

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL
RAFAELLA ARAÚJO SILVA

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA RODOVIA DE MINAS GERAIS, POR MEIO
DO EQUIPAMENTO FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER**

FORMIGA – MG
2015

RAFAELLA ARAÚJO SILVA

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA RODOVIA DE MINAS GERAIS, POR MEIO
DO EQUIPAMENTO FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Dr. Paulo José Silva

FORMIGA – MG

S586 Silva, Rafaella Araújo.
Avaliação estrutural de uma rodovia de Minas Gerais, por meio do
[equipamento Falling Weight Deflectometer](#) / Rafaella Araújo Silva. –
2015.
104 f.

Orientador: Paulo José Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2015.

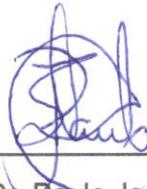
1. Rodovia. 2. Falling Weight Deflectometer. 3. Restauração. I. Título.

CDD 625.1

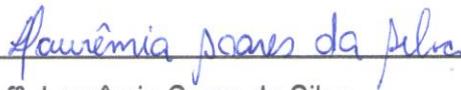
AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA RODOVIA DE MINAS GERAIS, POR MEIO
DO EQUIPAMENTO FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de
Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

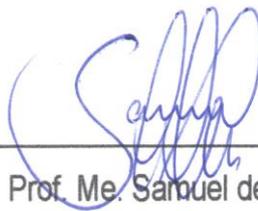
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Paulo José Silva
Orientador



Profª. Laurêmia Sores da Silva



Prof. Me. Samuel de Oliveira

Formiga, 11 de novembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por todas graças proporcionadas durante estes anos. A minha mãezinha Nossa Senhora Aparecida por me proteger e interceder sempre por mim.

A minha mãe Celia, meu exemplo de vida, por sempre me apoiar e ter estado ao meu lado durante todo esse tempo, não me deixando desistir. Obrigada pelos ensinamentos e por todo amor.

Ao meu pai Rafael, que jamais deixou de estar ao meu lado, mesmo com todos os acontecimentos que a vida nos proporcionou. Obrigada por todo carinho e amor que sempre teve comigo.

Ao Neimar por todo carinho, amor e cuidado dedicado nesses anos.

Aos meus professores, principalmente meu orientador Paulo José, por todos os ensinamentos compartilhados e disposição.

Aos amigos que fiz nessa caminhada, sou imensamente grata a todos vocês e sentirei muita falta de cada momento que passamos juntos.

A Consol, que forneceu os dados e proporcionou a realização deste trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

O valor do sistema rodoviário brasileiro é inquestionável, uma vez que se percebe o aumento em relação ao número de viagens e volume de cargas transportadas pelo país. A logística de escoamento da produção depende, diretamente, da malha rodoviária, sendo que sua qualidade influencia no preço do frete e, conseqüentemente, no custo final da produção, além de ser responsável pela avaliação positiva ou negativa de um segmento rodoviário. Dentre desse contexto, este trabalho procurou analisar a avaliação estrutural de uma rodovia utilizando o equipamento *Falling Weight Deflectometer*, descrevendo como foi feita a avaliação, o cálculo da nota da deflexão e a demonstração dos resultados obtidos. A metodologia adotada retratou a estrutura do pavimento, a avaliação estrutural do pavimento, os métodos de avaliação estrutural, os equipamentos utilizados e as técnicas de restauração para pavimentos asfálticos com problemas estruturais. Com os dados das deflexões levantados em campo, foi possível calcular as notas dos segmentos homogêneo nos anos de 2013 e 2014 e fazer um comparativo das notas, avaliando se houve melhoria estrutural do pavimento de um ano para o outro, e as razões dessa melhoria. Os resultados obtidos com a pesquisa permitiram concluir que quanto maior for a recuperação de um segmento, melhor será sua avaliação.

Palavras-chave: Rodovia. *Falling Weight Deflectometer*. Restauração.

ABSTRACT

The value of the road system in Brazil is unquestionable once realized the increasing number of travels and the volume of loads transported into the country. The flow of the logistics process depends directly on the highway network, and its quality influences the freight price and consequently the total cost of production. In addition to this, the quality is responsible for positive or negative evaluation of a road segment. In this context, this research seeks to analyze the structural evaluation of the highway using equipment called Falling Weight Deflectometer, describing how the evaluation was done, the calculation of the deflection rate, and shows the results. The methodology adopted depicts the type of pavement structure, structural evaluation of the pavement, methods of structural assessment, the equipment to be used, and the restoration techniques for asphalt pavements with structural problems. With all of this data from the deflection it was possible to calculate the deflection rate of the homogeneous segment of 2013 and 2014. It was then possible to compare these annual rates, evaluating if there was a structural improvement of the pavement from one year to other, and the reasons for improvements. The results obtained from research led to the conclusion that the greater recovery of a segment, the better the evaluation.

Key words: Highway, Falling Weight Deflectometer, restoration

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Divisão da rodovia em segmentos	37
Tabela 2 - Localização dos pontos das estações de ensaio	40
Tabela 3 - Divisão dos subsegmentos nos anos de 2013 e 2014.....	41
Tabela 4 – Plan 1	42
Tabela 5 – Cálculo Diferença do subsegmento 1	44
Tabela 6 - Cálculo da diferença do subsegmento 2	45
Tabela 7 - Cálculo da diferença do subsegmento 3	46
Tabela 8 - Diferença do subsegmento 4.....	47
Tabela 9 - Diferença do subsegmento 5.....	48
Tabela 10 – Cálculo da diferença do subsegmento 6	50
Tabela 11 - Cálculo da diferença do subsegmento 7	51
Tabela 12 - Cálculo da diferença do subsegmento 8	52
Tabela 13 - Cálculo da diferença do subsegmento 9	53
Tabela 14 - Diferença do segmento 14, ano 2013	64
Tabela 15 - Segmento homogêneo 14, ano 2013	65
Tabela 16 - Nota final segmento 14, ano 2013.	66
Tabela 17 - Diferença segmento 7, ano 2013	67
Tabela 18 - Segmento homogêneo 7, ano 2013	68
Tabela 19 - Nota final segmento 7, ano 2013	69
Tabela 20 - Diferença segmento 7, ano 2014	69
Tabela 21 - Segmento homogêneo 7, ano de 2014.....	70
Tabela 22 - Nota final segmento 7, ano de 2014	71
Tabela 23 - Diferença segmento 8, ano de 2013	71
Tabela 24 - Segmento homogêneo 8, ano de 2013.....	73
Tabela 25 - Nota final segmento 8, ano 2013	75
Tabela 26 - Diferença segmento 8, ano 2014	75
Tabela 27 - Segmento homogêneo 8, ano 2014	77
Tabela 28 - Nota final segmento 8, ano 2014	79
Tabela 29 - Diferença segmento 12, ano 2013	80
Tabela 30 - Segmento homogêneo 12, ano 2013	82
Tabela 31 - Nota final do segmento 12, ano 2013	85
Tabela 32 - Diferença segmento 12, ano 2014	85

Tabela 33 - Segmento homogêneo 12, ano 2014	88
Tabela 34 - Nota final do segmento 12, ano 2014	92
Tabela 35 - Diferença segmento 18, ano 2013	93
Tabela 36 - Segmento homogêneo 18, ano 2013	94
Tabela 37 - Nota final do segmento 18, ano 2013	96
Tabela 38 - Diferença Segmento 18, ano 2014.....	96
Tabela 39 - Segmento Homogêneo 18, ano 2014.....	98
Tabela 40 - Nota Final Segmento 18, ano 2014.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de reciclagem e sua utilização.....	34
---	-----------

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual restaurado no segmento 14.....	66
Gráfico 2 - Percentual restaurado no segmento 8.....	79
Gráfico 3 - Percentual restaurado no segmento 12.....	92
Gráfico 4 - Percentual restaurado no Segmento 18	100
Gráfico 5 - Notas dos segmentos nos anos de 2013 e 2014.....	102

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Seção transversal típica de um pavimento flexível.....	22
Figura 2 - Extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem	24
Figura 3 - Equipamentos DCP de avaliação estrutural	25
Figura 4 - Deformações no Pavimento	26
Figura 5 - Esquema da viga <i>Benkelman</i>	28
Figura 6 - Esquema de um defletômetro de impacto	29
Figura 7 - Detalhe do prato de aplicação de carga e da barra de sensores	30
Figura 8 - Representação dos defletômetros de impacto.....	30
Figura 9 - Vista geral do FWD de impacto.....	31
Figura 10 - Segmentos Homogêneos	55
Figura 11 - Extensão dos Subsegmentos	56
Figura 12 - Cálculo da Deflexão Média D0 (0,01mm).....	57
Figura 13 - Tipo de Pavimento	58
Figura 14 - Cálculo para pavimento tipo CBUQ.....	59
Figura 15 - Cálculo para pavimento tipo TSD	60
Figura 16 - Nota final do segmento 14.....	61
Figura 17 - Comparativo das notas dos segmentos nos anos de 2013 e 2014..	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Agente Rejuvenecedor
ARE	Agente Rejuvenecedor Emulsionado
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	Índice Suporte Califórnia
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
D ₀	Deflexão Máxima
DER	Departamento de Estradas de Rodagens
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
EAP	Emulsão Asfáltica de Petróleo
FWD	Falling Weight Deflectometer
L _f	Deflexão final
L _i	Deflexão inicial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	JUSTIFICATIVA.....	18
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
4.1	Pavimento	19
4.1.1	Subleito	19
4.1.2	Regularização	20
4.1.3	Reforço do subleito.....	20
4.1.4	Sub-base	20
4.1.5	Base.....	21
4.1.6	Revestimento	21
4.2	Avaliação de pavimentos.....	22
4.2.1	Avaliação funcional do pavimento.....	23
4.2.2	Avaliação estrutural do pavimento	23
4.2.3	Métodos de avaliação estrutural	24
4.2.3.1	Medidas de deflexões	26
4.2.3.2	Equipamentos de avaliação estrutural não-destrutiva	27
4.2.3.2.1	Viga <i>benkelman</i>	27
4.2.3.2.2	Carregamento vibratório – <i>dynaflec</i>	29
4.2.3.2.3	<i>Falling Weight Deflectometer (fwd)</i>	29
4.3	Retroanálise	31
4.4	Técnicas de restauração asfáltica	32
4.4.1	Técnicas de restauração de pavimentos com problemas funcionais .	32
4.4.2	Técnicas de restauração de pavimentos com problemas estruturais .	33
4.4.2.1	Reciclagem.....	33
4.4.2.2	Micro revestimento.....	34
4.4.2.3	Tratamento superficial duplo (TSD).....	35
4.4.2.4	Concreto asfáltico	36
5	METODOLOGIA	37

5.1	Objeto de estudo	37
5.2	Levantamento Deflectométrico	38
5.3	Equipamento e Aparelhagem	38
5.4	Ensaio.....	39
5.4.1	Ajustagem e calibração de aparelhagem	39
5.4.2	Programa de Ensaio	39
5.4.3	Localização das estações de ensaio	40
5.4.4	Etapas de ensaio	40
5.5	Cálculos.....	41
5.5.1	Roteiro de cálculo da nota da deflexão	42
5.5.2	1ª. Etapa - Plan 1.....	42
5.5.3	2ª. Etapa – Cálculo da diferença	43
5.5.4	3º etapa – Segmentos Homogêneos.....	54
5.5.4.1	Colunas B a E – Extensão dos subsegmentos	56
5.5.4.2	Colunas F a H - Cálculo da deflexão média D_0 (0,001mm)	57
5.5.4.3	Coluna I – Tipo de Pavimento.....	58
5.5.4.4	Coluna J a M – Cálculo CBUQ	59
5.5.4.5	Coluna N a Q – Cálculo TSD	60
5.5.5	4º etapa – Nota final do segmento	61
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
6.1	Análise do segmento 14.....	64
6.2	Análise do Segmento 7	67
6.3	Análise do Segmento 8	71
6.4	Análise do Segmento 12	80
6.5	Análise do Segmento 18	93
6.6	Análise dos demais segmentos	101
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
	REFERÊNCIAS.....	104

1 INTRODUÇÃO

O Brasil utiliza o modal rodoviário para transportar a maior parte de suas cargas e passageiros. Segundo a CNT (2014), as rodovias são responsáveis por cerca de 60% do transporte de carga e por mais de 90% do deslocamento de passageiros.

O valor do sistema rodoviário brasileiro é inquestionável, uma vez que se percebe o aumento em relação ao número de viagens e volume de cargas transportadas pelo país. A logística de escoamento da produção depende, sistematicamente, da malha rodoviária, sendo que sua qualidade influencia no preço do frete e, conseqüentemente, no custo final da produção.

No intuito de garantir melhores condições de deslocamento, tanto, de pessoas, quanto de produtos, são desenvolvidas técnicas que visam garantir a solidez dos pavimentos em relação aos esforços advindos do tráfego, propiciando aos usuários: conforto, economia e segurança.

A expansão do volume de cargas e aumento da ocorrência de viagens de turismo e negócios, bem como, a carência de recursos financeiros para o financiamento da infraestrutura e manutenção do setor rodoviário, impulsionam a adoção de medidas paliativas voltadas para a reabilitação dos pavimentos, muitas vezes antes do esperado.

Para desenvolver uma alternativa de restauração deve ser feita uma avaliação do pavimento. Esta avaliação pode ser funcional ou estrutural. A avaliação funcional tem como objetivo avaliar a superfície do pavimento, como seu conforto e segurança. A avaliação estrutural, por sua vez, avalia a estrutura do pavimento e sua capacidade de resistir ao tráfego de veículos.

A avaliação estrutural, normalmente, é realizada por meio de medidas de deflexões, sendo considerada essencial no projeto de restauração de pavimento.

O presente trabalho analisou os dados de deflexão obtidos por meio do equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD), que é uma das mais importantes ferramentas para a avaliação estrutural do pavimento, onde os resultados obtidos permitem a realização de análises esclarecedoras no comportamento estrutural do trecho.

2 OBJETIVOS

A definição dos objetivos é a etapa na qual se delimita as ações que serão desenvolvidas, definindo o que se pretende desenvolver no trabalho de pesquisa.

2.1 Objetivo geral

Apresentar a avaliação estrutural de um pavimento em trechos de uma rodovia de Minas Gerais e comparar os resultados das deflexões medidas nos anos de 2013 e 2014, avaliando se houve alterações dessas deflexões, por meio da determinação de uma nota avaliativa.

2.2 Objetivos específicos

- Demonstrar como é feito a avaliação estrutural por meio do equipamento *Falling Weight Deflectometer* - FWD;
- Demonstrar como os resultados das deflexões são calculados para obtenção da nota final.
- Fazer um comparativo utilizando os resultados das deflexões dos anos de 2013 e 2014, avaliando o comportamento do pavimento quando passam ou não por uma restauração.

3 JUSTIFICATIVA

O tráfego rodoviário é muito variado quanto ao tipo de veículos e cargas transportadas. Um dos obstáculos para o dimensionamento de pavimento é a previsão da evolução do tráfego ao longo do tempo, e a avaliação dos tipos de cargas que serão transportadas.

Sendo assim, com o passar do tempo os materiais empregados nas estruturas do pavimento têm suas propriedades alteradas reduzindo a sua durabilidade ao longo dos anos, deixando de cumprir suas funções estruturais no pavimento.

Com o comprometimento da estrutura é necessário que se recorra a intervenções de reforço estrutural. Entretanto, antes de serem feitas as restaurações, o pavimento deve passar por avaliações superficiais e estruturais, que definirão quais restaurações serão executadas.

Assim, o presente trabalho se justifica por sua contribuição social e econômica. O caráter social pode ser comprovado, uma vez que a pesquisa possibilitou fazer a avaliação estrutural do pavimento, mostrando de forma detalhada o processo para a obtenção dos valores de deflexão. Esses dados servem para analisar as condições percebidas, servindo de parâmetros comparativos para a adoção de medidas mitigadoras.

O caráter econômico da pesquisa pode ser percebido, por meio dos dados obtidos, que permitem avaliar a aplicabilidade dos serviços de manutenção e restauração das rodovias, que impactam, significativamente, na economia.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico permite um estudo aprofundado sobre o tema da pesquisa, dando o embasamento para sua realização.

4.1 Pavimento

Segundo Balbo (2007), pavimento é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, adequado para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo.

De acordo com Bernucci et al. (2008), pavimento é uma estrutura construída sobre a camada final de terraplenagem, composta por múltiplas camadas, as quais são destinadas a resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos, e proporcionar aos usuários conforto ao rolamento, economia e segurança.

A estrutura do pavimento é preparada, estruturalmente, para receber e transmitir esforços de maneira a diminuir pressões sobre as camadas inferiores. Cada camada do pavimento possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos, em qualquer ação climática, condições de rolamento e suporte (BALBO, 2007).

4.1.1 Subleito

Senço (2007, p. 15) define subleito como “o terreno de fundação do pavimento”. Sendo que os subleitos de melhores qualidades exigem pavimentos menos espessos e, conseqüentemente, são evitadas as camadas de reforço do subleito e sub-base.

Segundo Balbo (2007), o subleito é constituído por material natural consolidado e compactado, tendo como função aliviar os esforços impostos pelo tráfego em sua profundidade. As camadas superiores requerem maior preocupação, onde os esforços solicitantes atuam com maior magnitude.

4.1.2 Regularização

Senço (2007, p. 17), define regularização, como: “camada de espessura irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo, transversal e longitudinalmente, com o projeto”.

É a partir da regularização do subleito que se obtém a inclinação da pista de rodagem, sendo 2% com inclinação normal, e 3 a 4 % em regiões com alta precipitação pluviométrica. (SENÇO, 2007).

4.1.3 Reforço do subleito

Reforço do subleito é a camada executada sobre o subleito regularizado. Na camada de reforço encontra-se um solo de maior qualidade, onde são toleradas maiores pressões vindas das cargas aplicadas sobre o pavimento. Com a utilização do reforço do subleito, economiza-se no projeto, uma vez que são utilizadas camadas mais espessas de base e sub-base. (BALBO, 2007)

Segundo Balbo (2007), o emprego desta camada não é obrigatório, porém torna-se necessário quando o subleito tem pequena resistência aos esforços de cisalhamento.

4.1.4 Sub-base

Essa camada é utilizada, quando a camada de base projetada é muito espessa. Com a utilização de uma sub-base de menor custo, economiza-se no projeto, além de atender a função estrutural. (BALBO, 2007).

Segundo Senço (2007), sub-base é a camada complementar da base, quando por questões técnicas e econômicas não for aconselhável construir a base sobre o subleito. Os materiais utilizados na sub-base deverão ter características tecnológicas superiores do subleito.

4.1.5 Base

Senço (2007, p. 20) define base, “camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los [...], sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito”.

Segundo Balbo (2007), a base tem como função aliviar as pressões nas camadas inferiores, e permitir a drenagem das águas que se infiltram no pavimento.

4.1.6 Revestimento

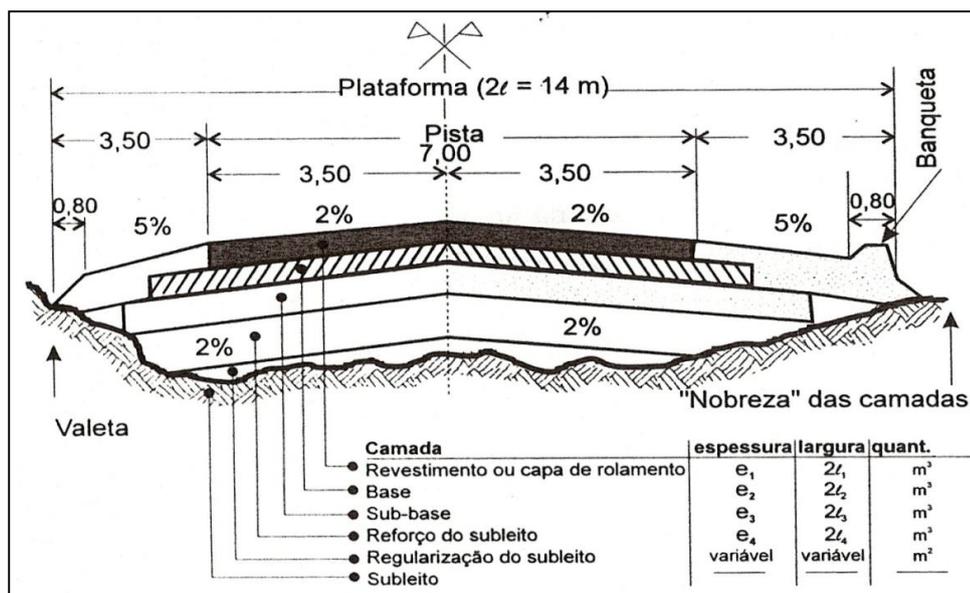
A camada de revestimento ou capa segundo Senço (2007), é uma camada impermeável destinada a receber, diretamente, as ações do tráfego, tendo como objetivo melhorar a superfície de rolamento, oferecendo conforto e segurança ao usuário.

Senço (2007) ainda afirma que, o revestimento é a camada mais nobre de um pavimento, porém uma espessura qualquer utilizada nesta camada não pode servir como medida de resistência, pois sua resistência depende de todas as camadas executadas. Utilizar uma capa muito espessa e não executar as camadas subsequentes de maneira correta poderá causar problemas no pavimento.

Segundo Balbo (2007), o revestimento deverá receber as cargas do tráfego, sem sofrer deformações elásticas ou plásticas, para isso são necessários materiais bem aglutinados e dispostos de maneira a evitar sua movimentação horizontal.

A FIG. 1 retrata a seção transversal típica de um pavimento flexível, sendo que nela é possível perceber todas as camadas do pavimento.

Figura 1 - Seção transversal típica de um pavimento flexível



Fonte: Senço, 2007, p. 16

4.2 Avaliação de pavimentos

Segundo Bernucci et al. (2008, p. 441) “os pavimentos são estruturas que não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego.”

De acordo Hass, Hudson e Zaniwski et al¹ (1994 apud LUÍS, 2009), as avaliações de pavimento fornecem informações sobre o estado atual do pavimento, suas condições estruturais e sua capacidade de oferecer conforto e segurança aos usuários durante o tráfego de veículos. Estas informações são utilizadas no planejamento e projeto de serviço de gerência de pavimentos, conduzindo os serviços de manutenção e restauração da rodovia, bem como, auxiliando para a melhoria da tecnologia de projeto, construção e manutenção.

Existem dois tipos de avaliação que podem ser feitos no pavimento: a avaliação funcional e a estrutural.

¹ HAAS, R; HUDSON, W. R; ZANIEWSKI, J. Modern Pavement Management. Malabar, 1994

4.2.1 Avaliação funcional do pavimento

Na avaliação funcional a superfície do pavimento é analisada em termos de conforto e segurança oferecidos pelo pavimento ao usuário. Ela visa determinar o grau de deterioração da via e tem como objetivo garantir o conforto ao rolamento, a condição da superfície e a interação: pneu versus pavimento. (BERNUCCI et al., 2008).

É a determinação da capacidade de desempenho funcional momentânea, serventia, que o pavimento proporciona ao usuário. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento. (DNIT, 2006).

4.2.2 Avaliação estrutural do pavimento

Segundo Medina e Mota (2015), a avaliação estrutural é aquela que avalia as características de deformidade: elástica e plástica; bem como, a resistência à ruptura por cisalhamento do sistema em camadas. São utilizadas: prova de cargas, coleta de amostras e ensaios de laboratório.

A avaliação estrutural está relacionada à capacidade de carga do pavimento. A repetição das cargas resulta nos defeitos estruturais, que são vinculados às deformações elásticas ou recuperáveis; e plásticas ou permanentes. As deformações elásticas são avaliadas por meio dos equipamentos conhecidos como defletômetros, responsáveis por medirem as “deflexões” que são os deslocamentos verticais do pavimento. As deformações plásticas são acumulativas durante os anos de vida do pavimento e resultam em defeitos do tipo afundamento localizado ou nas trilhas de rodas, medidos por meio de treliça normatizada. (BERNUCCI et al., 2008).

A avaliação estrutural possibilita a caracterização completa de elementos e variáveis estruturais do pavimento, permitindo prever sua capacidade mediante as demandas futuras de tráfego. Essa avaliação permite descrever, objetivamente, o comportamento em relação às cargas e aos efeitos ambientais. A caracterização da estrutura de pavimento existente consiste na determinação dos materiais e espessuras que compõem cada camada do pavimento, como solos e subleitos,

verificação das condições de integridade dos materiais existentes e da medida de deformações. (BALBO, 2007).

[...] a avaliação estrutural permite emitir conclusões sobre a integridade de camadas de materiais subjacentes ao revestimento, cujos defeitos, muitas vezes, não são detectados pela avaliação visual superficial, como no caso de intensas deformações plásticas, rupturas e contaminação em camadas granulares, ou mesmo fissuras de retração e fadiga em bases cimentadas. [...] a caracterização da capacidade portante da estrutura é feita por meio da determinação das deformações sofridas na superfície da estrutura de pavimento quando esta é solicitada por uma carga conhecida. (BERNUCCI et al., 2008, p. 401).

4.2.3 Métodos de avaliação estrutural

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser feita por métodos: destrutivo, semidestruutivo ou não destrutivo.

A avaliação estrutural destrutiva tem como objetivo a caracterização física de cada camada que compõe o pavimento. Nela, são abertas trincheiras ou poços de sondagens em alguns pontos do segmento avaliado, são recolhidas amostras de cada camada e são realizados ensaios de capacidade de carga *in situ*. Com as amostras, são verificados os materiais e as espessuras de cada camada. Esse conhecimento prévio é o início dos estudos, que permite analisar o nível de necessidade de restauração. (BALBO, 2007).

De acordo com a FIG. 2, é possível perceber exemplos de extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem em pavimentos em uso.

Figura 2 - Extração de corpos-de-prova e de poços de sondagem



Fonte: Bernucci et al., (2008, p. 444)

Trichês e Cardoso². (2001 apud BERNUCCI et al., 2008, p. 443) definem método semidestrutivo como “aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração: DCP”.

A avaliação não destrutiva é caracterizada por medidas de deflexões e são aconselhadas para maiores extensões de pista e com a possibilidade de maiores a também é um critério de definição da vida útil estrutural e funcional de um pavimento visto que, a partir de certo valor, pode interferir na condição de conforto e segurança do tráfego (Bernucci et al, 2008, p.444).

A FIG. 3 refere-se aos equipamentos DCP de avaliação estrutural expedita de subleitos e camadas de solo.

Figura 3 - Equipamentos DCP de avaliação estrutural



Fonte: Bernucci et al., (2008, p. 444)

A denominada bacia de deflexão ou linha de influência da carga sobre um ponto do pavimento, é a medida do deslocamento elástico em vários pontos a partir da carga (DNER, 061/94 apud BERNUCCI et al, 2008)³

² TRICHÊS, G.; CARDOSO, A.B. Avaliação da capacidade de aterros e subleito de rodovias e utilizando o penetrômetro dinâmico de cone e a viga Benkelman. In: Transporte em transformação. São Paulo: Makron Books, 2001. v. 1. p. 35-49

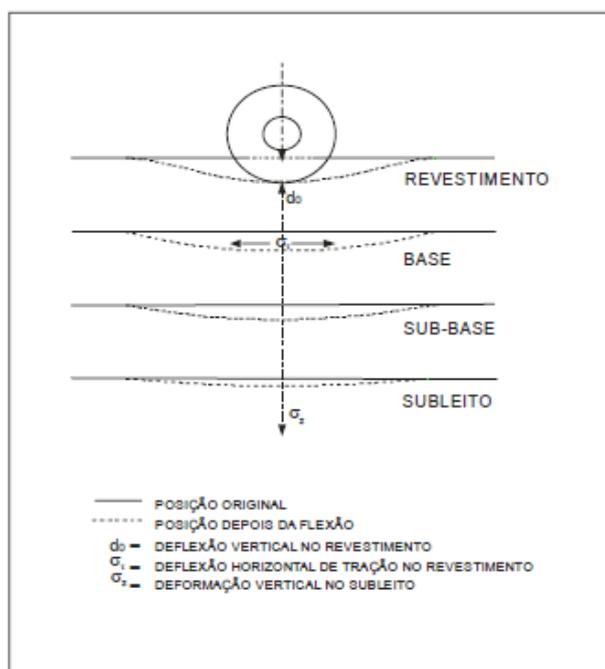
³ DNER - ME 061/94: delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.

4.2.3.1 Medidas de deflexões

A deflexão de um pavimento é a resposta das camadas estruturais e do subleito ao se aplicar cargas. Quando o pavimento é submetido a uma carga em um ponto (ou uma área) todas as camadas fletem devido às tensões e as deformações geradas pelo carregamento (BALBO, 2007).

O valor da deflexão diminui em cada camada de acordo com a profundidade e o distanciamento do ponto de onde se aplicou a carga e depende ainda do módulo de elasticidade das camadas (FIG.4). A partir de certas distâncias e profundidades, as deflexões tornam-se negligenciáveis. (DNIT, 2006).

Figura 4 - Deformações no Pavimento



Fonte: DNIT, 2006

Os pavimentos mais saudáveis, estruturalmente, fletem menos que os pavimentos mais debilitados. Por meio da diferença na resposta dos pavimentos é que se torna possível avaliar o seu desempenho estrutural. Sendo assim, pavimentos com baixas deflexões suportam maior número de solicitações de tráfego. (DNIT, 2006).

Para a avaliação da capacidade estrutural do pavimento, os equipamentos utilizados nos ensaios não-destrutivos são os mais indicados, além de avaliarem a deflexão recuperável máxima na superfície do pavimento (d_0). (DNIT, 2006).

4.2.3.2 Equipamentos de avaliação estrutural não-destrutiva

De acordo com Bernucci et al (2008) os equipamentos mais utilizados em avaliações não-destrutivas, são: carregamento quase-estático: ensaio de placa e viga *Benkelman*; carregamento vibratório: *dynalect*, por exemplo; e carregamento por impacto: *falling weight deflectometer* (FWD).

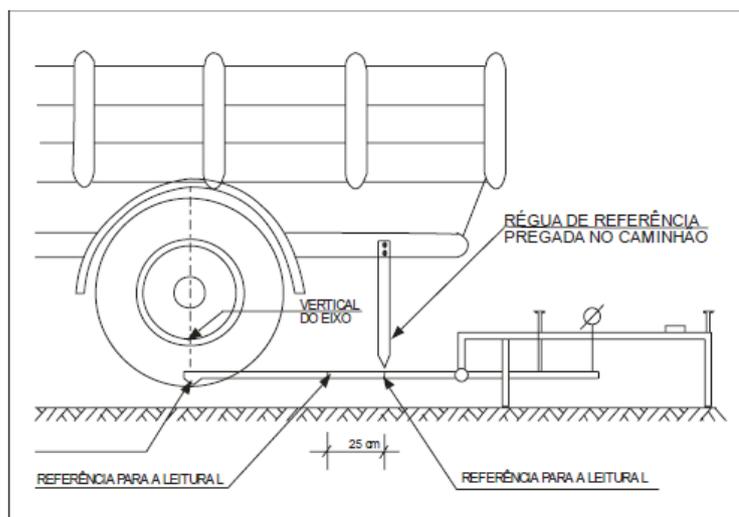
[...] com esses equipamentos são medidos os seguintes parâmetros:

1. Deflexão máxima: deslocamento sob o centro da carga (FWD) ou sob o centro das rodas duplas de um eixo simples (viga *Benkelman*), sendo a deflexão normalmente expressa em 10-2mm (d_0).
2. Raio de curvatura: círculo ou arco de parábola que passa por dois pontos da deformada (viga *Benkelman*), normalmente sob a carga e a 25cm do centro da mesma (d_0 e d_{25}).
3. Deformada, bacia de deformação ou bacia deflectométrica: medidas dos deslocamentos elásticos ou recuperáveis em vários pontos a partir do centro do carregamento (d_0 , d_{25} , d_{50} etc.). (BERNUCCI et al., 2008, p.446).

4.2.3.2.1 Viga *Benkelman*

A viga *Benkelman* é o equipamento mais simples e difundido para o levantamento de deflexões no pavimento. A prova é feita com caminhão com eixo traseiro simples com 8,2t e com rodas duplas com pneus a pressão a 5,6 Kgf/cm² (0,55 Mpa). A ponta de prova é colocada à meia distância das rodas do eixo traseiro do caminhão, faz-se a leitura na posição inicial e em outros pontos após o caminhão deslocar-se, lentamente (MEDINA; MOTA, 2015).

A FIG. 5 visa facilitar o entendimento em relação ao mecanismo de funcionamento de uma viga *Benkelman*. (DNIT, 2006).

Figura 5 - Esquema da viga *Benkelman*

Fonte: DNIT, 2006

Segundo Bernucci et al. (2008), o ensaio completo consiste em: primeiro, colocar a ponta de prova da viga *Benkelman* entre o par de rodas do eixo traseiro do caminhão; segundo, fazer a leitura do inicial do extensômetro – leitura L_i , e, por fim, afastar o caminhão, lentamente, até uma distância de 10 metros da ponta de prova ou até que o extensômetro não acuse mais variação da leitura – leitura L_f .

Segundo Balbo (2007), no momento em que o caminhão se afasta da ponta de prova entre os eixos, o pavimento tende a voltar ao seu plano original de quando não estava carregado. Desta forma a outra ponta da viga é deslocada para baixo, alterando a leitura fornecida pelo extensômetro.

Para Bernucci et al. (2008), a leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento, e todo descolamento recuperado é associado à deformação elástica do pavimento (deflexão). Dessa forma, é possível calcular a deflexão d_0 por meio da equação: $d_0 = (L_i - L_f) \cdot K$

Onde:

d_0 = deflexão máxima (10^{-2} mm)

L_i = leitura inicial do extensômetro (10^{-2} mm)

L_f = leitura do final do extensômetro (10^{-2} mm)

K = constante da viga dada pela relação entre o braço maior e o braço menor

4.2.3.2 Carregamento vibratório – *Dynaflec*

Segundo Medina e Mota (2015), no carregamento vibratório aplica-se uma força de até 100 lb (454 Kg), por meio de duas rodas maciças recobertas de borracha e estáveis no pavimento, onde geofones alinhados na superfície do pavimento medem as deflexões.

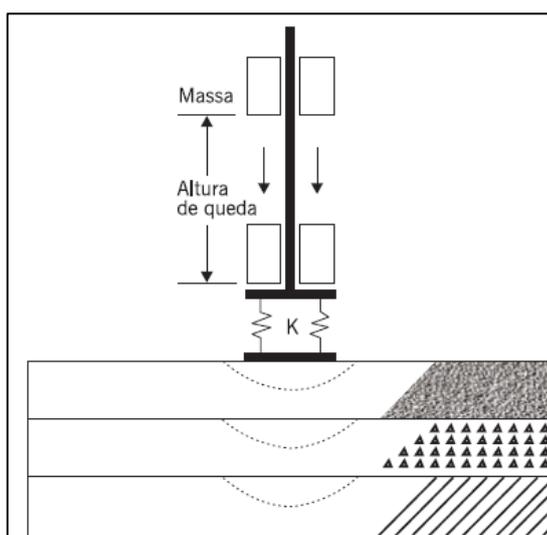
4.2.3.2.3 *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

O *Falling Weight Deflectometer (FWD)* é um equipamento de carregamento dinâmico, em que um peso cai de certa altura sobre uma placa metálica ligada ao pavimento, medindo-se as deflexões máximas. (MEDINA; MOTA, 2015).

Para Balbo (2007), após a aplicação da carga na placa metálica, transdutores de velocidade (geofones) dispostos, longitudinalmente, captam as ondas de resposta ao impacto. As ondas resultantes dos deslocamentos da superfície são obtidas e suas acelerações integradas para definição da distância percorrida. Esse processo gera a deflexão em cada geofone. Desta forma, são determinadas e registradas as bacias de deformações em cada ponto analisado.

A FIG. 6 ilustra o esquema de um defletômetro de impacto

Figura 6 - Esquema de um defletômetro de impacto



Fonte: Bernucci et al., (2008, p. 450)

A FIG. 7 retrata o prato de aplicação de carga e da barra de sensores.

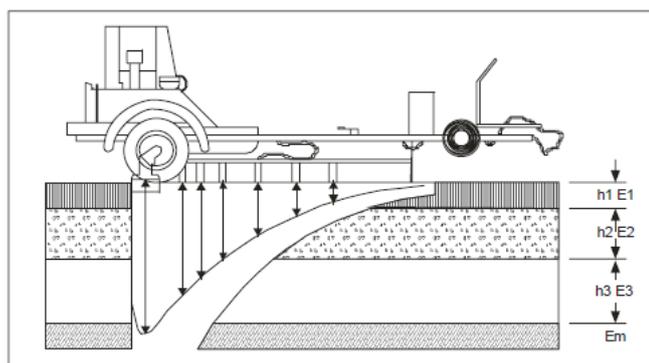
Figura 7 - Detalhe do prato de aplicação de carga e da barra de sensores



Fonte: Bernucci et al., (2008, p. 451)

A resposta do pavimento ao impacto é captada por sensores dispostos, longitudinalmente, no centro da placa de aplicação das cargas. O equipamento é automatizado, sendo rebocado por um veículo de apoio, o qual é comandado por um microcomputador. (DNIT, 2006).

Figura 8 - Representação dos defletômetros de impacto



Fonte: DNIT 2006

A vantagem dos equipamentos de impacto é a sua capacidade de simular as características de uma carga de tráfego, em termos de magnitude e frequência, o que não ocorre em ensaios estáticos com a viga *Benkelman*. As deflexões resultantes se aproximam daquelas geradas por carga real dinâmica. Além disso, o

equipamento permite a determinação precisa e rápida de deformações completas, com aquisição automática de dados. (DNIT, 2006).

A FIG. 9 faz uma representação visual do FWD de impacto.

Figura 9 - Vista geral do FWD de impacto



Fonte: Acervo próprio (2015)

Segundo Bernucci et al. (2008) as vantagens do FWD em relação a viga *Benkelman* convencional são: maior precisão nas medições; possibilidade de aplicação de vários níveis de carga; maior produtividade em termos de nº de ensaios por dia; ensaio não influenciado pelo operador; registro automático de temperatura e de distâncias dos pontos de ensaio. Algumas desvantagens do FWD são o custo do equipamento, a necessidade de calibrações mais sofisticadas e as diferenças de resultados entre marcas.

4.3 Retroanálise

Para o dimensionamento adequado do reforço do pavimento é preciso conhecer a rigidez de todas as camadas do pavimento e do subleito, para que se possa aplicar o cálculo de tensões e deformações. A maioria dos pavimentos é dimensionada pelo método CBR, onde não se sabe, inicialmente, as características dos materiais utilizados em cada trecho. Ainda, que se conheçam os materiais e os valores dos seus módulos de resiliência na época do projeto de construção, eles tendem a mudar com o tempo, o uso e, também, em função do clima. (BERNUCCI et al., 2008).

A retroanálise é a técnica usada para determinar o módulo elástico semelhante aos das camadas de um pavimento equivalente a uma carga aplicada e as deflexões medidas, para emprego na avaliação de pavimentos e no projeto de reforço. (MEDINA; MOTA, 2015).

Tendo-se conhecimento da carga externa aplicada para a qual foi obtida a bacia deflectométrica e, conhecendo-se as características básicas dos tipos de materiais presentes em cada camada e suas espessuras, é possível inferir os módulos de elasticidade a partir das deflexões obtidas. (BERNUCCI, et al., 2008, p. 453).

4.4 Técnicas de restauração asfáltica

Para uma restauração apropriada do pavimento é preciso que seja feito um estudo da condição do pavimento existente. Este estudo é precedido por uma avaliação funcional e uma avaliação estrutural. Os dados das avaliações fornecem as soluções de restauração apropriadas para cada caso, que podem ser de caráter funcional ou estrutural. (BERNUCCI et al., 2008).

4.4.1 Técnicas de restauração de pavimentos com problemas funcionais

Conforme Bernucci et al. (2008), a avaliação funcional tem como objetivo avaliar a superfície do pavimento, por meio do levantamento e análise de defeitos superficiais, e da condição de irregularidade longitudinal. As principais patologias encontradas na avaliação funcional são: área trincada e severidade do trincamento, deformação permanente e irregularidade longitudinal.

Ainda segundo os mesmos autores, quando a restauração é necessária para corrigir os defeitos funcionais superficiais são utilizados alguns tipos de revestimentos, que podem ser empregados isolados ou combinados, sendo antecedidos ou não por fresagem. Os tipos de revestimento descritos pelo autor são: lama asfáltica; tratamento superficial simples ou duplo; micro revestimento asfáltico a frio ou a quente; concreto asfáltico; e mistura do tipo camada porosa de atrito.

4.4.2 Técnicas de restauração de pavimentos com problemas estruturais

Na avaliação estrutural é analisada a capacidade da estrutura do pavimento de suportar cargas. Esse método é realizado por meio da aplicação de uma carga conhecida, na qual é medida a deflexão superficial do pavimento. O principal parâmetro considerado nesse tipo de avaliação é a deflexão na superfície e a bacia de deformação. (BERNUCCI et al., 2008).

Ainda de acordo com os autores, quando os problemas no pavimento são estruturais ou existe a possibilidade de aumento do tráfego, as alternativas de restauração ou reforço compreendem àquelas que recompõem ou melhoram a sua capacidade estrutural, por meio da integração de novas camadas (recapeamento) à estrutura e/ou tratamento de camadas existentes (reciclagem).

Os tipos de revestimentos geralmente utilizados como recapeamento são o concreto asfáltico, o SMA (como camada de rolamento para resistir a deformações permanentes em vias de tráfego pesado), misturas descontínuas e o pré-misturado a quente. Nestes são empregados cimentos asfálticos convencionais, modificados por polímeros ou modificados por borracha moída de pneus. Esses tipos de revestimentos são utilizados isoladamente ou combinados:

- Concreto asfáltico;
- Pré-misturado a quente + concreto asfáltico;
- Concreto asfáltico + SMA;
- SMA e outras misturas asfálticas de granulometria descontínua;
- Tratamento superficial duplo ou microrrevestimento + concreto asfáltico. (BERNUCCI et al., 2008, p.468)

De acordo com Bernucci et al. (2008), se houver a necessidade da redução da propagação de trincas existentes no revestimento antigo, recomenda-se a remoção por fresagem anterior a execução de camadas de recapeamento.

4.4.2.1 Reciclagem

Reciclagem é a técnica que reutiliza materiais existentes no revestimento, base ou sub-base, envelhecidos ou deteriorados para a produção de novas misturas, e quando necessários com adição de agentes rejuvenescedores, espuma de asfalto, CAP, EAP novos. (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Medina e Motta (2015), atualmente, é possível projetar soluções que não se limitem ao acréscimo de espessura de revestimento, combinando com outras ações, como fresagem parcial ou total, com ou sem reciclagem.

A restauração por reciclagem ocorre quando parte da espessura danificada do pavimento é retirada por fresagem. O material retirado passa por um processo de tratamento, trituração e fresagem, possibilitando apresentar as mesmas características físicas e o mesmo desempenho de um material novo, sendo reaproveitado na nova camada do pavimento. (CASTRO, 2003).

O QUADRO 1 demonstra os tipos de reciclagem, as formas de utilização e os seus respectivos métodos e procedimentos.

Quadro 1 - Tipos de reciclagem e sua utilização

<p>Tipos de reciclagem</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A quente ▪ A frio 	<p>Método</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Utiliza-se CAP, agente rejuvenescedor (AR) e agregados fresado. Nesse processo há transferência de calor. ▪ Não há aplicação de calor para produzir um pavimento restaurado, utiliza-se EAP, agente rejuvenescedor (ARE) e agregados fresados a temperatura ambiente.
<p>Utilização</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Usinas ▪ <i>In situ</i> 	<p>Procedimento</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A quente ou a frio: o material fresado é levado para usina fixa para produção de uma mistura reciclada. ▪ A quente ou a frio: utiliza-se vários equipamentos. O material fresado é misturado com ligante no próprio local do corte. Se a quente utiliza-se CAP e se a frio utiliza-se EAP.

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

4.4.2.2 Micro revestimento

De acordo com Bernucci et al. (2008), utiliza-se o micro revestimento em reforços estruturais nas camadas intermediárias anti-reflexão de trincas. As trincas por reflexão são as que surgem acima de juntas ou trincas existentes, em camadas de revestimento antigo. É preciso atentar para a necessidade de se ter cuidado durante o trabalho de restauração, para reduzir a severidade e a velocidade de sua propagação.

A execução do micro revestimento não é permitida em dias de chuva. Temperaturas, menores que 10°C e maiores que 40°C, devem ser evitadas. Deve-se

fazer a limpeza prévia do trecho para evitar defeitos na execução. A aplicação do micro revestimento é feita de maneira uniforme e com velocidade reduzida. O tráfego pode ser liberado após, em média, uma hora e trinta minutos após o lançamento da mistura, assim, que o micro revestimento apresentar coesão suficiente (DER/PR, 2006).

Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero - consiste na associação de agregado, material de enchimento (filler), emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo SBS, água, aditivos se necessários, com consistência fluida, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada. (DNIT 035, 2005, p. 2)

Pinturas de ligação são exigidas quando o pavimento apresentar fissuras ou desgaste. Antes da aplicação do micro revestimento a pintura de ligação deve estar curada. (DER/PR, 2006).

Quanto ao acabamento da superfície a norma DNIT 035 (2005, p. 5), afirma que: “A superfície acabada é verificada visualmente devendo se apresentar desempenada e com o mesmo aspecto e textura obtidos nos segmentos experimentais”.

4.4.2.3 Tratamento superficial duplo (TSD)

O tratamento superficial simples e o tratamento superficial duplo servem para a selagem de trincas e restauração da aderência superficial (BERNUCCI et al., 2008).

A norma DNER 309 (1997, p. 2) define Tratamento Superficial Duplo – TSD, como: “camada de revestimento do pavimento constituído por duas aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas cada uma por camada de agregado mineral, submetidas à compressão”. Só é permitida a execução deste serviço em dia com temperatura acima de 10°C e que não esteja chovendo.

Para a execução do TSD, primeiramente, é necessário que a superfície esteja limpa e isenta de pó. O material betuminoso deve ser lançado de uma só vez, e em toda largura da faixa a ser tratada. Deve-se tomar cuidado na execução das juntas transversais (início e fim de cada aplicação de material betuminoso) e das juntas longitudinais (caso haja aplicação de mais de uma faixa de tráfego). Imediatamente, após a aplicação do ligante betuminoso, deve-se realizar o espalhamento da

primeira camada de agregado, na quantidade indicada no projeto. A seguir, deve-se começar a compactação do agregado, e após sua fixação fazer uma varredura para a retirada do material solto. A segunda camada segue os mesmos procedimentos da primeira camada. O trecho só pode ser liberado para o tráfego após o término da compressão. (DNER 309, 1997).

4.4.2.4 Concreto asfáltico

A norma DNIT 031 (2004, p. 3) define concreto asfáltico como: “mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente”. A norma DNIT 031 (2004, p. 3), ainda, afirma: “o concreto asfáltico pode ser utilizado como revestimento, camada de ligação (binder), base, regularização ou reforço do pavimento”.

Sua execução é antecedida por uma pintura de ligação, deve-se ter cuidado com a temperatura do ligante, que possuem uma temperatura ideal, e dos agregados, que devem ser aquecidos a temperaturas de 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante asfáltico, sem ultrapassar 177°C. Após, deve-se proceder a produção e o transporte do concreto asfáltico. Na sequência, é feita a distribuição e compactação da mistura. O tráfego só deve ser liberado após o resfriamento pleno do revestimento. (DNIT 031, 2004).

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desse trabalho optou-se pela realização de uma pesquisa que permitisse demonstrar como é feito o levantamento deflectométrico, utilizando o equipamento “*Falling Weight Deflectometer – FWD*”.

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, que contribuiu para uma compreensão mais aprofundada sobre o assunto.

Depois, foi feito um estudo de caso, no qual foram aplicadas as normas apresentadas para a execução do levantamento deflectométrico, objetivando realizar um comparativo entre os dados obtidos nos anos de 2013 e 2014.

A metodologia utilizada se baseou nas normas do DNER atual DNIT - Determinação das deflexões utilizando deflectométrico de impacto tipo “*Falling Weight Deflectometer – FWD*”, pelo Procedimento DNER PRO - 273/96. (DNER, 1996).

O trabalho foi possibilitado pelo intermédio de uma empresa fiscalizadora, responsável pelo trecho que autorizou o acesso aos dados.

5.1 Objeto de estudo

Os levantamentos deflectométricos foram obtidos ao longo dos 372 km que compreendem as rodovias X, Y e Z, trechos localizados no Estado de Minas Gerais.

Para uma melhor avaliação e obtenção dos resultados, a rodovia foi dividida em segmentos conforme demonstra a TAB. 1.

Tabela 1 - Divisão da rodovia em segmentos

Segmentos homogêneos	Localização		Extensão do Segmento (km)
	km inicial	km final	
Segmento 01	57,6	69,4	11,8
Segmento 02	69,4	80,0	10,6
Segmento 03	80,0	86,5	6,5
Segmento 04	86,5	92,2	5,7
Segmento 05	92,2	126,0	33,8
Segmento 06	126,0	132,0	6,0
Segmento 07	132,0	143,7	11,7
Segmento 08	143,7	164,8	21,1

Segmentos homogêneos	Localização		Extensão do Segmento (km)
	km inicial	km final	
Segmento 09	164,8	212,8	48,0
Segmento 10	212,8	261,6	48,8
Segmento 11	261,6	284,7	23,1
Segmento 12	284,7	331,0	46,3
Segmento 13	331,0	354,6	23,6
Segmento 14	354,6	359,3	4,7
Segmento 15	359,3	369,1	9,8
Segmento 16	369,1	372,1	3,0
Segmento 17	372,1	387,7	15,6
Segmento 18	387,7	402,0	14,3
Segmento 19	0,0	4,7	4,65
Segmento 20	637,2	659,5	22,3

Fonte: Empresa Alfa (2015)

5.2 Levantamento Deflectométrico

A determinação das deflexões é realizada por um deflectômetro de impacto, projetado para simular o efeito de cargas de roda em movimento. Isso é obtido pela queda de um conjunto de massas, a partir de alturas pré-fixadas, sobre um sistema de amortecedores de borracha, que transmitem a força aplicada a uma placa circular apoiada no pavimento. Os deslocamentos recuperáveis gerados na superfície do pavimento (bacia de deflexões) são medidos por sensores ao longo de uma barra metálica.

5.3 Equipamento e Aparelhagem

Para o levantamento deflectométrico, foram utilizados os seguintes equipamentos e aparelhagens:

- a) Um veículo propulsor que abriga um sistema de controle do sistema hidráulico, de dados e geração de energia, para recarga de baterias instaladas em um reboque;

- b) Equipamento “*Falling Weight Deflectometer (FWD)*” instalado em um reboque tracionado por veículo, com placa de carga e barra de suporte dos sensores;
- c) Sistema de aquisição de dados constituído de: célula de carga; sensores; termômetros; e odômetro de precisão.

Nota: O controle do sistema hidráulico, capaz de aplicar as cargas no pavimento, é feito a partir de um computador e de um digitador de sinais instalados no veículo propulsor.

5.4 Ensaio

5.4.1 Ajustagem e calibração de aparelhagem

No início de cada jornada de trabalho, devem ser realizados os seguintes ajustes e calibrações:

- a) Posicionamento dos sensores: os sensores devem ser dispostos ao longo da barra de sustentação, de modo a permitir a perfeita determinação da bacia de deflexões para aquele tipo de pavimento;
- b) Altura de queda do conjunto de massa: deve ser verificada se a carga aplicada ao pavimento, medida pela célula de carga, está de acordo com a especificação do projeto. Caso contrário, a altura dos parafusos, que determina a altura de queda, e conseqüentemente, a carga aplicada, deverá ser alterada até se obter a carga desejada. Normalmente, é aplicada uma carga de 40 kN;

5.4.2 Programa de Ensaio

Por meio do computador, instalado no veículo propulsor, devem ser programadas as unidades que serão utilizadas, o número de cargas aplicadas em cada estação de ensaio, assim como, as respectivas alturas de queda (cargas).

5.4.3 Localização das estações de ensaio

As estações de ensaio devem estar espaçadas, longitudinalmente, conforme a necessidade especificada no projeto. Transversalmente, afastadas do bordo do revestimento das distâncias especificadas na TAB. 2, em função da largura da faixa de rolamento.

Tabela 2 - Localização dos pontos das estações de ensaio

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância ao bordo do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

Fonte: DNIT (1996)

5.4.4 Etapas de ensaio

Escolher os pontos para as medidas de deflexões, devendo o operador executar as seguintes etapas sucessivas:

- a) Soltar as travas de transporte;
- b) Ligar todo o sistema;
- c) Abrir arquivo no computador para armazenar os dados;
- d) Executar as operações de medidas na superfície do pavimento;
- e) Fechar arquivo no computador utilizado para armazenar os dados;
- f) Desligar todo o sistema; e
- g) Acionar as travas de transportes.

As deflexões de ensaios DF1, DF2, DF3, DF_n são computadas em 0,001mm

5.5 Cálculos

Para obter a nota final da deflexão foi feito um roteiro de cálculo, o qual gerou a nota final do segmento em bom, regular ou ruim. Esse roteiro apresentou quatro etapas que foram calculadas por meio de planilhas, utilizando o programa Excel. Estas foram denominadas de “Plan 1”, “Diferença do segmento” “Segmento homogêneo” e “Nota final do segmento”.

Para o desenvolvimento das etapas, os segmentos foram divididos em subsegmentos, essa divisão foi determinada pela própria empresa fiscalizadora. A TAB. 3 demonstra como os segmentos foram divididos nos anos de 2013 e 2014.

Tabela 3 - Divisão dos subsegmentos nos anos de 2013 e 2014

Segmentos homogêneos	Extensão do Segmento (Km)	Nº de subsegmentos no ano de 2013	Nº de subsegmentos no ano de 2014
Segmento 1	11,8	14	19
Segmento 2	10,6	13	6
Segmento 3	6,5	8	8
Segmento 4	5,7	9	7
Segmento 5	33,8	34	46
Segmento 6	6	11	7
Segmento 7	11,7	14	11
Segmento 8	21,1	39	40
Segmento 9	48	55	47
Segmento 10	48,8	51	85
Segmento 11	23,1	33	48
Segmento 12	46,3	51	81
Segmento 13	23,6	31	29
Segmento 14	4,7	5	9
Segmento 15	9,8	15	10
Segmento 16	3	8	6
Segmento 17	15,6	20	29
Segmento 18	14,3	29	25
Segmento 19	4,7	10	14
Segmento 20	22,3	24	19

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

Em todos os segmentos foram feitos os mesmos cálculos. As explicações das etapas e as memórias de cálculo fazem referência ao segmento 14 no ano de 2014.

A escolha desse segmento se deu de forma aleatória, visando obter um parâmetro que pudesse ser utilizado para explicar o processo que ocorre nos demais.

5.5.1 Roteiro de cálculo da nota da deflexão

As planilhas foram desenvolvidas após o “*Falling Weight Deflectometer* (FWD)” percorrer todo o trecho, obtendo as deflexões respectivas de cada Km. Esses dados foram repassados pela empresa responsável pelo equipamento para o desenvolvimento dos cálculos e obtenção das notas.

5.5.2 1ª. Etapa - Plan 1

As deflexões pontuais (D_0) obtidas por meio do equipamento FWD são transferidas para a planilha denominada de “Plan 1”, sendo que os quilômetros são lançados na coluna A e suas deflexões (D_0) correspondentes na coluna B.

Tabela 4 – Plan 1

KM	Deflexões Puntuais		KM	Deflexões Puntuais		KM	Deflexões Puntuais
354,700	89,0		355,422	38,0		356,212	82,0
354,740	97,0		355,496	128,0		356,222	116,0
354,777	56,0		355,501	53,0		356,298	92,0
354,782	82,0		355,578	56,0		356,301	107,0
354,858	59,0		355,583	107,0		356,378	83,0
354,862	84,0		355,657	87,0		356,380	92,0
354,937	94,0		355,661	127,0		356,456	118,0
354,943	55,0		355,738	68,0		356,461	55,0
355,017	53,0		355,741	82,0		356,539	75,0
355,020	71		355,818	99,0		356,541	56,0
355,099	79,0		355,820	98,0		356,618	97,0
355,101	91,0		355,897	101,0		356,620	50,0
355,179	68,0		355,900	111,0		356,699	74,0
355,182	105,0		355,977	103,0		356,701	72,0
355,255	45,0		355,980	134,0		356,776	61,0
355,262	73,0		356,057	86,0		356,782	39,0
355,337	103,0		356,060	96,0		356,858	64,0
355,341	73,0		356,134	126,0		356,860	105,0
355,416	97,0		356,141	106,0		356,936	48,0

KM	Deflexões Puntuais		KM	Deflexões Puntuais		KM	Deflexões Puntuais
356,941	60		357,738	58,0		358,461	54,0
357,019	52,0		357,741	76		358,535	96,0
357,020	125,0		357,819	113,0		358,542	52,0
357,094	86,0		357,820	128,0		358,618	56,0
357,101	67,0		357,898	112,0		358,621	78,0
357,179	62,0		357,901	50,0		358,699	54,0
357,181	134,0		357,978	110,0		358,700	30,0
357,259	76,0		357,982	30,0		358,778	34,0
357,260	89,0		358,058	98,0		358,783	85,0
357,338	73,0		358,060	92,0		358,856	73
357,341	52,0		358,138	79		358,863	57,0
357,417	59,0		358,141	118,0		358,937	50,0
357,421	60,0		358,218	59,0		358,941	59
357,499	94,0		358,221	103,0		359,019	62,0
357,502	29,0		358,297	65,0		359,020	78,0
357,579	56,0		358,303	50,0		359,098	63,0
357,581	56,0		358,378	77,0		359,100	94
357,657	74,0		358,382	50,0		359,177	38,0
357,662	80,0		358,458	44,0		359,180	125,0

Fonte: Adaptada de Empresa Alfa (2015)

5.5.3 2ª. Etapa – Cálculo da diferença

O valor da deflexão foi calculado, separadamente, para cada subsegmento homogêneo de cada um dos vinte segmentos homogêneos “SH”. Seu cálculo foi feito levando em consideração os valores obtidos para o conjunto das “estações de amostragem” de ambas as faixas de rolamento, como apresentado na etapa anterior. Nesta etapa foram calculadas as seguem expressões:

- A média aritmética das deflexões: $D_{média}$
- O desvio padrão: (σ)
- A deflexão característica: $D_0 = D_{MÉDIA} + \sigma$;
- Coeficiente de variação (%): $CV = (\sigma/D_{MÉDIA}) \times 100$

OBS: Os valores serão arredondados para melhor compressão dos resultados.

A TAB. 5 mostra o subsegmento 1, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 5 – Cálculo Diferença do subsegmento 1

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
	89	354,70				
	97	354,74				
	56	354,78				
	82	354,78				
	59	354,86				
	84	354,86				
	94	354,94				
	55	354,94				
1	53	355,02				
	71	355,02				
	79	355,10				
	91	355,10				
	68	355,18				
	105	355,18				
	45	355,26				
	73	355,26				
	103	355,34	Média			
	73	355,34	77	18,09	95	19,12

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm).

Do (0,01mm) =

$$89+97+56+82+59+84+94+55+53+71+79+91+68+105+45+73+103+73 = 1377$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{\text{média}}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\text{Média (0,01mm)} = 1377/18 = 76,5$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(89 - 77)^2 + (97 - 77)^2 + (56 - 77)^2 + (82 - 77)^2 + (59 - 77)^2 + (84 - 77)^2 + (94 - 77)^2 + (55 - 77)^2 + (53 - 77)^2 + (71 - 77)^2 + (79 - 77)^2 + (91 - 77)^2 + (68 - 77)^2 + (105 - 77)^2 + (45 - 77)^2 + (73 - 77)^2 + (103 - 77)^2 + (73 - 77)^2}{18 - 1}}$$

Desvio = 18,09

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

M + DP (0,01mm) = $D_{MÉDIA} + \sigma$ = coluna Média+coluna Desvio= 77+18,09= 95

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

CV (%) = $(\sigma/D_{MÉDIA}) \times 100$ = (coluna Desvio/coluna M+DP(0,01mm)) $\times 100$ =

CV (%) = $(18,09/95) \times 100$ = 19,12

A TAB. 6 mostra o subsegmento 2, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 6 - Cálculo da diferença do subsegmento 2

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
2	97	355,42				
	38	355,42				
	128	355,50				
	53	355,50				
	56	355,58				
	107	355,58				
	87	355,66				
	127	355,66				
	68	355,74	Média			
	82	355,74	84	30,93	115	26,84

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm).

Do (0,01mm) = 97+38+128+53+56+107+87+127+68+82= 843

Encontra-se a média aritmética ($D_{média}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

Média (0,01mm) = $843/10 = 84,3 = 84$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(97 - 84)^2 + (38 - 84)^2 + (128 - 84)^2 + (53 - 84)^2 + (56 - 84)^2 + (107 - 84)^2 + (87 - 84)^2 + (127 - 84)^2 + (68 - 84)^2 + (82 - 84)^2}{10 - 1}}$$

Desvio = 30,93

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

M + DP (0,01mm) = $D_{MÉDIA} + \sigma$ = coluna Média+coluna Desvio= 84+30,93= 115

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

CV (%) = $(\sigma/D_{MÉDIA}) \times 100$ = (coluna Desvio/coluna M+DP(0,01mm)) $\times 100$ =

CV (%) = $(30,93/115) \times 100$ = 26,84

A TAB. 7 retrata o subsegmento 3, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 7 - Cálculo da diferença do subsegmento 3

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
3	99	355,82				
	98	355,82				
	101	355,90				
	111	355,90				
	103	355,98				
	134	355,98				
	86	356,06				
	96	356,06				
	126	356,13				
	106	356,14				
	82	356,21				
	116	356,22				
	92	356,30				
	107	356,30				
	83	356,38				
	92	356,38		Média		
118	356,46		103	14,66	118	12,47

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm).

Do (0,01mm) =

$$99+98+101+111+103+134+86+96+126+106+82+116+92+107+83+92+118 = 1750$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{\text{média}}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\text{Média (0,01mm)} = 1750/18 = 103$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(99 - 103)^2 + (98 - 103)^2 + (101 - 103)^2 + (111 - 103)^2 + (103 - 103)^2 + (134 - 103)^2 + (86 - 103)^2 + (96 - 103)^2 + (126 - 103)^2 + (106 - 103)^2 + (82 - 103)^2 + (116 - 103)^2 + (92 - 103)^2 + (107 - 103)^2 + (83 - 103)^2 + (92 - 103)^2 + (118 - 103)^2}{18 - 1}}$$

$$\text{Desvio} = 14,66$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\text{M + DP (0,01mm)} = D_{\text{MÉDIA}} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 103 + 14,66 = 118$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

$$\text{CV (\%)} = (\sigma / D_{\text{MÉDIA}}) \times 100 = (\text{coluna Desvio} / \text{coluna M+DP(0,01mm)}) \times 100 =$$

$$\text{CV (\%)} = (14,66 / 118) \times 100 = 12,47$$

A TAB. 8 retrata o subsegmento 4, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 8 - Diferença do subsegmento 4

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
	55	356,46				
	75	356,54				
	56	356,54				
	97	356,62				
	50	356,62				
	74	356,70				
4	72	356,70				

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
	61	356,78				
	39	356,78				
	64	356,86				
	105	356,86				
	48	356,94				
	60	356,94	Média			
	52	357,02	65	18,47	83	22,17

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm)

$$\mathbf{Do (0,01mm) = 55+75+56+97+50+74+72+61+39+64+105+ 48+60+52= 908}$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{m\acute{e}dia}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\mathbf{M\acute{e}dia (0,01mm) = 908/14= 65}$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(55 - 65)^2 + (75 - 65)^2 + (56 - 65)^2 + (97 - 65)^2 + (50 - 65)^2 + (74 - 65)^2 + (72 - 65)^2 + (61 - 65)^2 + (39 - 65)^2 + (64 - 65)^2 + (105 - 65)^2 + (48 - 65)^2 + (60 - 65)^2 + (52 - 65)^2}{14 - 1}}$$

$$\mathbf{Desvio = 18,47}$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\mathbf{M + DP (0,01mm) = D_{M\acute{E}DIA} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 65 + 18,47 = 83}$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

$$\mathbf{CV (\%)} = (\sigma / D_{M\acute{E}DIA}) \times 100 = (\text{coluna Desvio} / \text{coluna M+DP}(0,01mm)) \times 100 =$$

$$\mathbf{CV (\%)} = (18,47/83) \times 100 = 22,17$$

A TAB. 9 refere-se ao subsegmento 5, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 9 - Diferença do subsegmento 5

Subsegmento	Do	KM	Média	Desvio	M + DP	CV (%)
-------------	----	----	-------	--------	--------	--------

	(0,01mm)		(0,01mm)		(0,01mm)	
	125	357,02				
	86	357,09				
	67	357,10				
	62	357,18				
5	134	357,18				
	76	357,26				
	89	357,26	Média			
	73	357,34	89	26,64	116	23,04

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm)

$$\mathbf{Do (0,01mm) = 125+86+67+62+134+76+89+73= 712}$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{\text{média}}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\mathbf{Média (0,01mm) = 712/8= 89}$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(125 - 89)^2 + (86 - 89)^2 + (67 - 89)^2 + (62 - 89)^2 + (134 - 89)^2 + (76 - 89)^2 + (89 - 89)^2 + (73 - 89)^2}{8 - 1}}$$

$$\mathbf{Desvio = 26,64}$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\mathbf{M + DP (0,01mm) = D_{\text{MÉDIA}} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 89 + 26,64 = 116}$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

$$\mathbf{CV (\%)} = (\sigma / D_{\text{MÉDIA}}) \times 100 = (\text{coluna Desvio} / \text{coluna M+DP}(0,01\text{mm})) \times 100 =$$

$$\mathbf{CV (\%)} = (26,64 / 116) \times 100 = 23,04$$

A TAB. 10 retrata o subsegmento 6, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 10 – Cálculo da diferença do subsegmento 6

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
	52	357,34				
	59	357,42				
	60	357,42				
	94	357,50				
	29	357,50				
	56	357,58				
	56	357,58				
6	74	357,66				
	80	357,66				
	58	357,74				
	76	357,74				
	113	357,82				
	128	357,82				
	112	357,90				
	50	357,90	Média			
	110	357,98	75	28,28	104	27,26

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm)

$$\mathbf{Do(0,01mm)} = 52+59+60+94+29+56+56+74+80+58+76+113+128+112+50+110 =$$

$$\mathbf{Do(0,01mm)} = 1207$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{m\acute{e}dia}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\mathbf{M\acute{e}dia (0,01mm)} = 1207/16 = 75$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(52 - 75)^2 + (59 - 75)^2 + (60 - 75)^2 + (94 - 75)^2 + (29 - 75)^2 + (56 - 75)^2 + (56 - 75)^2 + (74 - 75)^2 + (80 - 75)^2 + (58 - 75)^2 + (76 - 75)^2 + (113 - 75)^2 + (128 - 75)^2 + (112 - 75)^2 + (50 - 75)^2 + (110 - 75)^2}{16 - 1}}$$

$$\mathbf{Desvio} = 28,28$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\mathbf{M + DP (0,01mm)} = D_{\text{MÉDIA}} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 75 + 28,28 = 104$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

$$\mathbf{CV (\%)} = (\sigma / D_{\text{MÉDIA}}) \times 100 = (\text{coluna Desvio} / \text{coluna M+DP(0,01mm)}) \times 100 =$$

$$\mathbf{CV (\%)} = (28,28 / 104) \times 100 = 27,26$$

A TAB. 11 ilustra o subsegmento 7, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 11 - Cálculo da diferença do subsegmento 7

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
7	30	357,98				
	98	358,06				
	92	358,06				
	79	358,14				
	118	358,14				
	59	358,22	Média			
	103	358,22	83	29,81	113	26,49

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm)

$$\mathbf{Do(0,01mm)} = 30 + 98 + 92 + 79 + 118 + 59 + 103 = 579$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{\text{média}}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\mathbf{Média (0,01mm)} = 579 / 7 = 83$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(30 - 83)^2 + (98 - 83)^2 + (92 - 83)^2 + (79 - 83)^2 + (118 - 83)^2 + (59 - 83)^2 + (103 - 83)^2}{7 - 1}}$$

$$\mathbf{Desvio} = 29,81$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\mathbf{M + DP (0,01mm)} = D_{\text{MÉDIA}} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 83 + 29,81 = 113$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

CV (%)= $(\sigma/D_{MÉDIA}) \times 100 = (\text{coluna Desvio/coluna M+DP}(0,01\text{mm})) \times 100 =$

CV (%)= $(29,81/113) \times 100 = 26,49$

A TAB. 12 é pertinente ao subsegmento 8, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 12 - Cálculo da diferença do subsegmento 8

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
	65	358,30				
	50	358,30				
	77	358,38				
	50	358,38				
	44	358,46				
	54	358,46				
	96	358,54				
	52	358,54				
	56	358,62				
	78	358,62				
	54	358,70				
8	30	358,70				
	34	358,78				
	85	358,78				
	73	358,86				
	57	358,86				
	50	358,94				
	59	358,94				
	62	359,02				
	78	359,02				
	63	359,10				
	94	359,10				
	38	359,18				
	125	359,18				
	49	359,26	Média			
	90	359,26	64	21,76	86	25,38

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm)

Do(0,01mm)=

$$65+50+77+50+54+30+34+85+73+57+50+59+62+78+63+94+38+125+49+90= 1663$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{\text{média}}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\text{Média (0,01mm)} = 1663/26= 64$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(65 - 64)^2 + (50 - 64)^2 + (77 - 64)^2 + (50 - 64)^2 + (54 - 64)^2 + (30 - 64)^2 + (34 - 64)^2 + (85 - 64)^2 + (73 - 64)^2 + (57 - 64)^2 + (50 - 64)^2 + (59 - 64)^2 + (62 - 64)^2 + (78 - 64)^2 + (63 - 64)^2 + (94 - 64)^2 + (38 - 64)^2 + (125 - 64)^2 + (49 - 64)^2 + (90 - 64)^2}{26 - 1}}$$

$$\text{Desvio} = 21,76$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\text{M + DP (0,01mm)} = D_{\text{MÉDIA}} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 64 + 21,76 = 86$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

$$\text{CV (\%)} = (\sigma / D_{\text{MÉDIA}}) \times 100 = (\text{coluna Desvio} / \text{coluna M+DP(0,01mm)}) \times 100 =$$

$$\text{CV (\%)} = (21,76/86) \times 100 = 26,38$$

A TAB. 13 retrata o subsegmento 9, representado pela rodovia X – SH 14.

Tabela 13 - Cálculo da diferença do subsegmento 9

Subsegmento	Do (0,01mm)	KM	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
9	71	359,34	Média 73	8,44	82	10,32
	64	359,34				
	74	359,40				
	87	359,42				
	71	359,46				

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Os valores demonstrados na tabela foram obtidos utilizando a base de cálculo descrita a seguir:

Soma-se a coluna denominada de Do (0,01mm)

$$\text{Do(0,01mm)} = 71+64+74+ 87+71= 367$$

Encontra-se a média aritmética ($D_{\text{média}}$) dos valores das deflexões na coluna Média (0,01mm)

$$\mathbf{Média (0,01mm) = 367/5 = 73}$$

Calcula-se o desvio padrão (σ) das deflexões na coluna Desvio

Desvio =

$$\sqrt{\frac{(71 - 73)^2 + (64 - 73)^2 + (74 - 73)^2 + (87 - 73)^2 + (71 - 73)^2}{73 - 1}}$$

$$\mathbf{Desvio = 8,44}$$

Calcula-se a deflexão característica (D_0) na coluna M + DP (0,01mm)

$$\mathbf{M + DP (0,01mm) = D_{\text{MÉDIA}} + \sigma = \text{coluna Média} + \text{coluna Desvio} = 73 + 8,44 = 82}$$

Calcula-se o coeficiente de variação na coluna CV (%)

$$\mathbf{CV (\%)} = (\sigma / D_{\text{MÉDIA}}) \times 100 = (\text{coluna Desvio} / \text{coluna M+DP(0,01mm)}) \times 100 =$$

$$\mathbf{CV (\%)} = (8,44/82) \times 100 = 10,32$$

5.5.4 3º etapa – Segmentos Homogêneos

Nesta terceira etapa a planilha “Segmentos Homogêneos” foi dividida em dezesseis colunas que vão de B a Q, a FIG. 10 demonstra como a planilha é apresentada.

Figura 10 - Segmentos Homogêneos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
3		Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	65	91	Extensão CBUQ	CBUQ	109	153	Extensão TSD	TSD
4					FWD	Viga											
5		1	354,700	355,341	0,641	95	113	72				0,641	72				
6		2	355,341	355,741	0,400	115	158	63	TSD							0,400	63
7		3	355,741	356,456	0,715	118	163	116	TSD							0,715	116
8		4	356,456	357,019	0,563	83	89	50	TSD							0,563	50
9		5	357,019	357,338	0,319	116	159	51	TSD							0,319	51
10		6	357,338	357,978	0,640	104	134	85	TSD							0,640	85
11		7	357,978	358,221	0,243	113	152	37	TSD							0,243	37
12		8	358,221	359,260	1,039	86	91	95				1,039	95				
13		9	359,260	359,459	0,199	82	88	18	TSD							0,199	18
14				Total	4,759			588				1,680	145			3,079	220

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Para melhor didática e entendimento dos cálculos a planilha foi dividida e explicada em cinco partes.

5.5.4.1 Colunas B a E – Extensão dos subsegmentos

Na planilha são lançados os subsegmentos, os Km inicial e final de cada um e por meio da fórmula abaixo é calculado sua extensão.

$$EXT.(Km) = KM FINAL - KM INICIAL$$

A FIG. 11 demonstra as extensões dos subsegmentos.

Figura 11 - Extensão dos Subsegmentos

	A	B	C	D	E
2					
3		Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)
4					
5		1	354,700	355,341	0,641
6		2	355,341	355,741	0,400
7		3	355,741	356,456	0,715
8		4	356,456	357,019	0,563
9		5	357,019	357,338	0,319
10		6	357,338	357,978	0,640
11		7	357,978	358,221	0,243
12		8	358,221	359,260	1,039
13		9	359,260	359,459	0,199
14				Total	4,759

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

EXT. Subsegmento 1 - $355,341 - 354,7 = 0,641$

EXT. Subsegmento 2 - $355,741 - 355,341 = 0,4$

EXT. Subsegmento 3 - $356,456 - 355,741 = 0,715$

EXT. Subsegmento 4 - $357,019 - 356,456 = 0,563$

EXT. Subsegmento 5 - $357,338 - 357,019 = 0,319$

EXT. Subsegmento 6 - $357,978 - 357,338 = 0,64$

EXT. Subsegmento 7 - $358,221 - 357,978 = 0,243$

EXT. Subsegmento 8 - $359,26 - 358,221 = 1,039$

EXT. Subsegmento 9 - $359,459 - 359,26 = 0,199$

5.5.4.2 Colunas F a H - Cálculo da deflexão média D_0 (0,001mm)

A coluna D_0 (0,001) foi dividida em outras duas, denominadas de FWD e Viga. Os valores da coluna FWD foram obtidos por meio da fórmula de deflexão característica (D_0) calculada nas planilhas pertinentes a segunda etapa.

A FIG. 12 apresenta o cálculo da deflexão média D_0 (0,01 mm).

Figura 12 - Cálculo da Deflexão Média D_0 (0,01mm)

D_0 (0,01mm)		D_0 (Viga) x EXT.
FWD	Viga	
95	113	72
115	158	63
118	163	116
83	89	50
116	159	51
104	134	85
113	152	37
86	91	95
82	88	18
		588

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Para o cálculo dos valores da coluna Viga, os valores de D_0 obtidos com o FWD foram convertidos para a deflexão de viga *Belkelman* por meio da correlação recomendada pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. (DNIT, 2006).

a) Para deflexões características $D_{FWD} < 85 \times 10^{-2}$ mm

$$D_B = 20,645 (D_{FWD} - 19)^{0,351}$$

$$\text{Subsegmento 4} - D_B = 20,645 (83 - 19)^{0,351} = 89$$

$$\text{Subsegmento 9} - D_B = 20,645 (82 - 19)^{0,351} = 88$$

b) Para deflexões características $D_{FWD} > 85 \times 10^{-2}$ mm

$$D_B = 8,964 (D_{FWD} - 60)^{0,715}$$

$$\text{Subsegmento 1} - D_B = 8,964 (95 - 60)^{0,715} = 113$$

$$\text{Subsegmento 2} - D_B = 8,964 (115 - 60)^{0,715} = 158$$

$$\text{Subsegmento 3} - D_B = 8,964 (118 - 60)^{0,715} = 163$$

$$\text{Subsegmento 5} - D_B = 8,964 (116 - 60)^{0,715} = 159$$

$$\text{Subsegmento 6} - D_B = 8,964 (104 - 60)^{0,715} = 134$$

$$\text{Subsegmento 7} - D_B = 8,964 (113 - 60)^{0,715} = 152$$

$$\text{Subsegmento 8} - D_B = 8,964 (86 - 60)^{0,715} = 91$$

Em que:

- D_B = deflexão característica obtida por viga Benkelman
- D_{FWD} = deflexão característica obtida por FWD

Na coluna H calcula-se a fórmula: $D0 \text{ (Viga)} \times EXT$. (coluna H x coluna E)

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 1} = 113 \times 0,641 = 72$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 2} = 158 \times 0,4 = 63$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 3} = 163 \times 0,715 = 116$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 4} = 89 \times 0,563 = 50$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 5} = 159 \times 0,319 = 51$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 6} = 134 \times 0,64 = 85$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 7} = 152 \times 0,243 = 37$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 8} = 91 \times 1,039 = 95$$

$$D0 \text{ (Viga)} \times EXT - \text{Subsegmento 9} = 88 \times 0,199 = 18$$

5.5.4.3 Coluna I – Tipo de Pavimento

A FIG. 13 ilustra a coluna: Tipo de Pavimento, na qual, os subsegmentos são classificados em dois tipos de pavimento: CBUQ e TSD, esta definição foi repassada pela própria Concessionária responsável pelo trecho.

Figura 13 - Tipo de Pavimento

I
Tipo de Pavimento
TSD

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Quando o pavimento apresentado for CBUQ a célula ficará em branco e quando for TSD ficará escrito TSD.

5.5.4.4 Coluna J a M – Cálculo CBUQ

Na FIG. 14 as colunas de J a M é calculada a deflexão média (0,01) para tipo de pavimento CBUQ.

Figura 14 - Cálculo para pavimento tipo CBUQ

J	K	L	M
65	91	Extensão CBUQ	CBUQ
		0,641	72
		1,039	95
		1,680	145

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

A coluna viga CBUQ foi dividida em outras duas, nas quais foram calculadas as seguintes expressões:

- Coluna J – Deflexão admissível (D_{ADM})

Sendo D_{ADM} calculado pela expressão DNER PRO 269/94:

$$\text{Log}(D_{ADM}) \leq 3,148 - 0,188 \cdot \text{Log}(N)$$

$$D_{ADM} = (10^{(3,148 - 0,188 \cdot \text{Log}(1,28 \times 10^7))})$$

$$D_{ADM} = 65$$

- Coluna K - $D_{ADM} \times 1,4$

$$D_{ADM} \times 1,4 = 65 \times 1,4 = 91$$

Em que:

N: número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2t

$D_{ADM} \times 1,4$: adotada como critério de cálculo pela empresa fiscalizadora

A coluna L – Extensão CBUQ, apresentou as extensões dos subsegmentos para pavimento tipo CBUQ. Estes valores foram somados e o resultado calculado na última célula da coluna.

$$\text{Extensão CBUQ} = 0,641 + 1,039 = 1,68$$

Na coluna CBUQ, foram inseridos os valores da coluna H - (D_0 (Viga) x EXT.), para pavimento tipo CBUQ. As linhas das colunas L e M foram multiplicadas e estes valores somados, o resultado apresentado na última célula da coluna CBUQ.

$$\text{Coluna CBUQ} = (0,641 \times 72) + (1,039 \times 95) = 145$$

5.5.4.5 Coluna N a Q – Cálculo TSD

A FIG. 15 ilustra as colunas de N a Q, nas quais, foi calculada a deflexão média (0,01) para pavimento tipo TSD.

Figura 15 - Cálculo para pavimento tipo TSD

		N	O	P	Q
Viga TSD					
109	153			Extensão TSD	TSD
				0,400	63
				0,715	116
				0,563	50
				0,319	51
				0,640	85
				0,243	37
				0,199	18
				3,079	220

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

A coluna viga TSD foi dividida em outras duas, nestas foram calculadas as seguintes expressões:

- Coluna N – Deflexão admissível (D_{ADM})

Sendo D_{ADM} calculado pela expressão DNER PRO 011/79:

$$(\text{Log}(D_{ADM}) \leq 3,01 - 0,176 \cdot \text{Log}(N))$$

$$D_{ADM} = (10^{(3,01-0,179 \times \text{LOG}_{10}(1,28 \times 10^7)})) \times 2 =$$

$$D_{ADM} = 109$$

- Coluna O - $D_{ADM} \times 1,4$ (coluna J $\times 1,4$)

$$D_{ADM} \times 1,4 = 109 \times 1,4 = 1530$$

Em que:

N: número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2t

$D_{ADM} \times 1,4$: adotada como critério de cálculo por empresa alfa.

A coluna P – Extensão TSD, apresentou as extensões dos subsegmentos para pavimento tipo TSD, estes valores foram somados e o resultado apresentado na última célula da coluna.

$$\text{Extensão TSD} = 0,4 + 0,715 + 0,563 + 0,319 + 0,64 + 0,243 + 0,199 = 3,079$$

Na coluna Q – TSD, foram inseridos os valores da coluna H - (DO (Viga) $\times EXT.$), para pavimento tipo TSD. As linhas das colunas P e Q foram multiplicadas, estes valores somados e o resultado apresentado na última célula da coluna Q.

TSD=

$$(63 \times 0,400) + (116 \times 0,715) + (50 \times 0,563) + (51 \times 0,319) + (85 \times 0,640) + (37 \times 0,243) + (18 \times 0,199)$$

TSD= 220

5.5.5 4º etapa – Nota final do segmento

Para o cálculo da nota final foi utilizada a planilha “Nota final do segmento” (FIG.16), sendo que na coluna C foram inseridos os dois tipos de pavimento CBUQ e TSD e na D calculada a Deflexão Média do Segmento (0,01 mm) - D_{SH} . (FIG. 13).

Figura 16 - Nota final do segmento 14

	A	B	C	D	E	F
2			Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm)	Nota	Nota do Segmento
3			CBUQ	86	REGULAR	REGULAR
4			TSD	71	BOM	

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

Para o cálculo da deflexão média de pavimento CBUQ foram utilizados os resultados das colunas L e M da planilha “Segmento Homogêneo”, sendo o

resultado da coluna M dividido pelo da coluna L. E para pavimento tipo TSD o resultado das colunas Q dividido pelo da coluna P.

Deflexão média (D_{SH}) CBUQ = $145/1,680 = 86$

Deflexão média (D_{SH}) TSD = $220/3,079 = 71$

Os valores encontrados na coluna D terão nota BOM, REGULAR OU RUIM, dadas pelas seguintes expressões:

$D_{SH} < D_{ADM}$	BOM
$D_{ADM} < D_{SH} < 1,4. D_{ADM}$	REGULAR
$D_{SH} > 1,4. D_{ADM}$	RUIM

Sendo:

- D_{SH} : Deflexão Média (0,01 mm) do Segmento, calculado na coluna D da planilha “Nota Final do Segmento”.
- D_{ADM} : Deflexão Admissível, calculado na planilha “Segmentos Homogêneos” coluna J para pavimento tipo CBUQ e coluna N para TSD.

CBUQ

$D_{SH} = 86$

$D_{ADM} = 65$ assim, $D_{ADM} < D_{SH} < 1,4. D_{ADM} =$
 $1,4. D_{ADM} = 91$ $65 < 86 < 91 = \text{REGULAR}$

TSD

$D_{SH} = 71$

$D_{ADM} = 109$ assim, $D_{SH} < D_{ADM} =$
 $1,4. = 153$ $71 < 109 = \text{BOM}$
 D_{ADM}

A nota final do segmento seguirá a seguinte expressão: caso os dois tipos de pavimentos possuam a mesma nota, a nota final será a mesma apresentada por estes. Porém se as notas dos dois tipos de pavimentos forem diferentes, a menor nota prevalecerá. Pode ocorrer de o segmento apresentar apenas um tipo de pavimento, sendo assim, a nota final será a apresentada por este.

A FIG.17 demonstra um comparativo das notas obtidas nos anos de 2013 e 2014, sendo que foi utilizado o mesmo procedimento para todos os segmentos.

Figura 17 - Comparativo das notas dos segmentos nos anos de 2013 e 2014

DEFLEXÃO ADMISSÍVEL																					
2014											2013										
SH	Número N	CBUQ				TSD				Nota SH	SH	Número N	CBUQ				TSD				Nota SH
		Deflexão	D _{adm}	1,4'D _{adm}	Nota	Deflexão	D _{adm}	1,4'D _{adm}	Nota				Deflexão	D _{adm}	1,4'D _{adm}	Nota	Deflexão	D _{adm}	1,4'D _{adm}	Nota	
1	1,59E+07	69	62	87	REGULAR		105	147		REGULAR	1	1,31E+07	83	65	90	REGULAR		109	152		REGULAR
2	1,43E+07	74	64	89	REGULAR	48	107	150	BOM	REGULAR	2	1,18E+07	61	66	92	BOM	70	111	155	BOM	BOM
3	1,61E+07		62	87		42	105	147	BOM	BOM	3	1,33E+07	77	64	90	REGULAR	60	109	152	BOM	REGULAR
4	1,67E+07	79	62	86	REGULAR	66	104	146	BOM	REGULAR	4	1,38E+07	121	64	90	RUIM	115	108	151	REGULAR	RUIM
5	1,46E+07	76	63	89	REGULAR	77	107	150	BOM	REGULAR	5	1,20E+07	87	66	92	REGULAR	70	111	155	BOM	REGULAR
6	1,62E+07	72	62	87	REGULAR	118	105	147	REGULAR	REGULAR	6	1,33E+07	79	64	90	REGULAR		109	152		REGULAR
7	1,04E+07	130	67	94	RUIM	113	113	159	BOM	RUIM	7	8,59E+06	84	70	98	REGULAR	93	117	164	BOM	REGULAR
8	1,21E+07	59	66	92	BOM	54	110	155	BOM	BOM	8	9,95E+06	93	68	95	REGULAR	83	114	160	BOM	REGULAR
9	1,46E+07	70	63	89	REGULAR	99	107	150	BOM	REGULAR	9	1,21E+07	69	66	92	REGULAR	68	110	155	BOM	REGULAR
10	6,39E+06	50	74	103	BOM	53	124	173	BOM	BOM	10	5,27E+06	75	77	107	BOM	78	128	179	BOM	BOM
11	7,14E+06	50	72	101	BOM	47	121	170	BOM	BOM	11	5,89E+06	82	75	105	REGULAR	79	126	176	BOM	REGULAR
12	9,18E+06	68	69	97	BOM	55	116	162	BOM	BOM	12	7,58E+06	76	72	100	REGULAR	78	120	168	BOM	REGULAR
13	1,36E+07	141	64	90	RUIM	96	108	151	BOM	RUIM	13	1,12E+07	117	66	93	RUIM	92	112	157	BOM	RUIM
14	1,28E+07	86	65	91	REGULAR	71	109	153	BOM	REGULAR	14	1,06E+07	121	67	94	RUIM	144	113	158	REGULAR	RUIM
15	1,68E+07	73	62	86	REGULAR	66	104	146	BOM	REGULAR	15	1,39E+07	75	64	89	REGULAR	97	108	151	BOM	REGULAR
16	1,96E+07		60	84		46	101	142	BOM	BOM	16	1,62E+07	85	62	87	REGULAR		105	147		REGULAR
17	1,61E+07	83	62	87	REGULAR	71	105	147	BOM	REGULAR	17	1,33E+07	125	64	90	RUIM	87	109	152	BOM	RUIM
18	9,88E+06	57	68	95	BOM	69	115	160	BOM	BOM	18	8,15E+06	118	71	99	RUIM	113	119	166	BOM	RUIM
19	1,03E+07	31	68	95	BOM	23	114	159	BOM	BOM	19	8,53E+06	107	70	98	RUIM	76	118	165	BOM	RUIM
20	9,39E+06		69	96		94	116	162	BOM	BOM	20	7,75E+06	77	71	100	REGULAR	72	120	167	BOM	REGULAR

Fonte: Adaptado Empresa Alfa (2015)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após terem sido apresentadas as notas de deflexões referentes aos anos 2013 e 2014, um aspecto que chamou atenção foi o fato de alguns segmentos terem obtidos notas distintas de um ano para o outro. No intuito de avaliar as causas dessas diferenças, esses segmentos foram submetidos a uma análise individual.

Para servir de parâmetro comparativo foram analisados os segmentos 7, 8, 12 e 18. Os demais segmentos, que apresentaram notas distintas, não foram analisados, por serem considerados similares aos segmentos estudados.

6.1 Análise do segmento 14

Após o desenvolvimento dos cálculos do segmento 14 no ano de 2014, foram analisados os resultados do segmento no ano de 2013, sendo detalhadas as razões que levaram a diferença entre as notas obtidas. Neste ano o segmento foi dividido em 5 subsegmentos. (TAB. 14). Os resultados pertinentes às etapas de cálculo foram detalhados nas tabelas subsequentes.

Tabela 14 - Diferença do segmento 14, ano 2013

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio Padrão	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	64	17,07	81	20,97
2	93	29,82	123	24,27
3	74	29,50	104	28,39
4	93	40,74	134	30,48
5	78	26,15	104	25,11

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 15 abordou o cálculo da etapa segmento homogêneo 14, ano 2013.

Tabela 15 - Segmento homogêneo 14, ano 2013

Subsegmento	EXTENSÃO DO SEGMENTO HOMOGÊNEO			4,68		Viga CBUQ					Viga TSD		Extensão TSD	TSD	
	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	67	94	Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	113			158
				FWD	Viga										
1	354,600	355,440	0,840	81	88	74			0,840	74					
2	355,440	355,960	0,520	123	173	90			0,520	90					
3	355,960	357,600	1,640	104	134	220					tsd			1,640	219,736
4	357,600	358,160	0,560	134	194	109					tsd			0,560	108,584
5	358,160	359,280	1,120	104	134	151					tsd			1,120	150,534
		Total	4,680			643			1,360	164				3,320	479

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 16 sintetizou a etapa final do segmento, sendo que a nota obtida deste segmento foi considerada ruim.

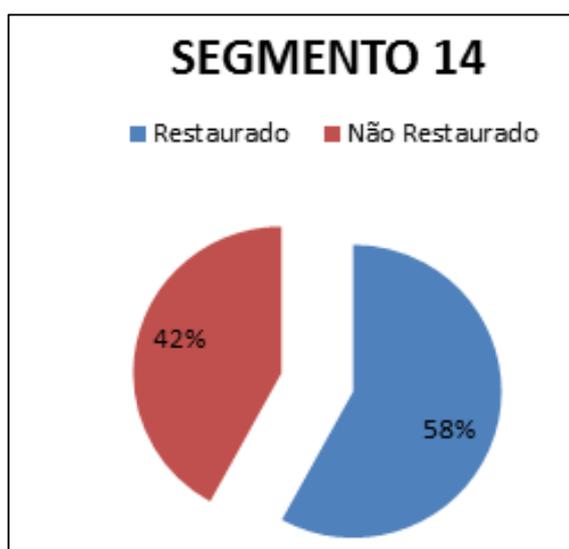
Tabela 16 - Nota final segmento 14, ano 2013.

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	121	RUIM	RUIM
TSD	144	REGULAR	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

Comparando as notas do segmento 14 nos anos de 2013 e 2014, observou-se que no ano de 2013 o segmento obteve nota ruim e no ano de 2014 a nota aumentou para regular. As razões que impactaram, positivamente, nesse resultado foram a restauração feita por meio da reciclagem do pavimento. Porém, observa-se que a nota não obteve um aumento significativo. Isto ocorreu em razão da restauração não ter sido feita na totalidade do trajeto, sendo que a porcentagem referente à restauração foi na ordem de 58%, enquanto o trecho não restaurado representou 42%, justificando a nota obtida. (GRAF. 1).

Gráfico 1 - Percentual restaurado no segmento 14



Fonte: Dados da Pesquisa (2015)

6.2 Análise do Segmento 7

O segmento 7 possui 11,7 Km de extensão. Em 2013, este segmento foi dividido em 14 subsegmentos. (TAB. 17). As etapas de cálculo foram descritas nas tabelas subsequentes.

Tabela 17 - Diferença segmento 7, ano 2013

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	47	19,58	66	29,60
2	70	29,10	99	29,51
3	62	16,58	78	21,18
4	58	9,44	67	14,07
5	39	14,32	53	26,88
6	58	16,77	75	22,28
7	65	9,97	75	13,24
8	52	15,03	67	22,56
9	74	18,38	92	19,98
10	49	12,83	62	20,61
11	57	17,97	75	23,88
12	67	25,20	93	27,20
13	35	24,54	59	41,55
14	49	15,30	65	23,70

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A etapa segmentos homogêneos foi descrita na TAB. 18.

Tabela 18 - Segmento homogêneo 7, ano 2013

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)			Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	70	98				117	164		
				FWD	Viga										
1	132,040	132,480	0,440	66	80	35				tsd			0,440	35	
2	132,480	133,200	0,720	99	122	88				tsd			0,720	88	
3	133,200	134,080	0,880	78	87	76		0,880	76						
4	134,080	134,280	0,200	67	80	16				tsd			0,200	16	
5	134,280	134,880	0,600	53	71	43				tsd			0,600	43	
6	134,880	136,680	1,800	75	85	153		1,800	153						
7	136,680	137,080	0,400	75	85	34		0,400	34						
8	137,080	138,320	1,240	67	80	99				tsd			1,240	99	
9	138,320	140,080	1,760	92	107	188				tsd			1,760	188	
10	140,080	140,680	0,600	62	77	46		0,600	46						
11	140,680	142,000	1,320	75	85	112				tsd			1,320	112	
12	142,000	142,360	0,360	93	108	39		0,360	39						
13	142,360	142,960	0,600	59	75	45		0,600	45						
14	142,960	143,680	0,720	65	79	57		0,720	57						
Total			11,640			1032		5,360	451				6,280	582	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A etapa nota final do segmento foi apresentada na TAB. 19, os resultados obtidos demonstraram que a avaliação deste segmento obteve nota regular.

Tabela 19 - Nota final segmento 7, ano 2013

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	84	REGULAR	REGULAR
TSD	93	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 20 apresentou a subdivisão do segmento 7, no de 2014. Esse segmento foi dividido em 11 subsegmentos. Os resultados obtidos nas etapas de cálculos foram apresentados nas tabelas subsequentes.

Tabela 20 - Diferença segmento 7, ano 2014

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	61	29,09	90	32
2	75	21,56	97	22
3	57	15,55	73	21
4	83	21,01	104	20
5	67	18,37	85	22
6	74	13,97	88	16
7	47	11,93	59	20
8	82	18,43	100	18
9	52	19,46	72	27
10	41	15,79	57	28
11	66	10,28	76	13

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 21 apresentou a etapa segmento homogêneo 7, ano de 2014.

Tabela 21 - Segmento homogêneo 7, ano de 2014

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga			67	94			113	159		
1	132,000	133,166	1,166	90	102	119	TSD							1,166	119
2	133,166	134,205	1,039	97	118	122			1,039	122					
3	134,205	135,042	0,837	73	84	70	TSD							0,837	70
4	135,042	135,281	0,239	104	135	32	TSD							0,239	32
5	135,281	137,120	1,839	85	90	165			1,839	165					
6	137,120	137,602	0,482	88	96	46	TSD							0,482	46
7	137,602	138,363	0,761	59	76	57	TSD							0,761	57
8	138,363	140,122	1,759	100	126	221	TSD							1,759	221
9	140,122	140,962	0,840	72	83	70	TSD							0,840	70
10	142,525	143,326	0,801	57	74	59			0,801	59					
11	143,326	143,711	0,385	76	85	33	TSD							0,385	33
		Total	10,148			996			3,679	478				6,469	731

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A nota final do segmento 7 foi descrita na TAB. 22.

Tabela 22 - Nota final segmento 7, ano de 2014

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	130	RUIM	RUIM
TSD	113	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

Comparando as notas do segmento 7 nos anos de 2013 e 2014, é possível observar que no ano de 2013 o segmento obteve nota regular, enquanto em 2014 sua nota foi considerada ruim. A piora na avaliação pode ser justificada pelo fato de não ter sido feita nenhuma obra de recuperação. Além disso, o pavimento sofreu desgaste, provavelmente, provocado por intempérie, excesso de carga e pelo fluxo do trânsito ao longo dos dois anos, impactando, negativamente, na nota obtida.

6.3 Análise do Segmento 8

O segmento 8 possui 21,1 Km de extensão, no ano de 2013 o segmento foi dividido em 39 subsegmentos. (TAB. 23). Os resultados pertinentes às etapas de cálculo foram detalhados nas tabelas subsequentes.

Tabela 23 - Diferença segmento 8, ano de 2013

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)
1	60	13,65	73
2	35	6,74	42
3	51	15,88	67
4	46	13,31	59
5	39	18,82	58
6	48	27,07	75
7	48	15,08	63
8	58	18,70	76
9	49	18,72	68
10	62	15,99	78

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)
11	50	13,59	64
12	87	15,32	102
13	54	17,22	72
14	57	15,64	72
15	39	18,30	58
16	54	17,95	72
17	60	15,33	75
18	39	11,26	50
19	63	24,11	87
20	53	14,97	68
21	70	18,00	88
22	52	12,30	64
23	60	35,05	95
24	63	24,79	88
25	85	27,21	112
26	62	14,53	77
27	53	19,86	73
28	54	26,06	80
29	38	22,57	61
30	57	27,84	85
31	49	21,77	71
32	44	8,94	53
33	51	12,27	63
34	56	30,33	86
35	63	29,24	93
36	48	11,79	59
37	65	17,99	83
38	63	11,50	75
39	45	14,40	59

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 24 ilustra a etapa segmento homogêneo 8, ano de 2013.

Tabela 24 - Segmento homogêneo 8, ano de 2013

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)			Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				D ₀ (Viga) x EXT.		68	95	114				160			
				FWD	Viga										
1	143,720	144,280	0,560	73	84	47				tsd			0,560	47	
2	144,280	144,680	0,400	42	62	25				tsd			0,400	25	
3	144,680	144,920	0,240	67	80	19				tsd			0,240	19	
4	144,920	145,240	0,320	59	75	24				tsd			0,320	24	
5	145,240	145,520	0,280	58	75	21				tsd			0,280	21	
6	145,520	146,000	0,480	75	85	41				tsd			0,480	41	
7	146,000	146,680	0,680	63	78	53				tsd			0,680	53	
8	146,680	147,040	0,360	76	86	31				tsd			0,360	31	
9	147,040	148,000	0,960	68	81	78				tsd			0,960	78	
10	148,000	148,360	0,360	78	86	31				tsd			0,360	31	
11	148,360	148,560	0,200	64	78	16				tsd			0,200	16	
12	148,560	149,040	0,480	102	131	63				tsd			0,480	63	
13	149,040	150,160	1,120	72	83	93				tsd			1,120	93	
14	150,160	151,160	1,000	72	83	83				tsd			1,000	83	
15	151,160	151,520	0,360	58	74	27				tsd			0,360	27	
16	151,520	152,000	0,480	72	83	40				tsd			0,480	40	
17	152,000	152,280	0,280	75	85	24			0,280	24					
18	152,280	152,480	0,200	50	69	14			0,200	14					

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)			Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	68	95				114	160		
				FWD	Viga										
19	152,480	152,840	0,360	87	95	34			0,360	34					
20	152,840	153,200	0,360	68	81	29			0,360	29					
21	153,200	153,800	0,600	88	96	58			0,600	58					
22	153,800	154,560	0,760	64	79	60			0,760	60					
23	154,560	154,800	0,240	95	114	27			0,240	27					
24	154,800	155,560	0,760	88	97	74			0,760	74					
25	155,560	156,800	1,240	112	152	188			1,240	188					
26	156,800	157,280	0,480	77	86	41			0,480	41					
27	157,280	158,040	0,760	73	84	64			0,760	64					
28	158,040	158,520	0,480	80	87	42			0,480	42					
29	158,520	159,240	0,720	61	76	55			0,720	55					
30	159,240	159,560	0,320	85	90	29			0,320	29					
31	159,560	160,120	0,560	71	82	46			0,560	46					
32	160,120	160,320	0,200	53	71	14			0,200	14					
33	160,320	160,800	0,480	63	78	37			0,480	37					
34	160,800	161,520	0,720	86	93	67			0,720	67					
35	161,520	161,840	0,320	93	108	35			0,320	35					
36	161,840	162,280	0,440	59	76	33			0,440	33					
37	162,280	163,600	1,320	83	89	117			1,320	117					
38	163,600	163,960	0,360	75	85	30			0,360	30					
39	163,960	164,800	0,840	59	75	63					tsd		0,840	63	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 25 mensura a nota final do segmento 8, ano 2013. Os resultados demonstram que a nota obtida nesse segmento foi considerada regular.

Tabela 25 - Nota final segmento 8, ano 2013

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	93	REGULAR	REGULAR
TSD	83	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 26 detalhou os 40 subsegmentos resultantes da divisão que o segmento 8 sofreu no ano de 2014. As etapas de cálculos apresentaram os resultados descritos nas tabelas a seguir.

Tabela 26 - Diferença segmento 8, ano 2014

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	64	13,79	78	17,67
2	47	13,64	60	22,68
3	54	20,01	74	26,88
4	39	13,03	52	25,11
5	68	16,26	84	19,39
6	45	20,65	66	31,25
7	61	19,09	80	23,98
8	42	19,09	80	23,98
9	45	14,24	56	25,48
10	73	11,03	84	13,09
11	51	10,68	61	17,37
12	68	15,03	83	18,16
13	63	10,67	73	14,55
14	76	14,09	90	15,61
15	52	10,54	63	16,85
16	34	12,44	46	26,79
17	61	12,40	73	16,94
18	54	11,84	66	17,90
19	63	10,43	73	14,22
20	64	16,28	81	20,19

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
21	71	14,35	85	16,92
22	44	19,52	64	30,62
23	67	21,62	88	24,46
24	76	16,70	93	17,98
25	86	24,10	110	21,81
26	44	15,30	59	25,94
27	57	22,10	79	28,03
28	39	9,43	49	19,43
29	68	5,92	74	8,00
30	34	15,87	50	31,69
31	54	20,72	74	27,84
32	54	10,84	64	16,83
33	72	7,45	80	9,34
34	44	13,10	57	22,91
35	74	15,15	89	16,93
36	47	11,05	59	18,89
37	69	17,96	87	20,72
38	61	12,78	73	17,41
39	66	14,73	81	18,28
40	48	18,04	66	27,45

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 27 apresentou o segmento homogêneo 8, ano 2014.

Tabela 27 - Segmento homogêneo 8, ano 2014

Subsegmentos	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga			66	92			110	155		
1	143,700	144,265	0,565	78	86	49	TSD							0,565	49
2	144,265	144,663	0,398	60	76	30	TSD							0,398	30
3	144,663	145,146	0,483	74	84	41	TSD							0,483	41
4	145,146	145,461	0,315	52	70	22	TSD							0,315	22
5	145,461	145,701	0,240	84	89	21	TSD							0,240	21
6	145,701	146,021	0,320	66	80	26	TSD							0,320	26
7	146,021	147,143	1,122	80	87	98	TSD							1,122	98
8	147,143	147,546	0,403	56	73	30	TSD							0,403	30
9	147,546	148,504	0,958	61	76	73	TSD							0,958	73
10	148,504	148,901	0,397	84	89	36	TSD							0,397	36
11	148,901	149,468	0,567	61	77	44	TSD							0,567	44
12	149,468	149,945	0,477	83	89	42	TSD							0,477	42
13	149,945	150,665	0,720	73	84	60	TSD							0,720	60
14	150,665	150,903	0,238	90	103	24				0,238	24				
15	150,903	151,220	0,317	63	78	25				0,317	25				
16	151,220	151,460	0,240	46	66	16				0,240	16				
17	151,460	151,866	0,406	73	84	34				0,406	34				
18	151,866	152,342	0,476	66	80	38				0,476	38				
19	152,342	152,744	0,402	73	84	34				0,402	34				

Subsegmentos	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	Viga CBUQ		Viga TSD		Extensão TSD	TSD		
				FWD	Viga			66	92	Extensão CBUQ	CBUQ			110	155
20	152,744	153,383	0,639	81	88	56			0,639	56					
21	153,383	153,940	0,557	85	90	50			0,557	50					
22	153,940	154,748	0,808	64	78	63			0,808	63					
23	154,748	155,385	0,637	88	98	62			0,637	62					
24	155,385	156,026	0,641	93	109	70			0,641	70					
25	156,026	157,146	1,120	110	148	166			1,120	166					
26	157,146	157,782	0,636	59	75	48			0,636	48					
27	157,782	158,263	0,481	79	87	42	TSD					0,481	42		
28	158,263	158,901	0,638	49	68	43	TSD					0,638	43		
29	158,901	159,302	0,401	74	84	34	TSD					0,401	34		
30	159,302	159,700	0,398	50	69	27	TSD					0,398	27		
31	159,700	160,266	0,566	74	84	48	TSD					0,566	48		
32	160,266	160,741	0,475	64	79	37			0,475	37					
33	160,741	160,984	0,243	80	87	21			0,243	21					
34	160,984	161,465	0,481	57	74	36			0,481	36					
35	161,465	161,705	0,240	89	101	24			0,240	24					
36	161,705	162,178	0,473	59	75	35			0,473	35					
37	162,178	162,666	0,488	87	94	46			0,488	46					
38	162,666	163,785	1,119	73	84	94	TSD					1,119	94		
39	163,785	164,264	0,479	81	88	42	TSD					0,479	42		
40	164,264	164,866	0,602	66	80	48	TSD					0,602	48		

A TAB. 28 mensura a nota final do segmento 8, ano 2014. Os resultados permitem demonstrar a avaliação positiva do segmento, que foi considerado bom.

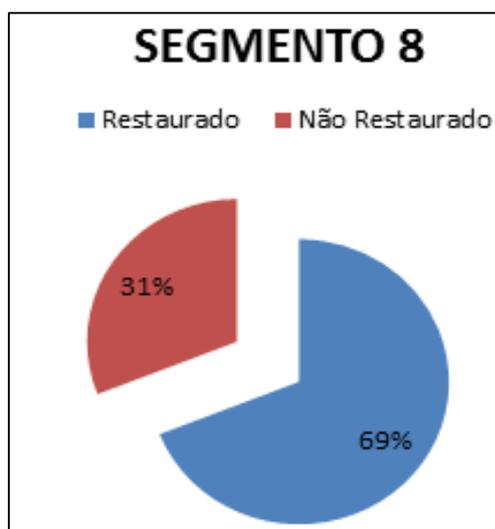
Tabela 28 - Nota final segmento 8, ano 2014

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	59	BOM	BOM
TSD	54	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

Comparando as notas do segmento 8 nos anos de 2013 e 2014, foi possível verificar um aumento positivo na avaliação. A avaliação foi considerada regular em 2013, e teve seu desempenho avaliado como bom em 2014. O motivo deste aumento foi a restauração de 68% deste trecho em 2014. Essa restauração foi feita por meio de Tratamento Superficial Duplo (TSD), impactando, positivamente, na nota obtida. (GRAF. 2).

Gráfico 2 - Percentual restaurado no segmento 8



Fonte: Dados da Pesquisa (2015)

6.4 Análise do Segmento 12

No ano de 2013, o segmento 12 foi dividido em 51 subsegmentos, retratados na TAB. 29, sendo que as etapas de cálculo apresentaram os resultados descritos a seguir.

Tabela 29 - Diferença segmento 12, ano 2013

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)
1	36	7,06	43
2	57	17,23	74
3	62	18,61	81
4	63	16,27	79
5	27	7,32	34
6	63	17,56	81
7	32	9,34	42
8	51	15,62	67
9	41	20,01	61
10	54	16,20	70
11	33	5,20	38
12	51	26,17	77
13	59	17,36	76
14	32	5,96	38
15	60	26,08	86
16	48	16,06	64
17	21	5,24	27
18	47	13,25	60
19	80	26,86	107
20	47	9,32	56
21	55	13,33	68
22	28	11,00	39
23	73	21,62	94
24	43	7,95	51
25	75	13,16	88
26	47	11,75	59
27	43	9,84	53
28	67	16,95	84
29	45	15,05	60
30	46	16,02	62
31	51	10,01	61
32	49	17,08	66
33	53	9,97	63

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)
34	50	14,02	64
35	42	10,61	52
36	39	15,79	55
37	37	13,99	51
38	49	14,50	64
39	50	10,90	60
40	48	16,73	65
41	39	13,23	52
42	63	18,01	81
43	43	8,17	51
44	53	14,94	68
45	31	8,58	39
46	40	13,95	54
47	46	11,25	57
48	30	11,86	42
49	50	22,12	72
50	33	14,52	48
51	30	9,57	39

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 30 abordou a etapa segmento homogêneo 12, ano 2013.

Tabela 30 - Segmento homogêneo 12, ano 2013

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)			Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga	D ₀ (Viga) x EXT.	72	100				120	168		
1	284,700	284,960	0,260	43	63	16				Tsd			0,260	16	
2	284,960	285,800	0,840	74	85	71				Tsd			0,840	71	
3	285,800	287,200	1,400	81	88	123				Tsd			1,400	123	
4	287,200	289,000	1,800	79	87	156				Tsd			1,800	156	
5	289,000	289,400	0,400	34	54	22		0,400	22						
6	289,400	289,880	0,480	81	88	42		0,480	42						
7	289,880	290,640	0,760	42	62	47		0,760	47						
8	290,640	291,960	1,320	67	80	106		1,320	106						
9	291,960	293,000	1,040	61	77	80				Tsd			1,040	80	
10	293,000	293,440	0,440	70	82	36		0,440	36						
11	293,440	293,720	0,280	38	58	16		0,280	16						
12	293,720	293,960	0,240	77	86	21		0,240	21						
13	293,960	294,520	0,560	76	86	48				Tsd			0,560	48	
14	294,520	295,000	0,480	38	58	28				Tsd			0,480	28	
15	295,000	295,960	0,960	86	93	90		0,960	90						
16	295,960	296,480	0,520	64	78	41				Tsd			0,520	41	
17	296,480	296,800	0,320	27	42	13				Tsd			0,320	13	
18	296,800	297,440	0,640	60	76	49				Tsd			0,640	49	

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga		72	100				120	168		
19	297,440	298,000	0,560	107	141	79					Tsd			0,560	79
20	298,000	298,960	0,960	56	73	70		0,960	70						
21	298,960	300,360	1,400	68	81	113		1,400	113						
22	300,360	300,960	0,600	39	59	36		0,600	36						
23	300,960	301,720	0,760	94	112	85					Tsd			0,760	85
24	301,720	302,000	0,280	51	70	19					Tsd			0,280	19
25	302,000	302,280	0,280	88	97	27					Tsd			0,280	27
26	302,280	302,960	0,680	59	75	51		0,680	51						
27	302,960	303,840	0,880	53	71	63					Tsd			0,880	63
28	303,840	304,680	0,840	84	89	75					Tsd			0,840	75
29	304,680	305,360	0,680	60	76	51		0,680	51						
30	305,360	307,800	2,440	62	77	189		2,440	189						
31	307,800	308,960	1,160	61	77	89		1,160	89						
32	308,960	310,400	1,440	66	80	114					Tsd			1,440	114
33	310,400	310,880	0,480	63	78	37		0,480	37						
34	310,880	311,600	0,720	64	78	57					Tsd			0,720	57
35	311,600	312,680	1,080	52	71	76		1,080	76						
36	312,680	313,560	0,880	55	73	64					Tsd			0,880	64
37	313,560	314,040	0,480	51	70	34					Tsd			0,480	34
38	314,040	315,640	1,600	64	78	126					Tsd			1,600	126
39	315,640	317,360	1,720	60	76	131					Tsd			1,720	131
40	317,360	318,880	1,520	65	79	120					Tsd			1,520	120

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga		72	100				120	168		
41	318,880	320,240	1,360	52	70	96					Tsd			1,360	96
42	320,240	322,040	1,800	81	88	158					Tsd			1,800	158
43	322,040	322,800	0,760	51	70	53					Tsd			0,760	53
44	322,800	323,880	1,080	68	81	87					Tsd			1,080	87
45	323,880	325,080	1,200	39	59	71					Tsd			1,200	71
46	325,080	326,360	1,280	54	72	92					Tsd			1,280	92
47	326,360	327,800	1,440	57	74	106					Tsd			1,440	106
48	327,800	329,000	1,200	42	62	75					Tsd			1,200	75
49	329,000	329,520	0,520	72	83	43					Tsd			0,520	43
50	329,520	330,280	0,760	48	67	51					Tsd			0,760	51
51	330,280	331,000	0,720	39	59	43					Tsd			0,720	43
Total			46,300			3587			14,360	1092				31,940	2495

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 31 disponibilizou a nota final do segmento 12, ano 2013, sendo que os resultados demonstraram a avaliação regular desse segmento.

Tabela 31 - Nota final do segmento 12, ano 2013

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	76	REGULAR	REGULAR
TSD	78	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

No ano de 2014 o segmento 12 foi dividido em 81 subsegmentos descritos na TAB. 32; as etapas de cálculos apresentaram os resultados descritos abaixo.

Tabela 32 - Diferença segmento 12, ano 2014

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	53	12,71	66	19,38
2	66	14,87	81	18,40
3	71	14,31	85	16,76
4	62	12,24	74	16,55
5	71	10,74	82	13,11
6	32	10,18	42	24,14
7	40	11,45	51	22,32
8	54	17,77	72	24,66
9	34	9,40	43	21,72
10	67	15,58	83	18,86
11	41	3,65	45	8,18
12	47	19,06	66	28,94
13	59	15,83	74	21,28
14	38	14,77	52	28,26
15	31	6,17	37	16,74
16	48	9,61	57	16,82
17	58	17,59	76	23,18
18	68	11,14	79	14,10
19	40	9,01	49	18,52
20	61	19,02	80	23,91
21	63	16,03	79	20,20
22	63	6,30	70	9,07
23	33	9,65	43	22,59

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
24	55	14,34	69	20,68
25	86	11,39	97	11,75
26	58	17,20	75	22,92
27	45	8,54	54	15,91
28	61	12,87	74	17,39
29	43	9,65	52	18,42
30	34	14,61	49	30,09
31	67	11,15	78	14,27
32	83	10,17	93	10,97
33	52	22,07	74	29,95
34	75	11,53	87	13,26
35	45	10,85	55	19,58
36	60	12,71	73	17,41
37	44	9,03	53	16,92
38	31	7,92	39	20,13
39	45	9,18	54	16,90
40	41	6,54	48	13,74
41	56	9,47	65	14,52
42	48	9,91	58	17,17
43	66	8,49	74	11,39
44	54	10,72	65	16,48
45	42	14,80	57	25,87
46	60	14,05	74	19,05
47	48	12,44	60	20,67
48	56	15,82	72	22,03
49	41	3,26	44	7,43
50	46	10,85	56	19,25
51	43	19,40	63	30,96
52	37	11,43	48	23,60
53	41	11,18	52	21,50
54	58	13,36	71	18,85
55	45	10,13	55	18,52
56	63	10,89	74	14,79
57	52	10,84	63	17,20
58	33	10,15	43	23,49
59	62	13,04	75	17,47
60	45	7,88	53	14,87
61	60	16,89	77	21,94
62	35	8,32	43	19,31
63	43	17,00	60	28,26
64	67	16,66	84	19,83
65	44	14,99	59	25,46
66	60	9,85	70	14,12

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
67	54	12,87	66	19,37
68	39	9,00	48	18,86
69	64	17,61	81	21,70
70	37	11,65	49	23,95
71	49	12,51	61	20,45
72	57	25,35	82	30,93
73	41	13,89	55	25,37
74	69	13,89	82	16,85
75	39	10,96	50	21,92
76	24	8,55	33	26,27
77	40	9,05	49	18,38
78	45	20,32	65	31,11
79	60	15,96	76	20,93
80	35	17,67	52	33,84
81	35	15,32	51	30,21

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 33 demonstrou a etapa segmento homogêneo 12, ano 2014.

Tabela 33 - Segmento homogêneo 12, ano 2014

Subsegmento.	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	46,3		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				D ₀ (0,01mm)				69	97			116	162		
				FWD	Viga										
1	284,700	284,942	0,242	66	79	19	TSD							0,242	19
2	284,942	286,161	1,219	81	88	107	TSD							1,219	107
3	286,161	286,960	0,799	85	90	72	TSD							0,799	72
4	286,960	287,358	0,398	74	84	34	TSD							0,398	34
5	287,358	288,701	1,343	82	88	119			1,343	119					
6	288,701	288,959	0,258	42	62	16			0,258	16					
7	288,959	289,261	0,302	51	70	21	TSD							0,302	21
8	289,261	289,761	0,500	72	83	42	TSD							0,500	42
9	289,761	290,402	0,641	43	63	41	TSD							0,641	41
10	290,402	290,861	0,459	83	89	41	TSD							0,459	41
11	290,861	291,200	0,339	45	64	22	TSD							0,339	22
12	291,200	291,601	0,401	66	80	32	TSD							0,401	32
13	291,601	291,922	0,321	74	84	27	TSD							0,321	27
14	291,922	292,240	0,318	52	71	22	TSD							0,318	22
15	292,240	292,782	0,542	37	57	31	TSD							0,542	31
16	292,782	293,442	0,660	57	74	49	TSD							0,660	49
17	293,442	293,998	0,556	76	85	47			0,556	47					
18	293,998	294,322	0,324	79	87	28	TSD							0,324	28

19	294,322	294,881	0,559	49	68	38	TSD			0,559	38
20	294,881	295,281	0,400	80	87	35	TSD			0,400	35
21	295,281	296,001	0,720	79	87	63		0,720	63		
22	296,001	296,221	0,220	70	82	18	TSD			0,220	18
23	296,221	296,861	0,640	43	63	40	TSD			0,640	40
24	296,861	297,281	0,420	69	82	34	TSD			0,420	34
25	297,281	297,759	0,478	97	118	57	TSD			0,478	57
26	297,759	297,980	0,221	75	85	19	TSD			0,221	19
27	297,980	298,721	0,741	54	72	53	TSD			0,741	53
28	298,721	299,601	0,880	74	84	74	TSD			0,880	74
29	299,601	300,081	0,480	52	71	34	TSD			0,480	34
30	300,081	300,881	0,800	49	68	54	TSD			0,800	54
31	300,881	301,182	0,301	78	86	26	TSD			0,301	26
32	301,182	301,520	0,338	93	109	37	TSD			0,338	37
33	301,520	301,839	0,319	74	84	27	TSD			0,319	27
34	301,839	302,161	0,322	87	94	30	TSD			0,322	30
35	302,161	303,681	1,520	55	73	111	TSD			1,520	111
36	303,681	304,623	0,942	73	84	79	TSD			0,942	79
37	304,623	305,361	0,738	53	71	53	TSD			0,738	53
38	305,361	305,681	0,320	39	59	19	TSD			0,320	19
39	305,681	307,121	1,440	54	72	104	TSD			1,440	104
40	307,121	307,600	0,479	48	67	32	TSD			0,479	32
41	307,600	308,143	0,543	65	79	43	TSD			0,543	43
42	308,143	308,953	0,810	58	75	60	TSD			0,810	60
43	308,953	309,282	0,329	74	85	28	TSD			0,329	28
44	309,282	309,761	0,479	65	79	38	TSD			0,479	38
45	309,761	310,241	0,480	57	74	36	TSD			0,480	36
46	310,241	310,639	0,398	74	84	33		0,398	33		

47	310,639	310,961	0,322	60	76	25		0,322	25		
48	310,961	311,282	0,321	72	83	27	TSD			0,321	27
49	311,282	311,585	0,303	44	64	19	TSD			0,303	19
50	311,585	312,557	0,972	56	74	72		0,972	72		
51	312,557	312,881	0,324	63	78	25	TSD			0,324	25
52	312,881	313,601	0,720	48	68	49		0,720	49		
53	313,601	314,060	0,459	52	70	32	TSD			0,459	32
54	314,060	315,042	0,982	71	83	81	TSD			0,982	81
55	315,042	315,521	0,479	55	72	35	TSD			0,479	35
56	315,521	315,820	0,299	74	84	25	TSD			0,299	25
57	315,820	317,100	1,280	63	78	100	TSD			1,280	100
58	317,100	317,599	0,499	43	63	32	TSD			0,499	32
59	317,599	318,220	0,621	75	85	53	TSD			0,621	53
60	318,220	318,543	0,323	53	71	23	TSD			0,323	23
61	318,543	318,881	0,338	77	86	29	TSD			0,338	29
62	318,881	319,440	0,559	43	63	35	TSD			0,559	35
63	319,440	319,999	0,559	60	76	43	TSD			0,559	43
64	319,999	320,624	0,625	84	89	56	TSD			0,625	56
65	320,624	320,881	0,257	59	75	19	TSD			0,257	19
66	320,881	321,842	0,961	70	82	79	TSD			0,961	79
67	321,842	322,400	0,558	66	80	45	TSD			0,558	45
68	322,400	322,961	0,561	48	67	38	TSD			0,561	38
69	322,961	323,681	0,720	81	88	63	TSD			0,720	63
70	323,681	325,022	1,341	49	68	91	TSD			1,341	91
71	325,022	325,514	0,492	61	77	38	TSD			0,492	38
72	325,514	326,641	1,127	82	88	100	TSD			1,127	100
73	326,641	326,961	0,320	55	72	23	TSD			0,320	23
74	326,961	327,521	0,560	82	89	50	TSD			0,560	50

75	327,521	328,322	0,801	50	69	55	TSD		0,801	55	
76	328,322	328,642	0,320	33	52	16	TSD		0,320	16	
77	328,642	329,039	0,397	49	68	27	TSD		0,397	27	
78	329,039	329,503	0,464	65	79	37	TSD		0,464	37	
79	329,503	329,762	0,259	76	85	22	TSD		0,259	22	
80	329,762	330,223	0,461	52	71	33	TSD		0,461	33	
81	330,223	331,000	0,777	51	69	54	TSD		0,777	54	
		Total	46,300			3592		5,289	361	41,011	2268

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa

A nota final do segmento 12, ano 2014 foi sintetizada na TAB. 34, sendo possível verificar a avaliação positiva desse segmento, que foi avaliado como bom.

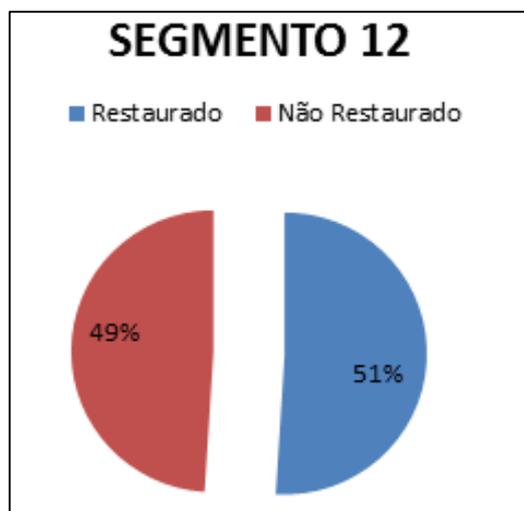
Tabela 34 - Nota final do segmento 12, ano 2014

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	68	BOM	BOM
TSD	55	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

Comparando as notas do segmento 12 pertinentes aos anos: 2013 e 2014, foi possível observar que no ano de 2013, esse segmento obteve nota regular, enquanto no ano seguinte sua avaliação melhorou para bom. Essa melhoria na avaliação pode ser justificada pela restauração de 51% deste pavimento. O segmento 12 possui 46,3 km de extensão, sendo que essa restauração foi feita por meio de Tratamento Superficial Duplo (TSD). (GRAF. 3).

Gráfico 3 - Percentual restaurado no segmento 12



Fonte: Dados da Pesquisa (2015)

6.5 Análise do Segmento 18

No ano de 2013 o segmento foi dividido em 29 subsegmentos, conforme TAB. 35, sendo que as etapas de cálculo apresentaram resultados subsequentes.

Tabela 35 - Diferença segmento 18, ano 2013

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	47	29,94	77	38,94
2	59	34,05	93	36,43
3	38	11,33	49	22,98
4	60	22,22	82	27,11
5	95	38,86	134	28,98
6	32	8,46	40	20,91
7	95	53,05	148	35,82
8	41	15,98	57	27,97
9	71	41,49	112	37,02
10	51	15,50	66	23,43
11	50	9,28	60	15,56
12	28	21,03	49	42,71
13	113	32,56	146	22,32
14	36	14,27	51	28,22
15	91	31,13	123	25,40
16	43	25,00	68	37,02
17	64	24,61	89	27,74
18	92	22,75	115	19,87
19	75	19,69	94	20,87
20	82	18,44	100	18,41
21	56	14,17	70	20,18
22	36	1,23	37	3,33
23	73	25,64	98	26,07
24	87	29,35	116	25,32
25	112	18,32	130	14,05
26	76	26,47	103	25,82
27	66	38,81	104	37,14
28	67	15,47	82	18,76
29	62	21,16	83	25,49

Fonte: Adaptado de Empresa (2015)

A TAB. 36 demonstrou a etapa segmento homogêneo 18, ano 2013.

Tabela 36 - Segmento homogêneo 18, ano 2013

Subsegmento	EXTENSÃO DO SEGMENTO HOMOGÊNEO			15,16		D ₀ (Viga) x EXT.	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)			71	99				119	166		
				FWD	Viga										
1	387,720	388,200	0,480	77	86	41					tsd			0,480	41
2	388,200	388,480	0,280	93	110	31		0,280	31						
3	388,480	388,680	0,200	49	68	14		0,200	14						
4	388,680	389,440	0,760	82	88	67					tsd			0,760	67
5	389,440	389,720	0,280	134	195	55					tsd			0,280	55
6	389,720	389,960	0,240	40	61	15					tsd			0,240	15
7	389,960	390,200	0,240	148	220	53					tsd			0,240	53
8	390,200	390,640	0,440	57	74	33		0,440	33						
9	390,640	391,120	0,480	112	151	73		0,480	73						
10	391,120	391,520	0,400	66	80	32		0,400	32						
11	391,520	392,320	0,800	60	76	61					tsd			0,800	61
12	392,320	392,960	0,640	49	68	44					tsd			0,640	44
13	392,960	393,400	0,440	146	216	95					tsd			0,440	95
14	393,400	393,640	0,240	51	69	17					tsd			0,240	17
15	393,640	394,080	0,440	123	172	76					tsd			0,440	76
16	394,080	394,400	0,320	68	81	26					tsd			0,320	26
17	394,400	395,040	0,640	89	99	63					tsd			0,640	63

Subsegmento	EXTENSÃO DO SEGMENTO HOMOGÊNEO			15,16		Viga CBUQ		Viga TSD		Extensão CBUQ	CBUQ	Tipo de Pavimento	119	166	Extensão TSD	TSD
	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	71	99								
				FWD	Viga											
18	395,040	395,640	0,600	115	156	94						tsd			0,600	94
19	395,640	396,600	0,960	94	112	108						tsd			0,960	108
20	396,600	397,160	0,560	100	126	70						tsd			0,560	70
21	397,160	397,440	0,280	70	82	23						tsd			0,280	23
22	397,440	397,640	0,200	37	57	11						tsd			0,200	11
23	397,640	397,960	0,320	98	122	39						tsd			0,320	39
24	397,960	399,040	1,080	116	159	172			1,080	172						
25	399,040	399,480	0,440	130	188	83			0,440	83						
26	399,480	400,160	0,680	103	131	89			0,680	89						
27	400,160	400,680	0,520	104	135	70			0,520	70						
28	400,680	400,960	0,280	82	89	25			0,280	25						
29	400,960	402,880	1,920	83	89	171			1,920	171						
		Total	15,160			1748			6,720	791					8,440	957

Fonte: Adaptada de Empresa Alfa (2015)

A nota final do segmento 18, no de ano 2013 pode ser observada na TAB. 37. A avaliação desse segmento foi considerada ruim.

Tabela 37 - Nota final do segmento 18, ano 2013

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	118	RUIM	RUIM
TSD	113	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

No ano de 2014 o segmento 18 foi dividido em 25 subsegmentos, conforme TAB. 38, sendo que as etapas de cálculos apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 38 - Diferença Segmento 18, ano 2014

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
1	93	33,57	127	26,53
2	51	24,33	76	32,21
3	48	16,50	65	25,51
4	68	22,05	90	24,39
5	41	20,75	62	33,71
6	38	13,51	52	26,14
7	60	21,12	81	25,91
8	58	14,13	72	19,55
9	43	8,16	51	15,95
10	61	29,80	91	32,78
11	56	18,33	74	24,80
12	41	13,01	54	24,09
13	75	26,65	101	26,31
14	64	13,05	77	17,00
15	71	20,65	91	22,63
16	69	19,97	89	22,33
17	42	12,86	54	23,60
18	65	19,79	85	23,25
19	54	6,65	61	10,91
20	71	24,90	96	25,96
21	51	26,20	77	34,03
22	89	18,43	107	17,23

Subsegmento	Média (0,01mm)	Desvio	M + DP (0,01mm)	CV (%)
23	60	16,20	76	21,26
24	53	25,49	78	32,53
25	78	20,40	99	20,66

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A TAB. 39 sintetizou a etapa segmento homogêneo 18, ano 2014.

Tabela 39 - Segmento Homogêneo 18, ano 2014

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga			68	95			115	160		
				1	387,700			388,184	0,484			127	180		
2	388,184	388,581	0,397	76	85	34			0,397	34					
3	388,581	389,060	0,479	65	79	38	TSD							0,479	38
4	389,060	389,782	0,722	90	103	74			0,722	74					
5	389,782	390,181	0,399	62	77	31	TSD							0,399	31
6	390,181	391,062	0,881	52	70	62			0,881	62					
7	391,062	391,381	0,319	81	88	28			0,319	28					
8	391,381	391,942	0,561	72	83	47			0,561	47					
9	391,942	392,263	0,321	51	70	22			0,321	22					
10	392,263	393,300	1,037	91	104	108	TSD							1,037	108
11	393,300	394,344	1,044	74	84	88	TSD							1,044	88
12	394,344	394,738	0,394	54	72	28	TSD							0,394	28
13	394,738	395,622	0,884	101	128	113	TSD							0,884	113
14	395,622	395,933	0,311	77	86	27			0,311	27					
15	395,933	396,667	0,734	91	105	77			0,734	77					
16	396,667	397,302	0,635	89	101	64	TSD							0,635	64
17	397,302	397,621	0,319	54	72	23	TSD							0,319	23

Subsegmento	KM INICIAL	KM FINAL	EXT. (km)	D ₀ (0,01mm)		D ₀ (Viga) x EXT.	Tipo de Pavimento	Viga CBUQ		Extensão CBUQ	CBUQ	Viga TSD		Extensão TSD	TSD
				FWD	Viga			68	95			115	160		
18	397,621	398,026	0,405	85	90	36	TSD							0,405	36
19	398,026	398,981	0,955	61	77	73			0,955	73					
20	398,981	399,463	0,482	96	116	56	TSD							0,482	56
21	399,463	399,861	0,398	77	86	34	TSD							0,398	34
22	399,861	400,421	0,560	107	140	79	TSD							0,560	79
23	400,421	400,741	0,320	76	85	27	TSD							0,320	27
24	400,741	401,380	0,639	78	87	55	TSD							0,639	55
25	401,380	401,981	0,601	99	122	74	TSD							0,601	74
Total			14,281			1386				5,201	299			9,080	623

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

A etapa nota final do segmento 18, ano de 2014 foi demonstrada na TAB. 40, sendo possível visualizar a avaliação positiva desse segmento, que foi avaliado como bom.

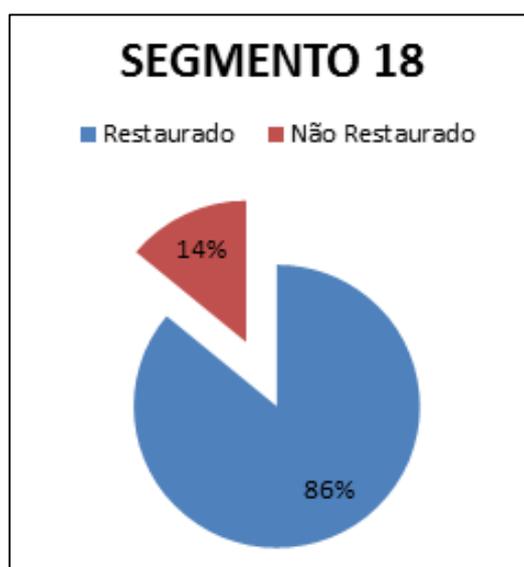
Tabela 40 - Nota Final Segmento 18, ano 2014

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	57	BOM	BOM
TSD	69	BOM	

Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

Comparando as notas do segmento 18 nos anos de 2013 e 2014 observou-se que no ano de 2013 o segmento obteve nota ruim, enquanto em 2014 sua nota aumentou para bom. Com 14,3 km de extensão, o segmento 18 foi um dos poucos que obteve um aumento significativo da nota. O motivo deste aumento foi uma restauração feita por meio da reciclagem do pavimento num percentual de 86% do trecho. (GRAF. 4).

Gráfico 4 - Percentual restaurado no Segmento 18



Fonte: Adaptado de Empresa Alfa (2015)

6.6 Análise dos demais segmentos

Os demais segmentos que não foram analisados, anteriormente, foram submetidos a uma análise sintética. Vale ressaltar que eles foram aglutinados de acordo com suas características similares, sendo os resultados descritos a seguir:

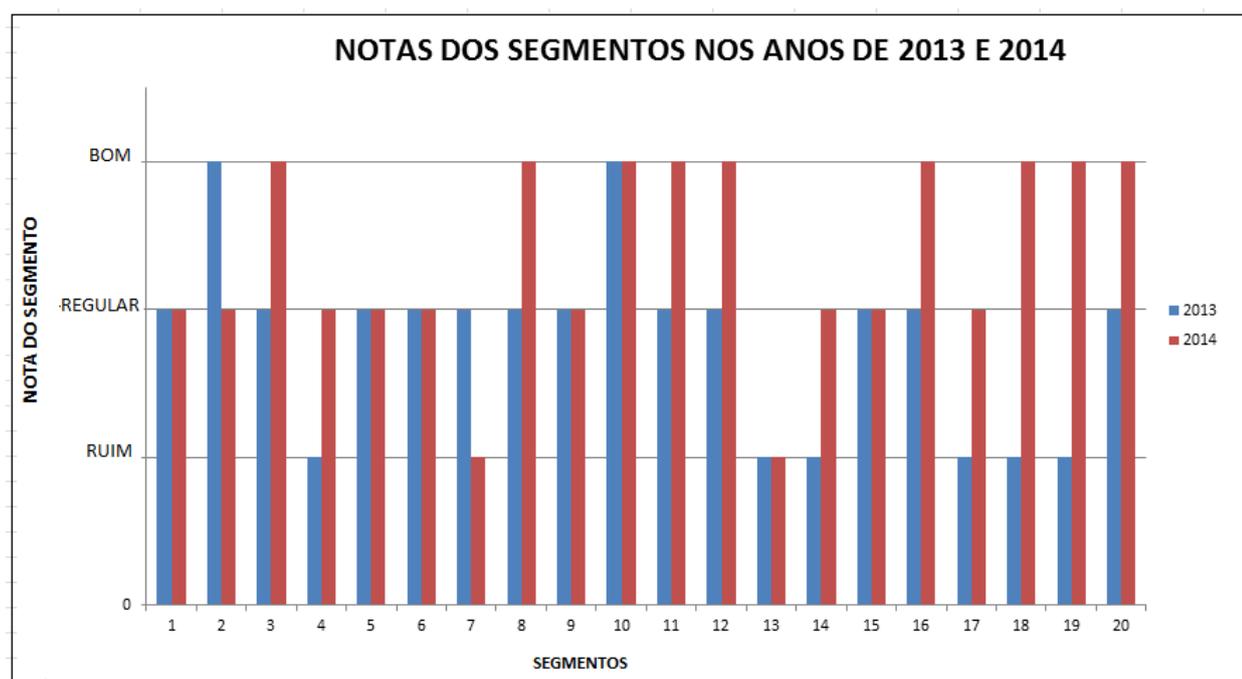
- a) Os segmentos 1, 5, 6, 9 e 15 mantiveram suas notas em REGULAR nos dois anos. De um ano para o outro, ano o pavimento suportou as solicitações oriundas do tráfego não ocorrendo a baixa da sua nota, entretanto essa nota não sofreu acréscimo, em decorrência do fato de não ter havido nenhuma obra de restauração do pavimento.
- b) Alguns segmentos tiveram avaliação pior de um ano para o outro. O segmento 7, por exemplo sua nota piorou de REGULAR para RUIM, enquanto o segmento 2 de BOM passou para REGULAR. As razões, que justificam esse índice inferior, foram a inexistência de obras de restauração, que possibilitassem a correção dos desgastes sofridos, provavelmente, provocados pelo tráfego, chuva e transportes de cargas.
- c) Como o segmento 8 e 12, os segmentos 3, 11, 12, 16 e 20 aumentaram suas notas de REGULAR para BOM, o motivo deste aumento foram restaurações feitas em seus trechos que permitiram uma melhora na estrutura dos pavimentos.
- d) Assim como o segmento 14, os segmentos 4 e 17 aumentaram suas notas de RUIM para REGULAR, porém este aumento não foi tão significativo. O motivo é que a restauração ocorreu em uma pequena porcentagem do trecho, provavelmente, se a restauração tivesse abrangido uma porcentagem maior do trecho, a avaliação teria sido mais expressiva.
- e) O segmento 10 foi avaliado como BOM nos dois anos, apesar do clima, fluxo de trânsito e transporte de cargas, sendo que o pavimento suportou bem as solicitações, não abaixando sua nota.
- f) O segmento 13 obteve nota RUIM nos dois anos, o indicado é que no ano de 2014 o pavimento passasse por uma restauração em todo seu trecho, assim sua nota em 2014 aumentaria para BOM.

- g) Os segmentos 18 e 19 obtiveram um aumento significativo da nota, aumentando de RUIM para BOM, o motivo para isto foram as obras de restauração feitas em uma maior parte dos seus trechos.

O GRAF. 5 apresenta uma síntese da variação dos resultados obtidos pelos segmentos nos anos de 2013 e 2014. Por meio dele é possível perceber que 35% dos segmentos mantiveram a mesma avaliação nos dois anos. Enquanto 55% dos segmentos aumentaram a nota avaliativa de um ano para outro. O percentual de notas que decaíram de um ano para o outro foi de 10%.

O GRAF. 5 apresenta o resultado das notas dos segmentos nos dois anos.

Gráfico 5 - Notas dos segmentos nos anos de 2013 e 2014



Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização deste trabalho foi possível comprovar a importância de se fazer a avaliação estrutural do pavimento de uma rodovia, que nesse estudo se situa no Estado de Minas Gerais. Essa importância se justifica, uma vez que o nível de conservação do segmento impacta, proporcionalmente, na sua avaliação. O estudo foi desenvolvido por meio da comparação dos resultados das deflexões obtidas nos anos de 2013 e 2014.

Para tanto, no decorrer deste trabalho, foi feita a descrição estrutural do pavimento, suas camadas e a diferença entre uma avaliação estrutural e funcional, sendo utilizado para esse fim o equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD).

As avaliações dos segmentos demonstraram uma relação característica entre a nota obtida e o grau de restauração desse segmento. Algumas conclusões foram possíveis, graças ao acompanhamento de campo, que permitiu sistematizar um comparativo de dois anos desse pavimento, sendo:

Os segmentos que as notas diminuíram de 2013 para 2014, foram aqueles que não passaram por nenhuma obra de restauração e que, provavelmente, sofreram desgastes provocados por intempéries, trânsito e excesso de cargas.

Os segmentos que não obtiveram um aumento significativo na avaliação de um ano para o outro, foram aqueles nos quais a restauração não atingiu uma porcentagem expressiva do trecho.

Agora, os segmentos que obtiveram uma melhor avaliação, aumentando, sistematicamente, suas notas, passando do critério ruim para o critério bom, foram aqueles, nos quais a restauração abrangeu a maior parte do seu trecho.

REFERÊNCIAS

- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI et al., **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABED A, 2008.
- CASTRO, L. N. **Reciclagem a frio “in situ” com espuma de asfalto**. 2003. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2014**: relatório gerencial. Brasília: CNT, 2014.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ: DER-PR/2006: **Pavimentação: Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero** – DER/PR, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER 273/1996: **PRO. Determinação das deflexões utilizando deflectométrico de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer – FWD”**.DNER, 1996.
- _____. **DNER 309/97**: ES: pavimentação: tratamento superficial duplo.DNER, 1997.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- _____. **DNIT 031/2004**: ES: pavimentos flexíveis: concreto asfáltico: especificação de serviço.DNIT, 2004.
- _____. **DNIT 035/2005**: ES: pavimentos flexíveis micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero: especificação de serviço. DNIT, 2005.
- LUÍS, A. D. **Utilização do equipamento *Falling Weight Deflectometer* para medição de deflexão recuperável para diferentes tipos de pavimentos asfálticos**. 2009. 209p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- MEDINA J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.
- SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Pini, 2007.