do N de 5,8 x 10^7. Para chegar a estes resultados foram contadas as quantidades de veículos trafegados das 6:00 até as 22:00 do dia 27 de junho de 2013 numa quinta-feira, somando um valor total de 6249 veículos nos dois sentidos de fluxo para este período. E para chegar ao valor durante todo o período do dia, utilizou-se os dados da contagem de tráfego realizados pelo DNIT, através do programa CREMA 2, no ano de 2010 no posto 2 entre Ijuí e Santo Ângelo no km 475+560, bem próximo ao local estudado neste trabalho, onde foi contado o fluxo de veículos durante 24 horas nos sete dias da semana, sendo os veículos caracterizados por suas configurações de eixos.

Através da contagem do DNIT (2010) foi calculado o Fato Diário (FD) que corrige os volumes contados em um determinado período para a referência do dia de 24 horas. Como o período de contagem de tráfego realizado no dia 27 de julho de 2013 foi de 16 horas este fator é calculado através da equação 2:

Equação 2

FD = volume de 24 horas / volume de 16 horas (das 6 às 22 horas)

Onde o volume das 24 horas é o total de veículos contados em 2010 que trafegaram no mesmo dia da semana da contagem realizada em 2013 (quinta-feira), e o volume das 16 horas é o total de veículos que trafegaram em 2010 no mesmo dia e nas mesmas horas da contagem realizada em 2013.

Através deste fator é calculado o fluxo de veículos trafegados no dia, multiplicando-o pelo valor do período das 16 horas contadas, ou seja, o total de veículos trafegados das 6 às 22 horas.

Para chegar ao valor do VMD dos veículos foi calculado o FS que corrige os volumes obtidos nas pesquisas de campo, considerando-se o dia da semana em que estas foram realizadas. Para o cálculo do FS utilizou-se a equação 3, resultando o valor de 1,06.

Equação 3

FS = volume do dia da semana / volume médio da semana

Aplicando o valor do FS para o dia da contagem obtemos então o VMD, onde resultou em 6.371 veículos. O quadro 2 representa a quantidade de veículos por configuração de eixos e sentido de fluxo. Como mostra a figura 13, os veículos que um projeto de dimensionamento de pavimento considera são apenas os comerciais onde suas configurações são: 2C; 3C; 4C; 2S1; 2S2; 2S3; 3S3; 3S2S2; 2C2; 2C3; 3C2; 3C3 e 3S2C4, ignorando os veículos utilitários, de passeio e motos. Somando apenas os veículos comerciais resulta em uma quantidade de 2.491 para os dois sentidos de fluxo, ou seja, aproximadamente 39% do VMD.

O valor do VMD foi dividido por dois para separar a quantidade de veículos por sentido de tráfego, utilizando este valor nos cálculos de análise de fadiga e deformação permanente no *software* SisPav, que através da quantidade de eixos do VMD calcula o valor do N, ou seja, o número de repetições em um sentido de fluxo por um eixo padrão (8,2 toneladas) pelo método do DNER (atual DNIT) que utiliza os fatores de equivalência do USACE representados na tabela 2, resultando no valor de 7,42 x 10^7 para um período de dez anos.

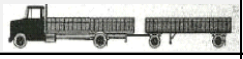
Tabela 2 – Equações FEC/USACE

Tipo de eixo	Faixa de cargas (tf)	FEC (P em tf)
Dianteiros simples e traseiros simples	0 – 8	$FEC = 2{,}0782 \times 10^{-4} \times P^{4{,}0175}$
	≥ 8	$FEC = 1{,}8320 \times 10^{-6} \times P^{6{,}2542}$
Tandem-duplo	0 – 11	$FEC = 1{,}592 \times 10^{-4} \times P^{3{,}472}$
Tandem-duplo	≥ 11	$FEC = 1{,}528 \times 10^{-6} \times P^{5{,}484}$
Tandem-triplo	0 – 18	$FEC = 8{,}0359 \times 10^{-5} \times P^{3{,}3549}$
Tandem-triplo	≥ 18	$FEC = 1{,}3229 \times 10^{-7} \times P^{5{,}5789}$

P = Carga por Eixo.

Fonte: Manual de Reabilitação de Pavimentos do DNER (DNER, 1997).

Quadro 2 – Volume médio diário

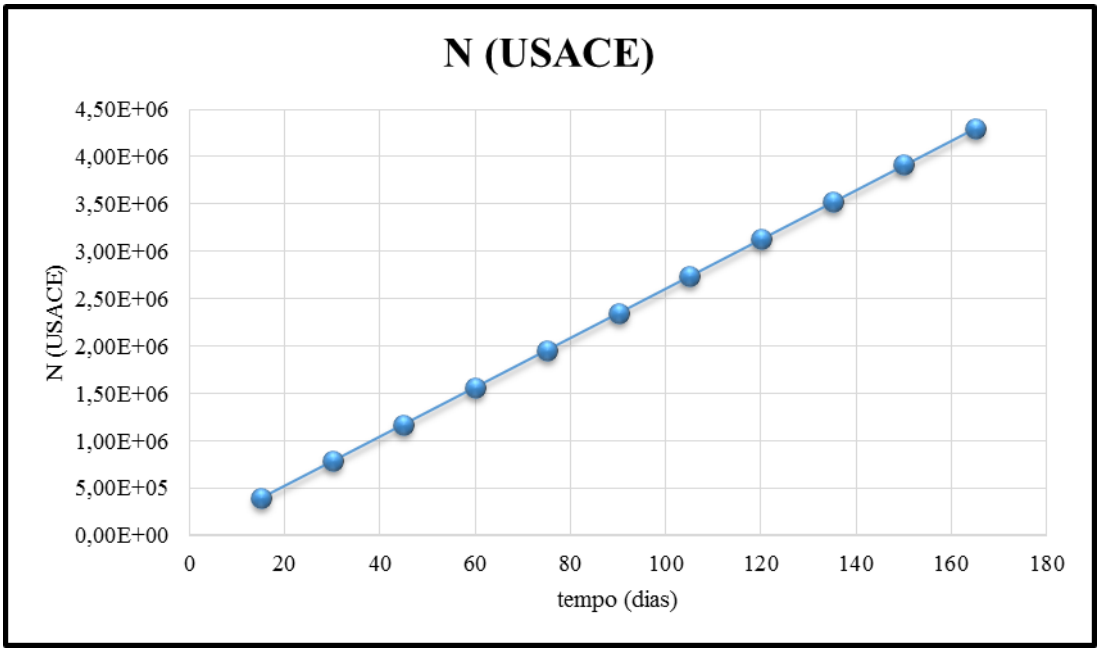
Tipo de veículo		Configuração	VMD	
			Direito	Esquerdo
moto			82	82
carro de passeio			1394	1340
Utilitário, pick up e furgão			489	492
Ônibus (2 eixos)			38	43
Ônibus (3 eixos)			25	27
caminhão médio	2C		208	212
	3C		321	312
	4C		12	9
Caminhão semi-reboque	2S1		25	18
	2S2		82	53
	2S3		172	179
	3S3		282	274
Duplo semi-reboque	3S2S2		58	99
Caminhão + reboque	2C2		0	0
	2C3		3	1
	3C2		0	7
	3C3		0	1
Rodotrem	3S2C4		10	8
Bitrem			7	3
∑ de veículos			3210	3161
		TOTAL	**6371**	

Fonte: Autoria própria (2013).

Através da discriminação dos veículos apresentados no quadro 2 foram somadas as quantidades de eixos por configuração e aplicados os fatores de equivalência do USACE, calculando assim, o número de eixo padrão trafegado no

trecho do desvio para os períodos quinzenais, apresentado por um gráfico ilustrado na figura 14.

Figura 14 – Número N para os períodos



Fonte: Autoria própria (2013).

3.2 AVALIAÇÃO MACROTEXTURA

A avaliação da macrotextura foi executada pelo método da mancha de areia conforme o item 2.3.3. Onde foram realizados quatro ensaios antes da liberação ao tráfego da BR-285 no segmento do desvio e após o período de 181 dias foi executado a repetição do ensaio nas mesmas estacas com o convicto de saber como as solicitações do tráfego interferem na aderência do revestimento.

Os quadros 3 e 4 apresentam respectivamente os resultados dos ensaios feitos nas estacas cinco dias antes da liberação do trecho do desvio ao tráfego e 181 dias após a liberação do desvio ao tráfego da BR-285.

Quadro 3 – Mancha de areia realizado antes da liberação ao tráfego

Local	P1	P2	P3	P4	média	Altura (Hm)	Classificação
km 475+520 LE	192	201	189	191	193,25	0,852	Grossa
km 475+400 LE	270	275	270	250	266,25	0,449	Média
km 475+260 LD	230	201	229	236	224	0,634	Média
km 475+080 LD	211	194	213	196	203,5	0,769	Média

Fonte: Autoria própria (2013).

Quadro 4 – Mancha de areia realizado 181 dias após a liberação do tráfego

Local	P1	P2	P3	P4	média	Altura (Hm)	Classificação
475+520 LE	181	181	190	176	182	0,961	Grossa
475+400 LE	200	230	220	205	213,75	0,697	Média
475+260 LD	215	230	220	235	225	0,629	Média
475+080 LD	245	245	250	250	247,5	0,520	Média

Fonte: Autoria própria (2013).

A classificação dos dados obtidos foi realizada pelo critério proposto por Pasquet (1968), representados na tabela 3, que indica os limites de velocidade em relação à macrotextura para condições mínimas de segurança. A comparação da macrotextura é ilustrada no gráfico da figura 15.

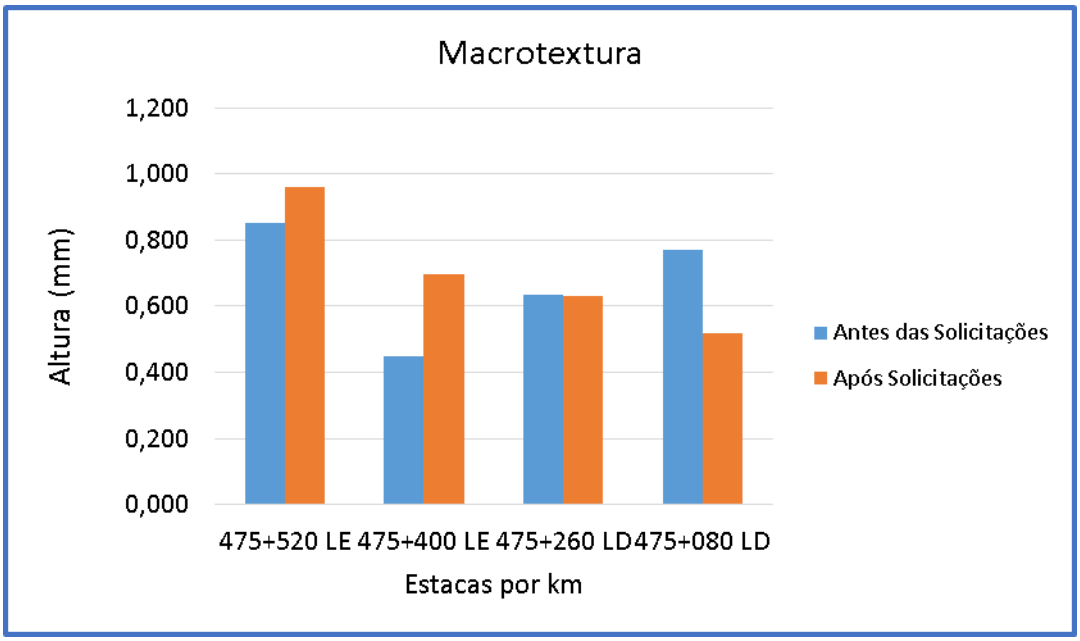
Tabela 3 – Limites de aplicação de revestimento segundo sua macrotextura

Textura superficial	Limites de valores de h_m (mm)		*Aplicação do revestimento*
	Mínimo	Máximo	
Muita fina	< 0,2		Não deve ser utilizado
Fina	0,2	0,4	Reservado p/ zonas urbanas V < 80 km/h
Média	0,4	0,8	Indicado para vias com 80 km/h < V < 120km/h
Grossa	0,8	1,2	Indicado para vias rápidas com V > 120km/h
Muito Grossa	> 1,2		Indicado em casos especiais

Fonte: Pasquet (1968).

A partir dos resultados, vemos que a classificação da textura superficial não foi alterada, apresentando ainda um bom comportamento de aderência, porém, analisando as alturas da mancha de areia é notório que houve uma interferência oriunda das solicitações do tráfego em todos os pontos ensaiados, provando que ao passar do tempo o revestimento sofre alterações em sua macrotextura. Levando em conta que a aderência pneu-pavimento é um dos fatores mais ressaltantes em questão de segurança do usuário devem-se fazer periodicamente essas avaliações e, se necessário, tomar as soluções cabíveis para que se possa ter um pavimento com rugosidade suficiente para gerar maior segurança.

Figura 15 – Comparação da macrotextura antes e depois das solicitações do tráfego



Fonte: Autoria própria (2013).

3.3 AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Neste item são discutidas, analisadas e ilustradas todas as patologias surgidas no trecho em estudo desde o início de sua utilização. Com o passar do tempo, pode-se perceber o surgimento de patologias no segmento do desvio, iniciando com fissuras até formarem-se em trincas longitudinais, transversais ou interligadas

Com o acompanhamento dos afundamentos nas trilhas de rodas, logo na primeira avaliação realizada 15 dias após liberação do tráfego sobre o desvio da BR, pode-se perceber uma alta evolução do ATR na estaca 475 + 460 LD, chegando a 16 mm, sendo que as demais ficaram em uma média de 3,7 mm. Na segunda análise, este mesmo ATR apresentou uma altura de 23 mm e acompanhado por trincas interligadas do tipo “couro de jacaré com erosão”. Uma das causas provenientes deste defeito foi a deficiente compactação na execução de um dreno profundo existente no local. Desta forma, a empresa encarregada da manutenção do desvio executou um tratamento das fissuras com 3 cm de espessura entre as

estacas 475 + 400 até a estaca 475 + 500, visando melhorar as condições de trafegabilidade sobre o pavimento e corrigir os defeitos.

Porém, após passarem-se aproximadamente 25 dias da execução deste recapeamento de 3cm, apareceram novamente as trincas interligadas no bordo da estaca 475+460 (LD), originadas pela reflexão das existentes na camada de revestimento anterior, como mostra na figura 15. Para este caso particular, onde surgiu este tipo de defeito, podemos concluir que é recomendável executar algum tipo de tratamento no revestimento antes de sobrepor uma nova camada a fim de minimizar e retardar a ocorrência deste fenômeno

Figura 16 – Reflexão de trincas na estaca 475 + 460 LD

Fonte: Autoria própria (2013).

Outro defeito ocorrido no pavimento que afetou muito no conforto de rolamento dos usuários sobre a pista está localizado no bordo do LE da estaca do km 475 + 100, onde surgiu com o passar do tempo um afundamento por consolidação na ordem de 76 mm, acompanhado por trincas longitudinais e transversais. O surgimento desta depressão pode ter vindo a ocorrerpela insuficiência de compactação das camadas durante a execução e a infiltração de água, vindo a enfraquecer o pavimento, outro fator que contribuiu para com que as camadas viessem a afundar foi a localização em que se ocorreu, onde a concentração das cargas distribuem-se mais no bordo por ser em uma curva à esquerda (Figura 17).

Figura 17 – Afundamento local na estaca 475 + 100 LE

Fonte: Autoria própria (2013).

A Figura 18 ilustra uma foto tirada em um dia chuvoso, demonstrando o empoçamento de água nos afundamentos das trilhas de rodas ocasionados no pavimento do segmento do desvio na estaca 475 + 360. Os afundamentos, após 165 dias de medições, apresentaram uma altura média de 15,06 mm.

A Figura 19 revela os efeitos ocasionados pela fadiga. Várias patologias são encontradas na estaca 475 + 380 LE após 50 dias, aproximadamente, de intensas solicitações sobre o pavimento do desvio da BR. Neste local podemos identificar desgaste, trincas interligadas, trincas isoladas e após a evolução destas surgem as Panelas.

Figura 18 – Afundamentos nas trilhas de rodas

Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 19 – Patologias na estaca 475 + 380 LE

Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 20 – Panela

Fonte: Autoria própria (2013).

3.3.1 Índice de Gravidade Global

Através da avaliação objetiva realizada quinzenalmente num período de 165 dias, obteve-se a evolução do IGG. A execução desde procedimento foi dada nas estacas de 20 a 20 m em ambos os fluxos, localizando as patologias no pavimento e medidas as profundidade das trilhas de rodas. A terminologia dos defeitos seguiu a norma do DNIT 005-2003-TER.

Para a execução da avaliação foi utilizado uma treliça de alumínio, de 1,20 m de comprimento na base, dotada de uma régua móvel no centro para medir, em milímetros, as flechas das trilhas de rodas (figura 21) e a pintura das estações foi realizada com pincel e tinta acrílica, demarcando o eixo e o bordo (figura 22).

Figura 21 – Leitura das deformações

Fonte: Autoria própria (2013).

A norma DNIT 006/2003-PRO estabelece para pista simples a distribuição das estações a cada estaqueamento, intercalando em cada sentido de fluxo. Porém, como o segmento do desvio é relativamente curto, e querendo relatar mais precisamente as patologias, adotou-se realizar esta avaliação sem intercalar as estações, ou seja, avaliar todas as estacas em ambos os sentidos.

Figura 22 – Marcação das estações

Fonte: Autoria própria (2013).

Foram executados no total onze levantamentos e foram anotados todos os defeitos surgidos nas áreas demarcadas em um inventário, sempre de acordo com a norma DNIT 005/2003-TER. Para efeito de cálculos do IGG, foram calculadas as frequências absolutas (Fa) das trincas e relativas das trincas. A frequência absoluta corresponde ao número de vezes na qual a ocorrência foi verificada no pavimento e

a frequência relativa (Fr) é dada pela equação 4, onde n significa o número de estações inventariadas.

Equação 4

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

Os parâmetros adotados, em relação às trilhas de rodas, foram para pista simples que devem ser calculados a média e a variância das trilhas (TRE e TRI). Esses cálculos são efetuados pelas equações 5 e 6:

Equação 5

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n}$$

Equação 6

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

Ainda, deve-se considerar para a média aritmética das médias das trilhas de rodas e para a média aritmética das variâncias, um fator de ponderação, assim como os demais defeitos, segundo a norma DNIT 006/2003-PRO.

Entretanto, após o período de avaliação chegou-se aos resultados, com o objetivo de conferir o grau de degradação atingido pelo período de 165 dias, com isso, é definida a tabela 4, conceituando os valores através do quadro 1, descrito no item 1.3.2. Analisando o avanço do IGG, podemos ressaltar um impacto muito grande sobre o pavimento, causado pelo alto fluxo do tráfego, onde após um período de aproximadamente 30 dias, já aparecem as trincas por fadiga.

Tabela 4 – Valores de IGG para determinado período

Período do Levantamento em dias	IGG	Conceito	N (USACE)
15	15,54	ÓTIMO	3,91E+05
30	44,00	REGULAR	7,82E+05
45	60,65	REGULAR	1,17E+06
60	63,97	REGULAR	1,57E+06
75	92,18	RUIM	1,96E+06
90	110,47	RUIM	2,35E+06
105	116,96	RUIM	2,74E+06
120	119,64	RUIM	3,13E+06
135	120,91	RUIM	3,52E+06
150	131,58	RUIM	3,91E+06
165	132,02	RUIM	4,30E+06

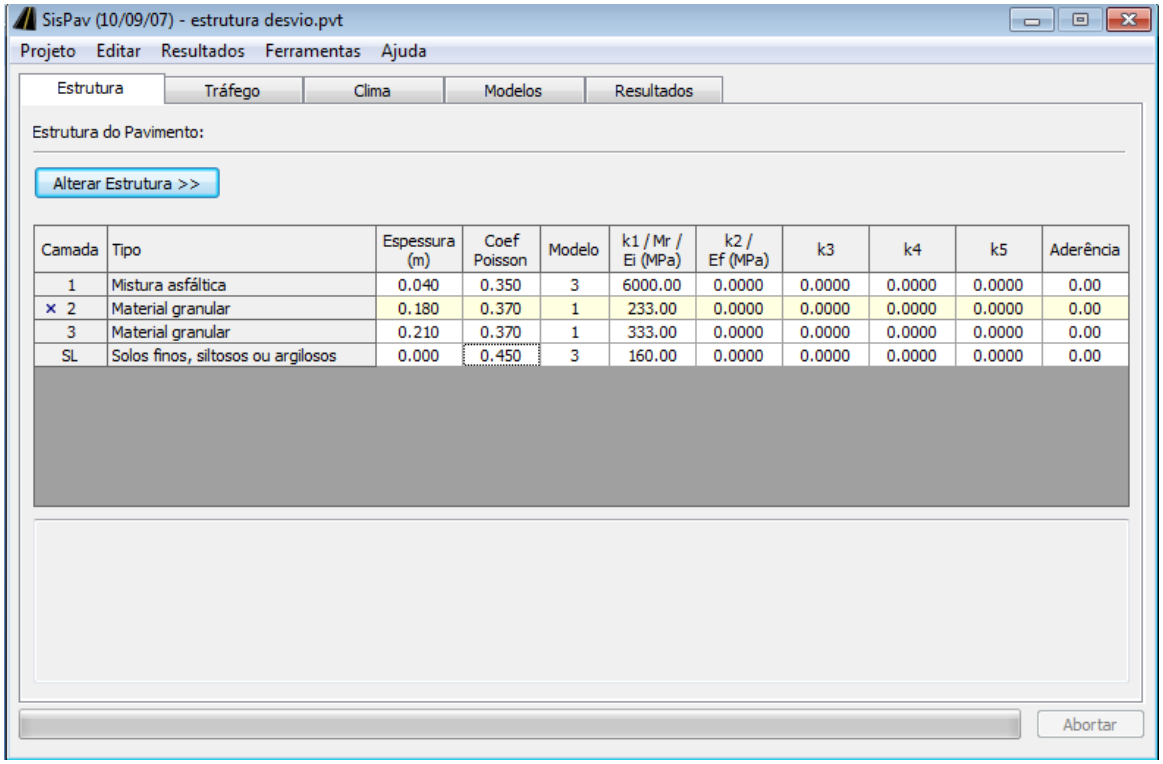
Fonte: Autoria própria (2013).

3.4 DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS

Pelo acompanhamento das patologias ocorridas durante as intensas solicitações de cargas sobre o pavimento do caso estudado, pôde-se chegar a modelos matemáticos que determinam os seus desenvolvimentos, como nos afundamentos nas trilhas de rodas e vida de fadiga. Através desses resultados, realizou-se uma comparação com os resultados dos modelos empíricos de previsão do desempenho, tanto para o acúmulo de deformações permanentes e trincamentos por fadiga.

Também, foi realizado a análise de desempenho do pavimento através do *software* SisPav, desenvolvido por Franco (2007). Para isso, deve-se apresentar ao programa uma série de dados, como a estrutura do pavimento bem como as características dos materiais utilizados na execução, dados do tráfego por configuração de eixo e o clima da região. A seguir são apresentadas as três telas do programa ilustrando a entrada de dados.

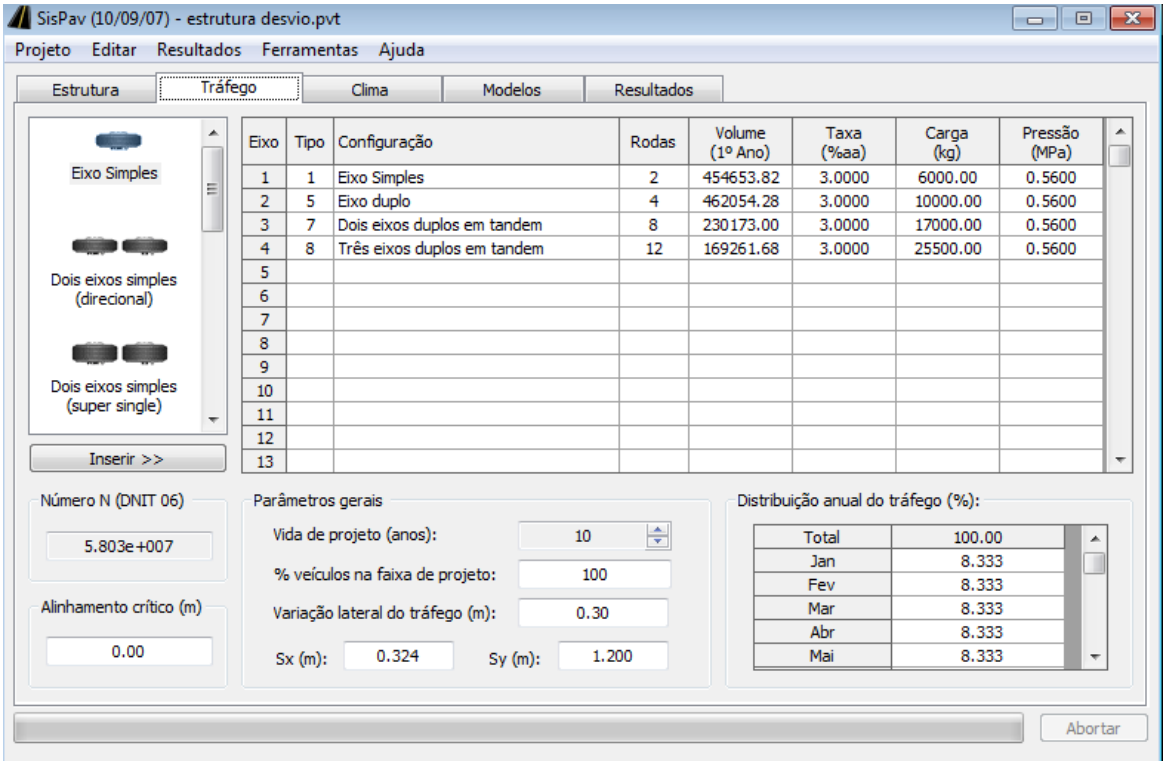
Figura 23 – Estrutura do pavimento



Camada	Tipo	Espessura (m)	Coef Poisson	Modelo	k1 / Mr / Ei (MPa)	k2 / Ef (MPa)	k3	k4	k5	Aderência
1	Mistura asfáltica	0.040	0.350	3	6000.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
× 2	Material granular	0.180	0.370	1	233.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
3	Material granular	0.210	0.370	1	333.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00
SL	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	3	160.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00

Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 24 – Dados do tráfego

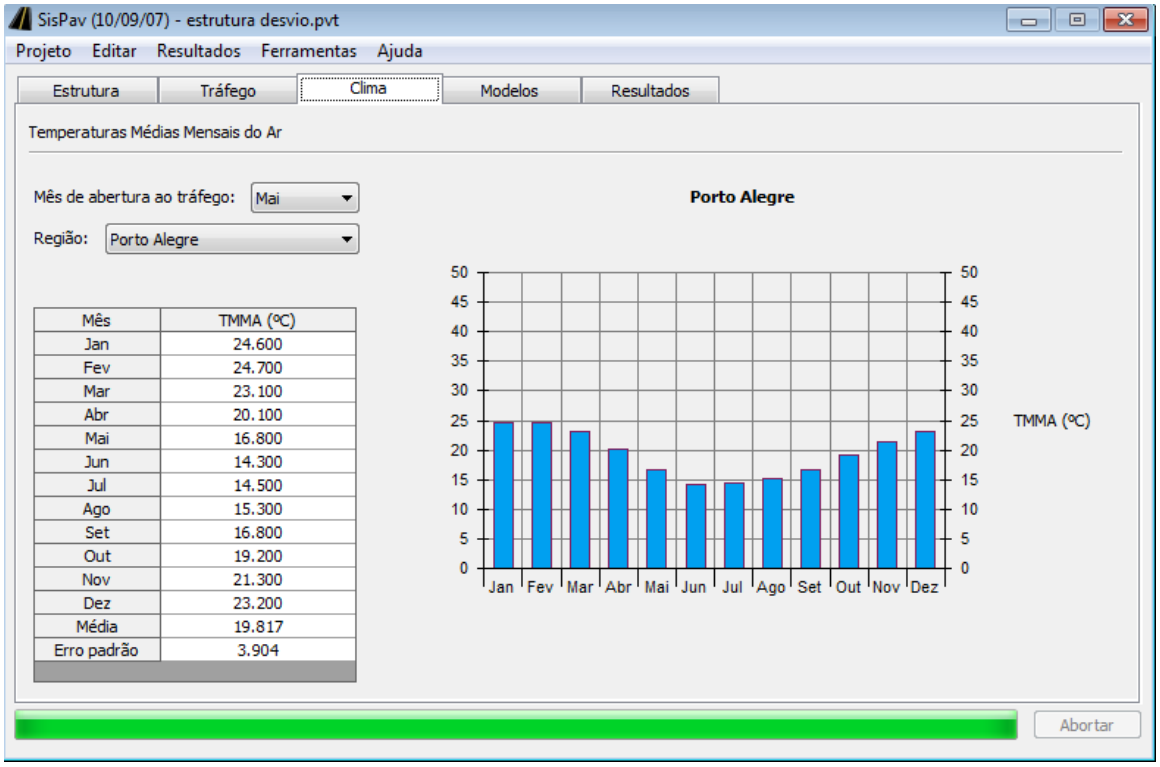


Eixo	Tipo	Configuração	Rodas	Volume (1º Ano)	Taxa (%aa)	Carga (kg)	Pressão (MPa)
1	1	Eixo Simples	2	454653.82	3.0000	6000.00	0.5600
2	5	Eixo duplo	4	462054.28	3.0000	10000.00	0.5600
3	7	Dois eixos duplos em tandem	8	230173.00	3.0000	17000.00	0.5600
4	8	Três eixos duplos em tandem	12	169261.68	3.0000	25500.00	0.5600
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

Total	100.00
Jan	8.333
Fev	8.333
Mar	8.333
Abr	8.333
Mai	8.333

Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 25 – Clima da região



Mês	TMMA (ºC)
Jan	24.600
Fev	24.700
Mar	23.100
Abr	20.100
Mai	16.800
Jun	14.300
Jul	14.500
Ago	15.300
Set	16.800
Out	19.200
Nov	21.300
Dez	23.200
Média	19.817
Erro padrão	3.904

Fonte: Autoria própria (2013).

Para se chegar aos valores de Módulo de Resiliência das camadas, dado necessário para calcular a deformação permanente e vida de fadiga, foi realizada pelo Aluno de Mestrado da UFSM Engenheiro Maurício Conceição o levantamento da bacia de deformação (DNER-ME 061/94) por viga Benkelman de 10 em 10 m, para posterior retroanálise dos módulos resilientes das camadas, realizada pelo DNIT de Cruz Alta, tais resultados serão apresentados em congressos futuramente. Os valores dos Módulos estão ilustrados do quadro 5 a seguir:

Quadro 5: Módulo de Resiliência das camadas do Pavimento do desvio

CAMADA	MATERIAL	MR (Mpa)
Revestimento	CBUQ	6000
Base	BGS	233
Sub-base	Macadame Seco	333
Sub-leito	Argila	160

Fonte: Autoria Própria (2013)

O ANEXO B apresenta o relatório com todos os dados de entrada para o cálculo do desempenho do pavimento através do SisPav, como a estrutura das camadas, características dos materiais, tráfego por configuração de eixo, temperaturas médias mensais do ar, modelos matemáticos utilizados para os cálculos, resumo dos danos e estimativa da deformação permanente e trincamento por fadiga.

3.4.1 Deformação Permanente

O trecho do desvio da BR possui uma extensão de aproximadamente 460 m, onde foi acompanhado o desenvolvimento dos afundamentos causados nas trilhas de rodas, executando as medições numa periodicidade de quinze em quinze dias, desde a liberação do tráfego da BR-285. As leituras das deformações foram feitas por estacas, em ambos os sentidos de fluxo, nos eixos e bordos. As profundidades dos afundamentos nas trilhas de rodas foram avaliadas através das medidas das flechas dadas por uma treliça metálica com base de 1,20 m.

Para o cálculo das médias das deformações foi realizada uma análise estatística dessas alturas, seguindo a norma DNIT 010/79-PRO. O item 4.2.8 desta norma descreve um método para a consideração dos valores medidos para que se tenha um resultado mais homogêneo e real do caso em questão.

A partir disto, tem-se elaborado um gráfico que ilustra a evolução dos afundamentos, com o objetivo de analisar esse desenvolvimento. Tendo em vista os resultados, podemos identificar que:

- Nos bordos do pavimento tem-se uma maior deformação nas trilhas de rodas, devido a menor largura de plataforma que se tem nestes locais em relação ao eixo;

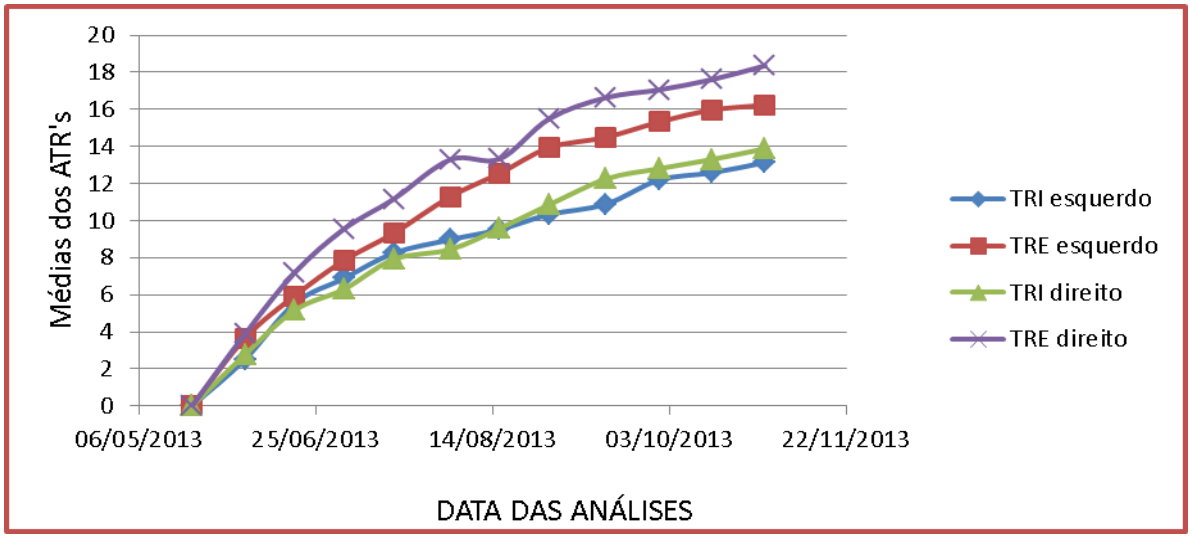
- Os afundamentos localizados em locais de aterro são maiores que nos locais de corte, possivelmente devido a diferença do grau de compactação da seção de terraplenagem entre ambas as partes;

- Nos locais onde foi realizado o ensaio de grau de compactação do CBUQ e que obteve resultado menor ou igual a 98%, o ATR apresentou em média, um valor de 25% a mais na deformação do que a média dos ATR’s;

- Após o período de 135 dias do pavimento sofrer as solicitações do tráfego da BR-285, totalizando um N de 3,52 x 10^6, 65% dos 72 ATR's medidos no desvio apresentaram valor maior ou igual a 13mm;

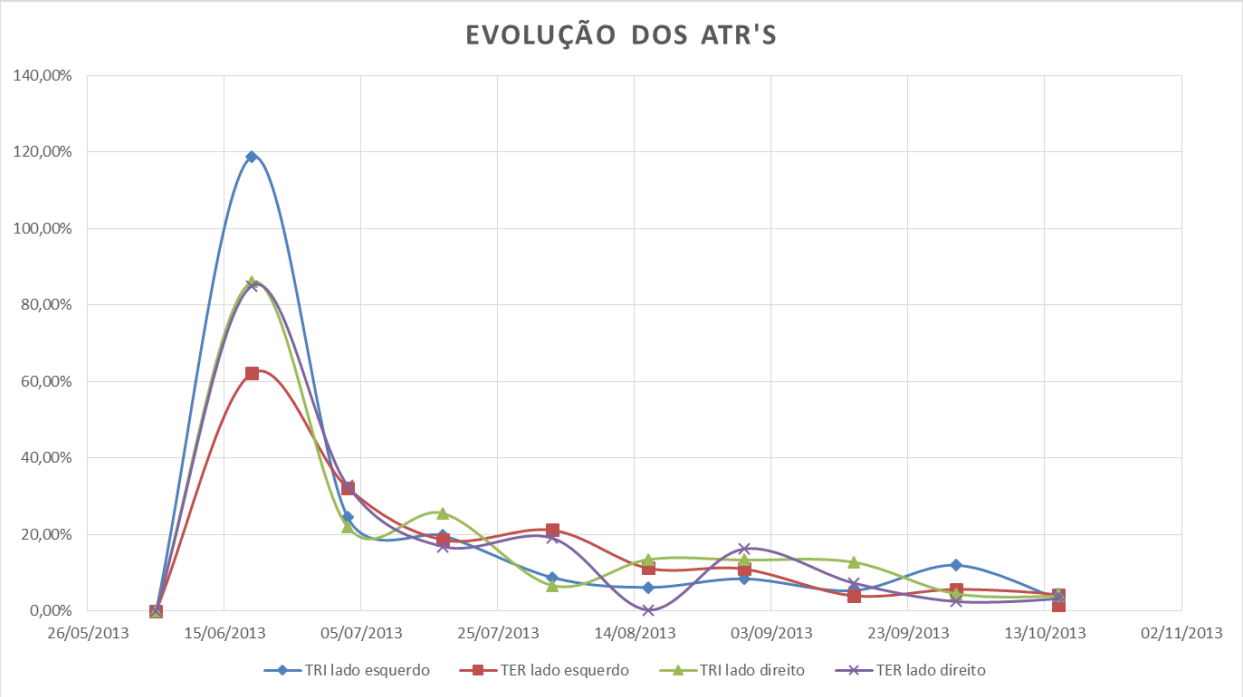
A figura 27 ilustra um gráfico constando a evolução dos afundamentos nas trilhas de rodas em relação aos afundamentos anteriores, a partir desses resultados, podemos concluir que a deformação, com o passar do tempo, começa a diminuir sua evolução, isso ocorre devido o pavimento sofrer uma acomodação oriunda das solicitações do tráfego, diminuindo o volume de vazios das camadas.

Figura 26 – Gráfico do desenvolvimento dos afundamentos nas trilhas de rodas



Fonte: Autoria própria (2013).

Figura 27 – Evolução dos afundamentos



Fonte: Autoria própria (2013).

Os valores de deformação permanente ocorridas no trecho do desvio foram comparados com modelos de previsão de desempenho, onde foram utilizados para chegar a valores de deformação permanente o software SisPav, que usa um modelo empírico de Uzan (1982) e parâmetros sugeridos com base em Cardoso (1987) representado na equação 7:

Equação 7

$$\frac{\varepsilon_p(N)}{\varepsilon_r} = \mu \cdot (N)^{-\alpha}$$

Onde:

E_p = deformação permanente

E_r = deformação específica resiliente (cm/cm)

N = número de repetição de cargas

μ e α = parâmetros experimentais

O resultado obtido através do cálculo do modelo de Uzan foi de 10,8 mm para um N de 4,3 x 10^6, onde o pavimento do desvio gerou em média 15,8 mm

para o mesmo N. Essa diferença pode ser devida às características dos materiais utilizados em ambos os pavimentos estudados e as diferenças climáticas, mas mesmo assim podemos concluir que com o resultado desta fórmula é coerente, pois apresenta uma considerável deformação precoce.

Os materiais utilizados na construção dos pavimentos são de uma imensa variedade de características, na qual a maioria dos modelos de deformação permanente é aplicada em desempenho do estado de tensão e do número de aplicações de carga. Porém, Barksdale (1972) apresenta um modelo que calcula a deformação permanente apenas pelo número de aplicações (N) em um determinado tipo de pavimento, que é o somatório das deformações parciais do conjunto das camadas constituídas. O afundamento de trilha de roda na superfície do revestimento é dado pela equação 8.

Equação 8

$$d_p^t = \sum_{i=1}^{n} (\varepsilon_p^i . h_i)$$

Onde:

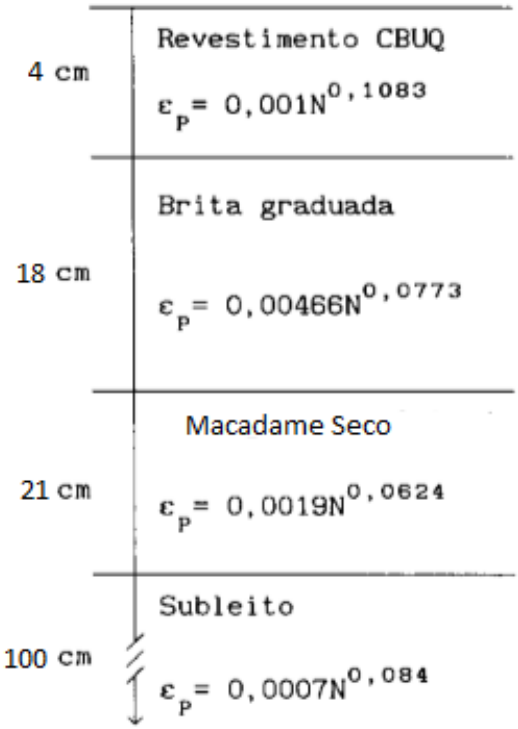
d_p^t = profundidade total da trilha de roda em função do número N e do estado de tensões

ε_p^i = deformação plástica média da i-nésima camada, calculada através dos modelos de deformação obtidos em laboratório

$.h_i$ = espessura da i-ésima camada

Para o cálculo da deformação permanente para cada camada foi utilizado o esquema proposta pela figura 28, que foi utilizada pelo estudo de Motta (1991) em sua tese de Doutorado, porém com diferentes espessuras das camadas

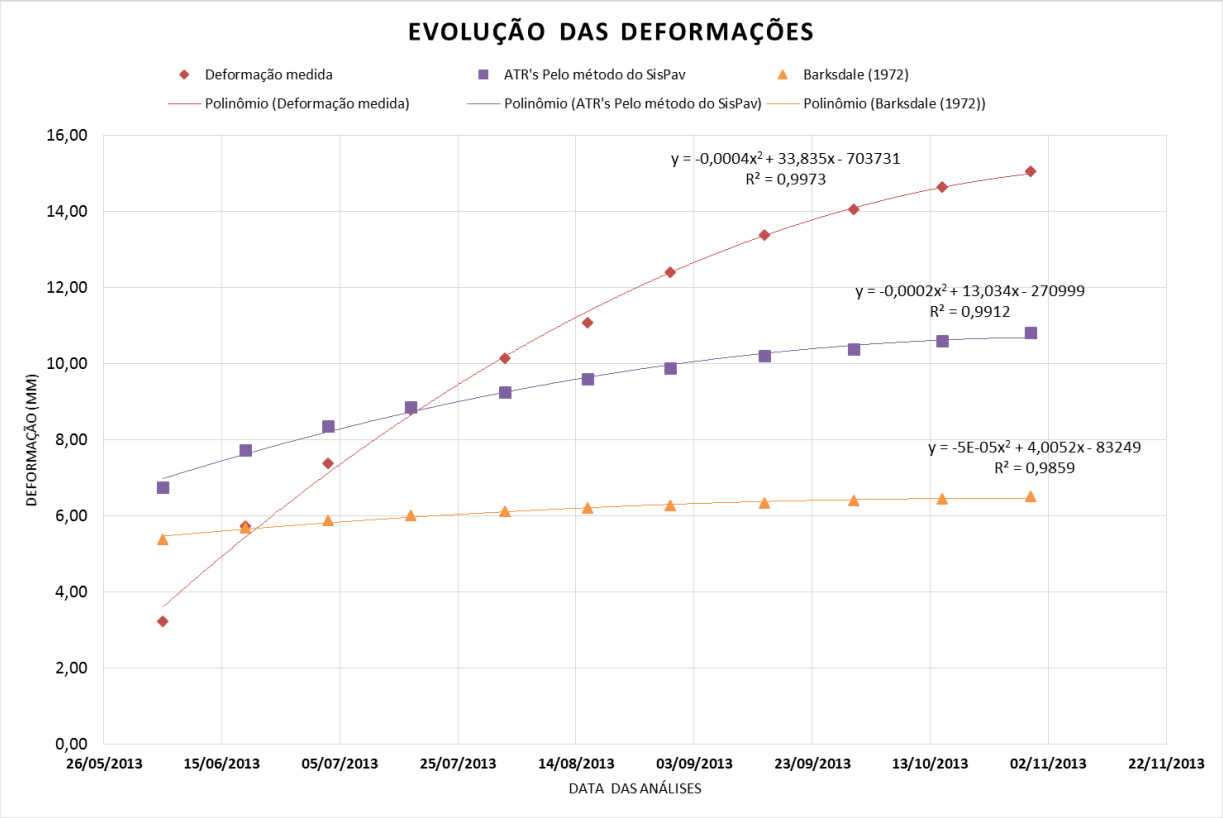
Figura 28 – Modelos de deformação por camada



Fonte: Modificado de Motta (1991).

A partir dos modelos apresentados foi realizada a comparação com a média das deformações permanentes mensuradas no desvio num período quinzenal para analisar a evolução do aumento desse fenômeno. A figura 29 ilustra o gráfico que contém a média das trilhas de rodas mensuradas no trecho do desvio junto com os valores das deformações dos modelos anteriormente vistos, para o mesmo período de tempo.

Figura 29 – Comparação das deformações ocorridas no desvio com os modelos de previsão



Fonte: Autoria própria (2013).

3.4.2 Vida de Fadiga

A fadiga aconteceu precocemente no pavimento do desvio, estimou-se que o trincamento começou primeiramente na parte inferior do revestimento sendo localizados em sua superfície após 30 dias de sua liberação ao tráfego, ou seja, com um N de 7,82 x 10^5, entre os estaqueamentos do km 475+400 ao 475+500. Para os demais estaqueamos a fadiga ocorreu um pouco mais tarde, a partir do N de 3,52 x 10^6, onde quase todas as estações analisadas apresentaram trincamentos.

Através de alguns modelos matemáticos, podemos chegar a valores e compará-los com o período na qual as trincas por fadiga começam a surgir no pavimento. Para isso foi utilizado a ferramenta AEMC do Software SisPav que calcula os valores de tensão, deformação e deslocamentos, entrando como base de dados os módulos de resiliência e coeficiente de Poisson das camadas, o tipo de carregamento que para o caso foi eixo duplo com 8,2 toneladas e pressão dos pneus com 0,56 Mpa.

Pinto (1991) estabeleceu através de ensaios de fadiga executados em laboratório a seguinte equação de fadiga para misturas asfálticas (R2 = 0,96 e N = 82) (equação 9):

Equação 9

$$N_{lab.} = 9{,}07 \times 10^{-9} \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{2{,}65} \left(\frac{1}{MR}\right)^{-0{,}033}$$

Onde:

N = vida de fadiga

Et = deformação específica resiliente (cm/cm)

MR = módulo de resiliência (kgf/m^2)

f = fator campo-laboratório definido por Pinto em seus estudos, f = 10^4

Franco (2007) obteve um modelo de fadiga com base em resultados de 54 ensaios de laboratório da COPPE que calcula o dano relativo à fadiga na base da camada de revestimento (equação 10):

Equação 10

$$N_f = fcl \cdot k_1 \cdot \varepsilon_t^{k_2} \cdot Mr^{k_3}$$

Onde:

N_f = vida de fadiga

fcl = fator campo laboratório (10^5)

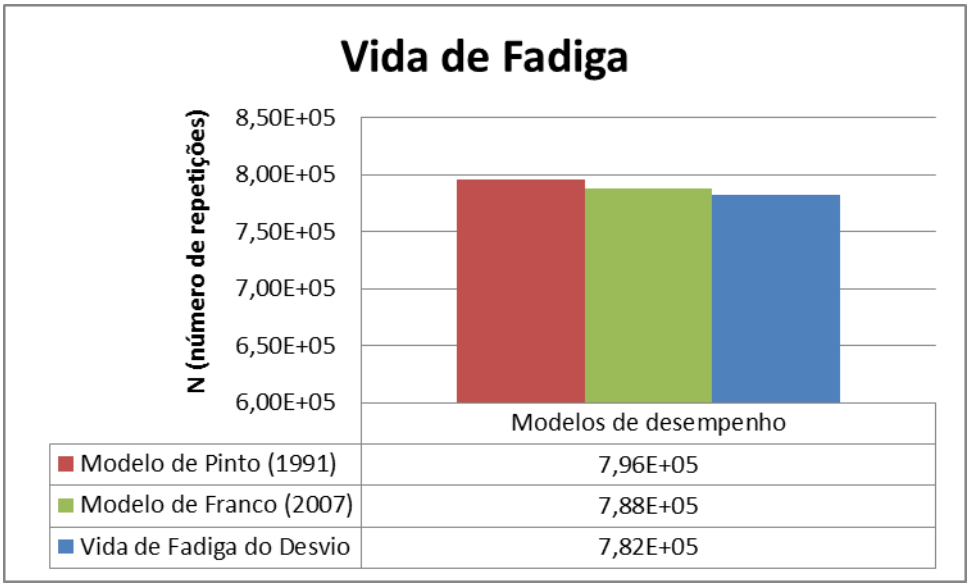
k_1, k_2 e k_3 = coeficientes de regressão

Mr = módulo de resiliência (mPa)

Et = deformação específica resiliente (cm/cm)

O gráfico representado na figura 30, ilustra os valores de N para a vida de fadiga do pavimento e a vida de fadiga calculada através dos modelos de Pinto (1991) e Franco (2007)

Figura 30 – Comparação da vida de fadiga do desvio com modelos de previsão



Fonte: Autoria própria (2013).

Através da comparação ilustrada na figura 30 observa-se uma relação dos valores muito próximos com o valor de vida de fadiga no desvio, isso se dev modelos de previsão serem elaborados por autores brasileiros, que utilizam em estudos materiais, clima e condições de estruturas semelhantes com as utilizadas na execução do trecho do desvio.

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar o comportamento de um pavimento dimensionado para um baixo volume de tráfego, sendo utilizado por um alto volume e a partir dos resultados gerados do acompanhamento podemos concluir que:

- É de grande relevância ter conhecimento do VMD para realizar os projetos de dimensionamento de uma rodovia ou até mesmo um projeto de restauração do pavimento, aumentando a vida de serventia e diminuindo o aparecimento precoce de patologias como ocorrido no desvio da BR-285 no km 475 + 050 ao km 475 + 520;
- Deve ser levada em conta a avaliação periódica da aderência do revestimento pelos gestores responsável pela manutenção das rodovias, como medida de prevenção ou redução de acidentes, identificando os pontos que apresentam desgaste ou polimento da textura superficial permitindo assim ações corretivas;
- A avaliação objetiva do segmento do desvio apresentou um aumento muito rápido do IGG ao decorrer do tempo, alcançando precocemente a vida de fadiga, desenvolvendo deformações permanentes consideráveis nas trilhas de rodas e várias patologias, devido a fragilidade do pavimento comparando as solicitações geradas pelo tráfego da BR-285;
- Pode-se analisar que através dos modelos matemáticos para previsão do desempenho dos pavimentos flexíveis, obtemos uma noção de como as camadas irão se comportar em função do tráfego num determinado tempo, sendo isso muito útil para o gerenciamento das rodovias na qual

pode-se ter uma previsão do período que deverão serem realizados reparos e reconstituições, gerando menos custos e fornecendo segurança aos usuários.

- O controle da compactação do revestimento aplicado na camada superficial do pavimento é fundamental, pois sua insuficiência acarreta em um afundamento precoce, assim como nas demais camadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo na pista principal da BR-285, no mesmo trecho, acompanhando as deformações permanentes, vida de fadiga e patologias, para obter uma comparação dos efeitos gerados nos pavimentos devido às solicitações do alto tráfego.
- Executar acompanhamento em outros segmentos, realizando os levantamentos deflectométricos por camada, verificando o grau de compactação e classificando os materiais utilizados, para se ter uma precisão maior nos resultados.
- Realizar a previsão do desempenho de pavimentos através de outros modelos matemáticos calculados para camadas com características semelhantes às do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM E 303 – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester**. USA, 2008.

ASTM E 965 – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique**. USA, 2006.

BALBO, J. T. **Pavimentos asfálticos**: patologias e manutenção. São Paulo: Plêiade, 1997. 103p.

BARKSDALE, R. D. **Laboratory evaluation of eutting in base course materials**: third international conference on the sthuctutal design of asphalt pavement. Michigan, 1972.

BERNUCCI, L. B. *et al*. **Pavimentação asfáltica**: formação para engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008. 504p.

CANABARRO, F. Missões. **Estradas**, Porto Alegre, ano 4, n. 7, nov. 2004.

CNF – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias**. 2012. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Documents/Arquivos%202012/resumo_pd_2410.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2013.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Avaliação de pavimentos flexíveis e semi-rígidos por meio de levantamento visual contínuo de defeitos de superfície**. São Paulo, 2006. 28p. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/IP-DE-P00-004_A.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2013.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Pavimentação**: sub-base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro, 1997. 7p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/dner-es301-97.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2013.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**: procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 10p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT006_2003_PRO.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2013.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos**: terminologia. Rio de Janeiro, 2003. 12p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNIT0052003TER.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2013.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE: **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2013.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Pavimentos flexíveis**: reforço do subleito. Rio de Janeiro, 2009. 7p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/normas/PAV%20Flexiveis20Regularizacao%20do20Subleito.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2013.

FRANCO, A. C. P. F. **Método de dimensionamento mecanístico empírico de pavimentos asfálticos**: SISPAV. 2007. 315p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Distress Identification Manual:** For the Long-Term Pavement Performance Program. U.S Departament of Transportation, Julho de 2003. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltpp/reports/03031/03031.pdf>. Acesso em 17 Dez. 2013.

GILLESPIE, T. D. **Everything you always wanted to know about the IRI, but were afraid to ask!** Nebrasca: Road Profile Users Group Meeting, 1992.

PASQUET, A. **Campagne nationale de glissance 1967 em France**: colloque international sur la glissance et la sécuritté de la circulation sur routes moullées. Berlin, 1968.

PINTO, S. **Estudo do comportamento à fadiga de misturas betuminosas e aplicação na avaliação estrutural de pavimentos**. 1991. Tese DSc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária**: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 2. ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002. 259p.

RIBAS, Jeancarlo. **Avaliação de desempenho de um trecho experimental de pavimento flexível com asfálto-borracha na BR285/RS.** 2010, Trabalho de

Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Ijuí. 2010.

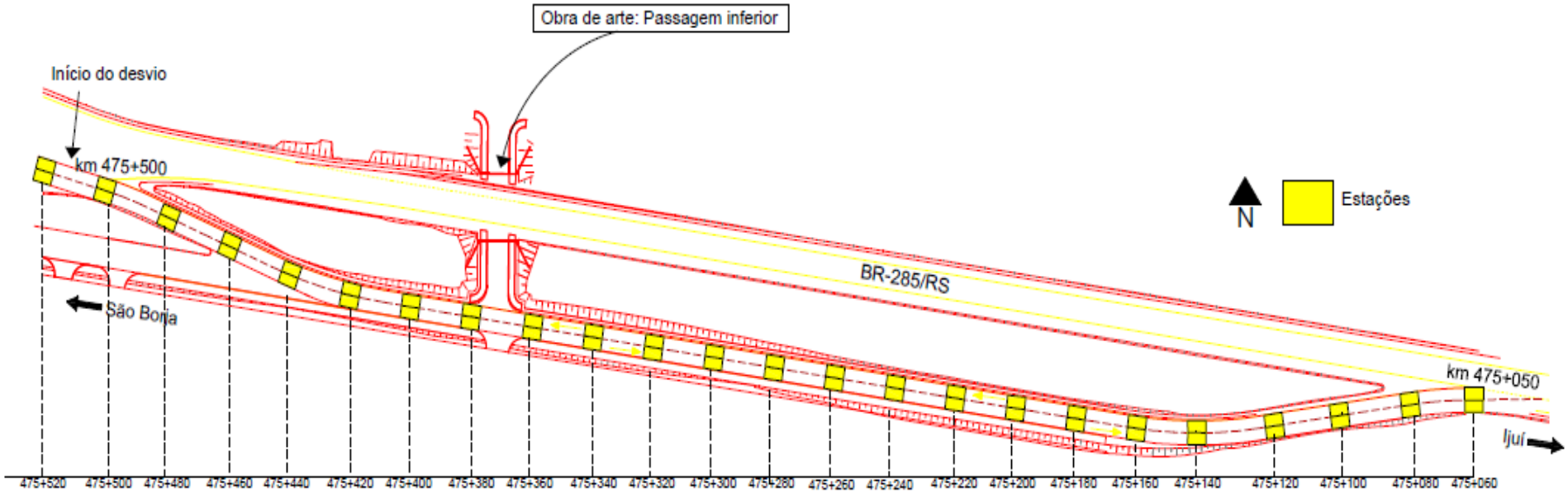
SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. **The little book of profiling**: basis information bout measuring and interpreting road profiles. The regent of the University of Michigan, 1998. 98p.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2001. 671p. v. 2.

ANEXOS

ANEXO A

Representação gráfica do desvio da BR-285/RS, Segmento km 475+050 ao 475+500
Travessia urbana de Coronel Barros-RS



ANEXO B

SisPav

v. 10/09/07

Relatório Técnico
Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos

O programa faz parte da Tese de Doutorado desenvolvida por:
Filipe Augusto Cinque de Proença Franco
email: filipefacpf@yahoo.com.br

Dimensionamento

Seção do pavimento dimensionada com 2532.89% de dano relativo a:
Fadiga na base do revestimento asfáltico (eixo Y)
Nível de confiabilidade de 50%
Vida de serviço estimada em 0.4 Anos

Considerações:

Dano relativo à deflexão na superfície:	Não Avaliado
Dano relativo à tensão admissível no topo do subleito:	Não Avaliado

Modelos:

Fadiga de Misturas Asfálticas

- Fonte: Franco (2007)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 10000.00
- Coeficiente de Regressão (k1): 1.904e-6
- Coeficiente de Regressão (k2): -2.821
- Coeficiente de Regressão (k3): -0.740
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas de solo-cimento

- Fonte: Ceratti (1991)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Equação do modelo (1 ou 2): 2
- Coeficiente de Regressão (a): 125.63
- Coeficiente de Regressão (b): -14.92
- Erro padrão (%): 40

Fadiga de misturas tratadas com cimento

- Fonte: Trichês, G. (1994)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (a): 14.306
- Coeficiente de Regressão (b): -15.753
- Erro padrão (%): 40

Deflexões admissíveis para determinada vida de Fadiga

- Fonte: Preussler, E.S. (1993)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 100.00
- Erro padrão (%): 40

Deformação permanente de Misturas Asfálticas

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.300
- Coeficiente de Regressão (a): 0.700

Deformação permanente de Materiais Granulares

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos Lateríticos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.150
- Coeficiente de Regressão (a): 0.950

Deformação permanente de Solos finos, siltosos ou argilosos

- Fonte: UZAN (1982)
- Fator Campo-Laboratório (fcl): 1.00
- Coeficiente de Regressão (μ): 0.500
- Coeficiente de Regressão (a): 0.800

Fatores Climáticos Regionais

Local: **Porto Alegre**
Mês de Abertura do Tráfego: Maio
Temperatura Média Anual do Ar: 19.817ºC

Temperaturas Médias Mensais do Ar - TMMA (ºC)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
24.600	24.700	23.100	20.100	16.800	14.300	14.500	15.300	16.800	19.200	21.300	23.200

Estrutura do Pavimento

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
1	Mistura asfáltica	0.040	0.350	mod = 3 k1 = 6000.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Tipo de CAP = CAP 50/70 Penetração 100g 5s 25ºC 0,1mm = 60.0 Ao (visc x T) = 11.123 VTSo (visc x T) = -3.713 Volume de vazios (%) = 3,85 Teor de asfalto (%) = 4,89 RBV (%) = 76,8 Faixa Granulométrica (DNIT) = Faixa B % passando #3/4 = 100 % passando #3/8 = 67,74 % passando #4 = 44,72 % passando #200 = 5,65 Massa específica (kg/m³) = 2,599

	Material	Espessura (m)	Coef Poisson	Módulo (MPa)	Parâmetros
2	Material granular	0.180	0.370	mod = 1 k1 = 233.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Identificação = BGS Faixa granulométrica = C Umidade ótima (%) = 6,2 Massa específica (kg/m³) = 2486 Energia de compactação = moderada Grau de compactação (%) = 100
3	Material granular	0.210	0.370	mod = 1 k1 = 333.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Identificação = MACAD. SECO Massa específica (kg/m³) = 1800 Energia de compactação = moderada Grau de compactação (%) = 100
4	Solos finos, siltosos ou argilosos	0.000	0.450	mod = 3 k1 = 160.000 k2 = 0.000 k3 = 0.000 k4 = 0.000 k5 = 0.000	Classificação (DNIT) = Tipo III CBR (%) = 9.22 % Silte na fração fina #200 = 80.0 Identificação = A-5 (HRB) Umidade ótima (%) = 27.1 Massa específica (kg/m³) = 1426 Energia de compactação = moderada Grau de compactação (%) = 100

Dados do Tráfego

Variação lateral do tráfego: 0.30m
% de veículos na faixa de tráfego: 100%
Alinhamento crítico: 0.00m
Distância média entre rodas (SX): 0.324m
Distância média entre eixos (SY): 1.200m

Distribuição anual do tráfego (%)

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333	8.333

Tráfego previsto

	Tipo	Rodas	Volume	Taxa	Peso (kgf)	Pressão (MPa)
1	1 - Eixo Simples	1	454654	3.000	6000.00	0.560
2	5 - Eixo duplo	2	462054	3.000	10000.00	0.560
3	7 - Dois eixos duplos em tandem	4	230173	3.000	17000.00	0.560
4	8 - Três eixos duplos em tandem	6	169262	3.000	25500.00	0.560

Resumo dos danos

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
1	1 - Eixo Simples	0.00	0.00	215.60	355.33	0.00	0.00
2	5 - Eixo duplo	0.00	0.00	140.05	804.27	0.00	0.00
3	7 - Dois eixos duplos em tandem	0.00	0.00	133.23	652.24	0.00	0.00

	Tipo	Deflexão Máxima	Tensão Admissível no SL	Fadiga Revestim Betum X	Fadiga Revestim Betum Y	Fadiga Camada Cimentada X	Fadiga Camada Cimentada Y
4	8 - Três eixos duplos em tandem	0.00	0.00	144.90	721.05	0.00	0.00
	Totais acumulados (%)	**0.00**	**0.00**	**633.78**	**2532.89**	**0.00**	**0.00**

Estimativa de deformação permanente

Deformação permanente acumulada estimada = 3.992cm
Acima do limite aceitável de 1.25cm

Deformação permanente detalhada por eixo e por camada do pavimento (cm)

	Eixo Tipo	Cam 1	Cam 2	Cam 3	Cam 4	Total Eixo
1	1 - Eixo Simples	0.005	0.006	0.003	0.201	0.215
2	5 - Eixo duplo	0.009	0.009	0.005	2.659	2.682
3	7 - Dois eixos duplos em tandem	0.013	0.016	0.008	0.420	0.457
4	8 - Três eixos duplos em tandem	0.018	0.023	0.012	0.586	0.638
	Totais acumulados	0.044	0.054	0.027	3.866	3.992

Bacia de deflexão para controle no campo

Equipamento = Viga Benkelman
Raio do Carregamento = 0.108m
Pressão do Carregamento = 0.560m

Deflexões em 0.01mm

Sensor 1 0.000m	Sensor 2 0.200m	Sensor 3 0.300m	Sensor 4 0.450m	Sensor 5 0.600m	Sensor 6 0.900m	Sensor 7 1.200m	Sensor 8 1.500m
35.942	23.430	17.902	13.422	10.810	7.554	5.670	4.497