

EDUARDO PEREIRA BARROSO
RIAN ADERSON DE SOUZA FARIA

REFORÇO ESTRUTURAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA - MG

2014

EDUARDO PEREIRA BARROSO
RIAN ADERSON DE SOUZA FARIA

REFORÇO ESTRUTURAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Monografia apresentada a banca examinadora da faculdade de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, como requisito parcial de obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Getúlio Fernandes da Silva.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e capacidade para vencer as dificuldades, e por ter preservado minha saúde para suportar tão árdua jornada.

A meus pais pelo amor, compreensão e pela dedicação que tem para com minha vida, deixando muitas vezes os seus planos e sonhos para a minha realização, a meus irmão pelo apoio e carinho.

Aos colegas de sala pela amizade e companheirismo durante todo o curso. Agradeço também ao professor Getúlio Fernandes da Silva pela orientação e ajuda durante a realização do trabalho. E a todos que contribuíram direta ou indiretamente pela concretização desse trabalho.

Eduardo Pereira Barroso

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder a capacidade necessária para concluir este trabalho, por me proteger e iluminar constantemente nos vários dias e noites de estudos e pesquisas.

Agradeço aos meus pais e irmãos que suportaram minha ausência quase que constante durante a realização deste, me apoiaram e incentivaram a todo momento.

Agradeço os amigos que nos ajudaram e acompanharam durante todo o processo e construção deste trabalho.

Agradeço ao Professor Getúlio Fernandes da Silva por nos orientar.

Rian Aderson de Souza Faria

"Entrega o teu caminho ao Senhor, confia Nele, e o mais Ele fará."

Salmos 37;5

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

D_{adm} :	Deflexão máxima admissível
$h_{CA,min,fiss}$:	Espessura mínima por níveis de fissuração
h_R :	Espessura do reforço
h_{Ref} :	Definição da espessura de reforço a ser empregada
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DER- MG:	Departamento de Estrada de Rodagem de Minas Gerais
FWD:	Falling Weight Deflectometer
DC:	Deflexão Característica
D_0 :	Deflexão centrais
D_{25} :	Deflexões situado a 25cm do ponto central
R:	Raio de curvatura
h_E :	Espessura do revestimento existente
CAUQ:	Concreto asfáltico usinado a quente
PMQ:	Pré misturado a quente
PMF:	Pré misturado a frio
h_{Ef} :	Espessura efetiva
IF:	Índice de fissuração
$h_{CA,min}$:	Espessura mínimo de reforço
IT:	Índice tráfego californiano
h_{CA} :	Espessura do concreto asfáltico
IGG:	Índice de gravidade global
CBR:	Índice de suporte Califórnia

MB:	Macadame betuminoso
D_{FWD} :	Deflexão Falling Weight Deflectometer
D_{VB} :	Deflexão Viga Benkelman
h_{Fev} :	Altura do Revestimento
F_R :	Fator de Redução
FC1:	Índice de Fissuração Definido
FC2:	Índice de Fissuração Definido
FC3:	Índice de Fissuração Definido
h:	Espessura necessária do Reforço
K:	Constante de Regressão

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Camadas de um pavimento	17
FIGURA 2:	Trincas em couro de jacaré e remendos no pavimento	20
FIGURA 3:	Afundamento nos trilhos de rodas	21
FIGURA 4:	Equipamento FWD	21
FIGURA 5:	Equipamento Viga Benkelman	22
FIGURA 6:	Depressão (afundamento) e trincamentos MG-329	33
FIGURA 7:	Afundamento e trincas rodovia MG-329	34

LISTA DE QUADROS

QUADRO 3.2:	Valores de N após o reforço	24
QUADRO 3.3:	Equações e regras para cálculo espessura mín. CA	27
QUADRO 3.4:	Crítérios para avaliação estrutural	31
QUADRO 4:	Notas da avaliação subjetiva	36
QUADRO 4.1:	Cálculo do IGI e IGG	37

RESUMO

O presente trabalho aborda de forma bem didática e dinâmica, os reforços estruturais para pavimentos em péssimas condições, como é o caso do trecho estudado da rodovia MG- 329, próximo a Caratinga- MG. Utilizando métodos de avaliação para obter através de dados confiáveis e calculados a verdadeira situação do pavimento, e apresentar a solução para o pavimento, mostrando que não se tem que fazer todo o pavimento de novo, e sim fazendo um reforço de qualidade.

O reforço de pavimentos flexíveis tem como função a recuperação das características estruturais do pavimento através da colocação de uma espessura adicional de materiais betuminosos que deve ser executada sobre o pavimento antigo, aumentando a capacidade estrutural e o prolongamento da sua vida útil. Ao recuperarem-se as características estruturais dota-se o pavimento rodoviário de novas e melhores características superficiais.

As rodovias brasileiras em sua maioria sofrem com o excesso de sobrecargas, com o número de veículos cada vez maior e também com as variações climáticas típicas de regiões tropicais. Agrupando todos estes fatores, com o decorrer do tempo isso gera um desgaste do pavimento e conseqüentemente a perda gradativa de suas propriedades, dando origem a uma série de patologias, tais como fadigas por deflexão, deformação, fissuração e irregularidade longitudinal.

Como medida de solução deste problema é realizado em determinado período de utilização do pavimento um reforço estrutural, popularmente chamado de recapeamento, este, tem como função agregar ao pavimento velho a qualidade, segurança e todas as demais especificações definidas em projeto, levando-se em conta a expectativa de tráfego atualizada.

Palavras-chave: Reforço estrutural; Pavimento asfáltico; Rodovias.

ABSTRACT

The present work addresses in a very didactic and dynamic way the structural reinforcements floor in poor condition, as is the case of the studied area of MG-329 highway, close to MG Caratinga-. By using evaluation methods to get through reliable data and calculated the true state of the pavement, and present the solution to the pavement, showing that you do not have to do the entire floor again, but doing a quality reinforcement.

The reinforcement of flexible pavements has the function of recovery of the structural features of the floor by placing an additional thickness of bituminous materials which must be performed over the old pavement, increasing the structural capability and the prolongation of its useful life. To recover from the structural characteristics endow the pavement for new and better road surface characteristics.

Brazilian highways mostly suffer from excessive overloads, with the increasing number of vehicles and also with the typical climatic variations in tropical regions. Gathering all of these factors, over time it generates a pavement wear and consequently the gradual loss of its properties, giving rise to a number of pathologies such as fatigue by deflection, deformation, cracking, longitudinal unevenness.

As a solution to this problem is done in a certain period of use of the pavement structural reinforcement, popularly called resurfacing, this, has as its objective add to the old pavement quality, safety and all other specifications defined in the project, taking into account the expected date traffic.

Keywords: Structural reinforcement; Asphalt pavement; Highways.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	13
2- CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS	16
3- METODOLOGIA DE REFORÇO ESTRUTURAL	20
3.1- FUNDAMENTOS DO PROCEDIMENTO	20
3.1.1- Avaliação das Condições do Pavimento	20
3.1.2- Deflexão característica (D_c) no segmento homogêneo	22
3.1.3- Raio de Curvatura da Bacia de Deflexões	23
3.3- INSTRUÇÕES GERAIS PARA O PROJETO FINAL	30
4- AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA RODOVIA MG-329	32
4.1 DIAGNÓSTICO	32
4.1.1 Avaliação das Características Visuais e Funcionais	32
5- DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO ESTRUTURAL	39
6- CONCLUSÕES	43
6.1- CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6.1.1 Preço de Implantação x Reforço do Pavimento	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXO	

1- INTRODUÇÃO

O reforço estrutural é o conjunto de operações destinadas, fundamentalmente, a aumentar a capacidade estrutural do pavimento. Este objetivo é alcançado normalmente pela sobreposição de uma ou mais camadas, as quais responderão ainda pela correção de deficiências superficiais (degradações e deformações) existentes.

As rodovias nacionais se tornaram o principal meio de transporte de cargas e pessoas, por isso tem de estar em conformidade com as exigências prescritas pelos órgãos federais ou estaduais responsáveis por suas implantações, fiscalizações e manutenções quando se fizer necessário. Atualmente o país conta com uma extensão muito grande de pavimentos com necessidades do reforço estrutural. Antes da execução do projeto de reforço de um pavimento é necessário o levantamento do estado de degradação atual. Após a análise destes elementos, a espessura de reforço poderá ser dimensionada.

Um pavimento asfáltico com elevado grau de trincas profundas pode estar com sérios problemas na sua estrutura. Um simples recapeamento sela temporariamente a área danificada. Devido à repetição das cargas, as trincas da superfície antiga irão refletir na nova capa, criando novamente problemas de infiltração de água e de bombeamento de materiais finos da camada de base, comprometendo outra vez a estrutura.

É fundamental conhecer os tipos e as causas dos defeitos dos pavimentos, para se tomar uma decisão quanto às medidas de restauração necessárias para a sua recuperação. Basicamente, os defeitos encontrados nos pavimentos brasileiros originam-se de três causas comuns: desagregação superficial, trincas por fadiga e, em menor proporção, os afundamentos nas trilhas de rodas.

É de se esperar que em determinado momento da vida útil de um pavimento seja necessária uma obra de reforço estrutural do mesmo, pois devido ao tempo decorrido desde sua construção (tempo de projeto), uso constante e outras agressões sofridas, os pavimentos vão perdendo as suas propriedades físicas de resistência, originando imperfeições que reduzirão a qualidade da pista, podendo

reduzir a níveis em que o risco de acidentes sejam elevados. Este trabalho tem por função apresentar algumas técnicas de procedência dos trabalhos de reforço estrutural para pavimentos asfálticos e também o produto final obtido.

O problema da pesquisa é como identificar antes de uma degradação total de um pavimento, quando o mesmo precisa de reforço estrutural, elaborar e calcular os métodos de reforço estrutural, a fim de se ter um reforço de qualidade e que suporte os esforços a que será submetido.

O objeto deste estudo são as más condições dos pavimentos asfálticos das rodovias que tem sido um dos grandes problemas enfrentados na real atualidade brasileira, tendo em vista que essas rodovias movimentam a maior parte das mercadorias em território nacional, é de suma importância que esteja em ótimo estado de conservação para contribuir ainda mais com a economia do país. Na teoria a solução é simples e racional tendo o reforço estrutural como método eficaz e acessível para promover a qualidade deste pavimento, na prática tem-se grandes dificuldades para fazer uma intervenção geral nos pavimentos rodoviários pois são milhares de quilômetros em todo o território nacional.

O objetivo é apresentar e analisar o reforço estrutural para pavimentos asfálticos, buscando demonstrar todos os métodos e vantagens de sua utilização, especificamente demonstrar dados que comprovem que o reforço estrutural de pavimento asfálticos, agrega ao pavimento velho e deteriorado suas propriedades de desempenho perdidos com o desgaste ao longo de sua vida útil.

Toma-se como marco teórico José Tadeu Balbo (2007), segundo ele, o reforço do pavimento é o nome dado a nova camada de rolamento aplicada a superfície de um pavimento existente, quando este necessita de serviços de restauração ou de reabilitação (recapeamento). Esse novo pavimento proporciona uma melhora estrutural e também devolve aos usuários uma condição satisfatória de rolamento (serventia). Por se tratarem de camadas estruturais, os reforços são compostos por misturas asfálticas, devendo ser dimensionados tendo em vista uma expectativa de tráfego para um dado horizonte de projeto.

No primeiro capítulo “Metodologia de reforço estrutural para pavimentos asfálticos”, ocorre uma revisão bibliográfica e apresentação de métodos relacionados ao assunto a ser desenvolvido neste trabalho abordando os seguintes

tópicos: fundamentos do procedimento; caracterização de cálculo do reforço estrutural; avaliações do pavimento; instruções gerais para o projeto final.

No segundo capítulo intitulado como "Avaliação das condições da rodovia MG 329" serão aplicados os métodos de avaliação e cálculos apresentados no primeiro capítulo, mostrando as reais condições do pavimento, seguindo as normas estipuladas pelos órgãos fiscalizadores.

No terceiro capítulo "Dimensionamento do Reforço Estrutural", serão apresentados os cálculos e métodos de dimensionamento de um reforço seguindo as normas competentes com posterior análise dos resultados obtidos.

No quarto e último capítulo denominado como "Conclusões" será apresentados os resultados e discussões do dimensionamento e considerações finais.

2- CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

O pavimento do tipo asfáltico é uma estrutura de múltiplas camadas apoiada diretamente sobre uma fundação, destinada a resistir às solicitações do tráfego de veículos e do clima da região na qual está localizada uma determinada rodovia. Em função da maior ou menor rigidez da estrutura, o pavimento classifica-se em dois tipos básicos: rígido (o revestimento é uma placa de concreto de Cimento Portland) ou flexível (o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos).

As principais funções dos pavimentos são:

- Proteger as subcamadas das ações externas como as intempéries;
- Fornecer uma camada de rolamento que proporcione condições seguras e agradáveis de condução;
- Impermeabilizar e proteger a infraestrutura de infiltração de água;
- Resistir aos esforços horizontais e verticais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento;

Já os pavimentos asfálticos flexíveis são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. As camadas do pavimento são compostas de materiais granulares (solo, pedregulho, cascalho e pedra britada), podendo ser utilizados estabilizantes como cal, cimento ou betumes para melhorar as propriedades físicas do material granular.

A constituição do pavimento mais simples é subleito e revestimento. Ao aumentar as solicitações e conforme a necessidade vai se adicionando outras camadas como a regularização, o reforço do subleito, a sub-base e camada de ligação, a (figura 1) ilustra as camadas do pavimento. À medida que as camadas vão se aproximando da camada de rolamento, estas vão ficando técnica e economicamente mais nobres por se tratarem de camadas com a necessidade de se resistir as solicitações e distribuí-las para as demais subcamadas.



Figura 1 – Camadas de um pavimento

Fonte: DNIT, Manual de pavimento¹

O desenvolvimento de métodos de avaliação e reforço de pavimentos é uma ferramenta de suma importância, pois aperfeiçoa os serviços de restauração por meio de conhecimentos dos fenômenos de degradação e suas causas.

O fundamento do procedimento, é composto por dois tipos de avaliações: a primeira avalia as condições do pavimento em relação ao estado de deterioração da superfície do mesmo; a segunda é avalia a qualidade estrutural do pavimento que é obtida a partir da análise da deflexão característica do segmento homogêneo do pavimento, a partir deste se obtém um âbaco chamado "raio de curvatura da bacia de deflexões" este indica o grau de degradação da estrutura do pavimento.

José Tadeu Balbo (2007)² caracteriza o cálculo da espessura do reforço por:

- Tipo da via a partir do número (N);
- Determinação da deflexão máxima admissível (D_{adm});
- Determinação da espessura efetiva de revestimento existente;
- Espessura mínima em função dos níveis de fissuração ($h_{CA,min,fiss}$);
- Cálculo da espessura do reforço (h_R) em termos de deflexões;
- Definição da espessura de reforço a ser empregada (h_{Ref});

Quando ocorre a implantação de uma rodovia o pavimento que a constitui é projetado para oferecer qualidade e segurança de tráfego aos usuários e também para suportar determinadas sobrecargas com um período de vida útil predeterminado (tempo de projeto), variando entre diferentes tipos de utilização,

¹ BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes: Diretoria de Planejamento de Pesquisa. **Manual de pavimento**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006, p. 157.

² BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

fluxo de veículos com cargas leves ou pesadas, clima e relevo da região onde será implantada são analisados meticulosamente durante a fase de projeto para que o pavimento seja dimensionado de maneira que melhor atenda a determinada situação.

Ao longo do período de utilização de qualquer rodovia é de se esperar que em determinado momento seja necessário efetuar obras de reforço estrutural no pavimento que a constitui, esse reforço é necessário pois o pavimento sofre várias agressões ocasionando perdas de suas propriedades de resistência e de suas qualidades de utilização.

O reforço estrutural para pavimentos asfálticos consiste na aplicação de uma nova camada de rolamento constituída também por concreto asfáltico a uma outra camada já existente mas que esteja necessitando de reparos.

Reforço do pavimento é o nome dado a nova camada de rolamento aplicada a superfície de um pavimento existente, quando este necessita de serviços de restauração ou de reabilitação (recapeamento). Esse novo revestimento proporciona uma melhora estrutural e também devolve aos usuários uma condição satisfatória de rolamento (serventia). Por se tratarem de camadas estruturais, os reforços estruturais de pavimentos asfálticos são compostos de misturas asfálticas, devendo ser dimensionados tendo em vista expectativa de tráfego para um dado horizonte de projeto.³

Uma das grandes falhas no processo de reforço estrutural dos pavimentos asfálticos é que na maioria das vezes, sua concepção é tardia e o pavimento se encontra em um estado de degradação avançado, por este fator, ao invés de se realizar somente o reforço estrutural, tem-se também a necessidade de trabalhos de recuperação nas subcamadas do pavimento, pois as mesmas em sua maioria se encontram comprometidas, e um dos principais fatores que influencia essa situação é a infiltração de água por meio das fissuras e buracos no pavimento.

Em diferentes regiões do Brasil, as condições de conservação, pavimentação e sinalização das rodovias são irregulares ou deficientes. Alguns trechos apresentaram melhoras, referente a 5,5 mil quilômetros privatizados. Entre os anos de 2011 e 2012, o Ministério dos Transportes e o DNIT estiveram sob o alvo de suspeitas de corrupção, gerando demissões e deixando os nossos motoristas e pedestres utilizando estradas em péssimas condições.⁴

³BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p. 423.

⁴BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes: Diretoria de Planejamento de Pesquisa. **Manual de pavimento. 3.ed.** Rio de Janeiro, 2006, p. 165.

São de responsabilidades dos órgãos, fiscalizar e levantar periodicamente a situação em que o pavimento das rodovias se encontram e intervir imediatamente quando constatado a necessidade, realizando o provimento das melhorias de infraestrutura e demais identificadas.

O manual de Reforços de Pavimentos Asfálticos do DNIT define como condição do pavimento, o nível de degradação resultante do processo de deterioração. A avaliação da condição é possível por meio do conhecimento de diversos parâmetros, como: defeitos de superfície, deformações permanentes, irregularidade longitudinal e a aderência entre pneu e pavimento, com esses níveis de degradação obtidos é dado o início ao pedido de reforço estrutural para esse pavimento.

As condições de nossas rodovias comprometem a expansão econômica do Brasil, tornando mais caro e inseguro o transporte de mercadorias para o mercado interno ou até mesmo pessoas que dependem de transportes coletivos para se locomoverem entre as diversas cidades, com tudo, estes fatores contribuem de certa maneira com a diminuição da capacidade concorrencial do Brasil em relação a outros países e a qualidade de seus serviços logísticos.

3- METODOLOGIA DE REFORÇO ESTRUTURAL

3.1- FUNDAMENTOS DO PROCEDIMENTO

3.1.1- Avaliação das Condições do Pavimento

a) Quanto à avaliação do estado da superfície:

Para a avaliação dos trechos que estão em situações precárias e com o maior nível de degradação, majorando o valor do Índice de Gravidade Global (IGG), obtido posteriormente pela avaliação de profissionais treinados para tal. Este método baseia-se no diagnóstico das ocorrências de defeitos aparentes na superfície asfáltica dos pavimentos, principalmente as que se referem à fissuração, e realização de medidas de deformações permanentes nas trilhas de rodas, como mostra a (Fig. 2 e Fig. 3).



**Figura 2. Trincas em “couro de jacaré” e remendos no pavimento.
Fonte. ACERVO DO AUTOR.**



**Figura 3. Afundamento do pavimento nos trilhos de rodas.
Fonte. ACERVO DO AUTOR.**

b) Quanto à avaliação estrutural:

É efetuado o levantamento e análise das deflexões recuperáveis obtidas com emprego de equipamento FWD (sob carregamento dinâmico de impacto) ou Viga Benkelman (sob carga estática), ilustradas nas (Figuras 4 e 5).



**Figura 4. Equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer)
Fonte. ACERVO DO AUTOR.**



Figura 5. Equipamento Viga Benkelman.

Fonte. ACERVO DO AUTOR.

3.1.2- Deflexão característica (D_c) no segmento homogêneo

A deflexão medida D_c , que caracteriza cada segmento homogêneo, é obtida pela seguinte expressão:

$$D_c = D + S \quad (1)$$

Onde:

D= Valor médio da deflexão recuperável, obtido por análise de diferentes pontos no pavimento;

S= Desvio padrão;

O presente método se baseia nos critérios de cálculo de espessuras de reforço a partir das deflexões medidas com a viga de Benkelman. Caso as deflexões venham a ser medidas por meio de equipamento tipo FWD, o seguinte critério de conversão deverá ser empregado:

$$\frac{D_{FWD}}{D_{VB}} = \frac{1}{6,136 \times 10^{-3} \times (h_{Rev})^{1,756} + 1} \quad (2)$$

Onde:

D_{FWD} = Deflexão medida por meio de equipamento FWD;

D_{VB} = Deflexão medida por meio de Viga Benkelman;

h_{Rev} = Altura do revestimento;

3.1.3- Raio de Curvatura da Bacia de Deflexões

O raio de curvatura da bacia de deflexões é obtido através do cálculo representado pela seguinte expressão:

$$R = \frac{10 \times 25^2}{2 \times (D_0 - D_{25})} \quad (3)$$

Onde:

D_0 = Deflexões nos pontos centrais;

D_{25} = Deflexões medidas a 25 centímetros dos pontos centrais;

O raio de curvatura, depois de definido o segmento homogêneo em termos de deflexão, poderá ser analisado em termos médios das inúmeras leituras obtidas dentro de tal segmento homogêneo.⁵

Devem ser registradas as deflexões nos pontos centrais (D_0) e as deflexões de pontos situados a 25 cm do ponto central (D_{25}), quando empregado equipamento Viga Benkelman. A partir dessas deflexões, são calculados para cada ponto de ensaio os respectivos raios de curvatura (R).

3.2- CARACTERIZAÇÃO DE CÁLCULO DO REFORÇO ESTRUTURAL

Após o pavimento passar pelo processo de avaliação de suas condições e o mesmo indicar que realmente há necessidade do reforço estrutural é dado início aos cálculos do mesmo, com a finalidade de dimensioná-lo de maneira que se possa

⁵Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**. Procedimento B. DNIT-PRO 11-009-B, Rio de Janeiro. 2009, p. 29.

garantir a resistência necessária sem abrir mão da economicidade e qualidade da nova camada de rolamento e também a segurança de tráfego dos usuários.

O cálculo da espessura de reforço será feito da seguinte forma:

a) Caracterização do tipo de tráfego da Via (a partir do número "N"):

A via deverá ser caracterizada pelo número (N) de solicitações do eixo simples padrão de 80 KN que o pavimento deverá suportar durante o período previsto, a partir da época da restauração. Em consequência, o período entre os levantamentos de campo e a execução da restauração deverá ser o menor possível como forma de garantir que as condições não sofram muitas alterações.

Para a caracterização do tipo de tráfego, deve-se utilizar o Quadro 3.2, que resume os principais parâmetros da classificação das vias obtidas pela IP-02, da (SIURB/PMSP.)⁶

Quadro 3.2: Valores de "N" após o Reforço

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente/Veículo	N	N característico após o reforço
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via Local	Leve	10	100 a 400	4 a 20	1,5	2,70x10 ⁴ a 1,40x10 ⁵	10 ⁵
Via Local e coletora	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,5	1,40x10 ⁵ a 6,80x10 ⁵	5x10 ⁵
Vias coletoras e Estruturais	Meio Pesado	10	1501 a 5000	101 a 300	2,3	1,40x10 ⁶ a 3,1x10 ⁶	2x10 ⁶
	Pesado	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,9	1,0x10 ⁷ a 3,3x10 ⁷	2x10 ⁷
	Muito Pesado	12	>10000	1001 a 2000	5,9	3,3x10 ⁷ a 6,70x10 ⁷	5x10 ⁷
Faixa Exclusiva de Ônibus	Volume Médio	12		< 500		3x10 ⁶ ⁽¹⁾	10 ⁷
	Volume Pesado	12		> 500		5x10 ⁷	5x10 ⁷

Fonte: (DNIT-PRO-11-009-B)

⁶ ROCHA FILHO, Nelson Rodrigues (1996) **Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos**. Dissertação (Mestrado), ITA, São José, dos Campos. 1996, p. 13.

b) Determinação da deflexão máxima admissível (D_{adm}):

Para que um dado pavimento possa resistir a um determinado número "N" de solicitações, ele deve apresentar níveis de deflexões medidos após a aplicação do reforço em mistura asfáltica inferiores a um limite máximo tolerável.⁷

Este limite máximo, definido como deflexão máxima admissível (D_{adm}) para pavimentos flexíveis, com camada de base equivalente a material de comportamento granular, é determinado por meio do número (N) de solicitações do eixo padrão de 80 KN, conforme a expressão:

$$D_{adm} = 10^{(3,01 - 0,176 \log_{10} N)} \quad (4)$$

c) Determinação da espessura efetiva de revestimento existente:

A espessura do revestimento asfáltico existente (h_e) é considerada ou não, como camada estrutural, de acordo com os seguintes condicionantes:

- tratamentos superficiais, macadames betuminosos por penetração e misturas betuminosas abertas possuem, para fins de cálculo, $h_e = 0$; ou seja, não possuem função estrutural para finalidades de cálculo de reforço;
- misturas betuminosas densas (CAUQ ou PMQ) têm como valor de (h_e) a própria espessura da camada (ou a soma total das espessuras de camadas que apresentem materiais desta natureza).

Através de um critério de defeitos, um dos parâmetros envolvidos no cálculo é a espessura efetiva (h_{Ef}) do revestimento. Por espessura efetiva deve ser entendida a parcela de revestimento que ainda resiste aos esforços de tração ou contribuem estruturalmente na redução da deflexão da estrutura existente, devendo ser calculada da seguinte expressão:

$$h_{Ef} = h_E \times F_R \quad (5)$$

Onde F_R é chamado de fator de redução da espessura existente, tal fator é calculado em função do índice de fissuração (IF) que é um parâmetro obtido a partir

⁷ ROCHA FILHO, Nelson Rodrigues (1996) **Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos**. Dissertação (Mestrado), ITA, São José dos Campos. 1996, p. 25.

das condições de fissuração do segmento homogêneo, dado pela expressão a seguir:

$$F_R = 1 - 0,007 \times IF \quad (6)$$

Sendo o valor de IF dado pela seguinte combinação entre índices de defeitos.

$$IF = 0,25 \times FC1 + 0,625 \times FC2 + FC3 \quad (7)$$

Sendo que FC1, FC2 e FC3 são os índices de fissuração definidos pelo (PRO-08/78 do DNIT)⁸. Assim, a espessura efetiva só poderá ser calculada com base em valores obtidos a partir do inventário do pavimento, para porcentagens de fissuração nas classes 1, 2 e 3.

d) Determinação de espessura mínima de reforço ($h_{CA,min}$) para proteção quanto à ruptura por cisalhamento de camadas granulares do pavimento existente:

Primeiramente deverá ser estabelecida a espessura mínima de reforço ($h_{CA,min}$) necessária, tendo em conta um critério de resistência (proteção da camada de base do pavimento existente contra ruptura por cisalhamento ou deformação excessiva), o que se faz utilizando-se as equações indicadas no Quadro 3.3, no qual determina-se o valor de h_C .

Note que, para tanto, é necessária a estimativa do valor do CBR da camada de base do pavimento existente, que muitas vezes não é algo fácil de ser inferido subjetivamente, devido ao estado de contaminação de uma base granular após muitos anos de serviço do pavimento existente, ou mesmo da degradação sofrida ao longo dos anos por misturas asfálticas abertas (como o MB e o PMQ), que poderiam ainda ter perdido o ligante asfáltico por lavagem.⁹

⁸ Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (2009) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**, Procedimento B. DNIT-PRO 08-78, Rio de Janeiro, p. 16

⁹ Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (2009) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos . Procedimento A** . DNIT-PRO 10-009-A, Rio de Janeiro.2009, p. 12.

Quadro 3.3: Equações e regras para cálculo da espessura mínima de CA

Material de base	Condições	Equação para cálculo de $h_{CA,min}$ (cm)	Restrições para $h_{CA,min}$
Granular	CBR=60%	$h_{CA,min}=1,2429 \times IT - 0,0643$	≥ 5 cm
Granular	CBR=65%	$h_{CA,min}=1,1667 \times IT - 0,0833$	≥ 5 cm
Granular	CBR=70%	$h_{CA,min}=1,0595 \times IT + 0,0774$	≥ 5 cm
Granular	CBR=75%	$h_{CA,min}=0,9904 \times IT - 0,051$	≥ 5 cm
Granular	CBR=80%	$h_{CA,min}=0,9400 \times IT - 0,1700$	≥ 5 cm
Granular	CBR \geq 80%	$h_{CA,min}=0,8750 \times IT - 0,1625$	≥ 5 cm
Macadame betuminoso	Integro	$h_{CA,min}=0,6557 \times IT - 0,1639$	≥ 4 cm
Pré-misturado aberto (a frio ou a quente)	Integro	$h_{CA,min}=0,5166 \times IT - 0,1066$	≥ 4 cm

Fonte: Pavimentação asfáltica¹⁰

Notas:

IT- Índice de Tráfego Californiano

$h_{CA,min}$ - Espessura mínima de Concreto Asfáltico

Em tal determinação de $h_{CB,min}$, considera-se o valor do (IT) e o tipo de material subjacente ao revestimento existente, sendo assim determinada a espessura mínima de reforço em concreto betuminoso que deveria existir para a proteção do material subjacente contra deformações plásticas ou degradação granulométrica. O valor do Índice de Tráfego Californiano é calculado por meio da equação.

$$IT = 10^{(0,127 \log_{10} N + 0,166)} \quad (8)$$

O valor ajustado desta espessura mínima é calculado tendo-se em conta a espessura efetiva de mistura asfáltica densa que ainda contribui estruturalmente, chegando-se então à seguinte espessura (h_{CA}), referenciada em termos de mistura asfáltica densa (ou concreto asfáltico).

$$h_{CA} = h_{CA,min} - h_{Ef} \quad (9)$$

¹⁰ BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**/São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p. 439.

A empresa responsável ou projetista deverá considerar, quando em estudo da solução por fresagem do revestimento asfáltico (seja ela parcial ou total), que deve ser adotado $h_{Ef} = 0$, ou seja, nula, pois a fresagem só se justifica em situação de extrema degradação do revestimento asfáltico, quando sua condição estrutural, em termos de contribuição para redução de deflexões é desprezível. Por outro lado, fresagem parcial da espessura, encaminha a duas situações específicas em vias urbanas:

- (1) quando há remoção de grande parcela da espessura existente (que geralmente já é pequena) por necessidade de encaixe do novo revestimento asfáltico;
- (2) cota de arrasamento exatamente sobre antiga camada de mistura asfáltica densa já fissurada há tempos.

Em ambos os casos, recomenda-se também a adoção de $h_{Ef} = 0$.

e) Espessura mínima em função dos níveis de fissuração ($h_{CA,min,fiss}$).

Segundo José Tadeu Balbo (2007, p. 438.)¹¹ para a avaliação da espessura mínima necessária de reforço em concreto asfáltico deverão ser contempladas as seguintes situações para o revestimento existente:

- Condição A: $FC3 < 20\%$ e $FC2 + FC3 > 80\%$
- Condição B: $FC3 < 20\%$ e $FC2 + FC3 < 80\%$
- Condição C: $FC3 > 20\%$ e $FC2 + FC3 > 80\%$
- Condição D: $FC3 > 20\%$ e $FC2 + FC3 < 80\%$

Quando o segmento homogêneo se apresentar nas condições A ou B, ou seja, quando as trincas por fadigas são interligadas não apresentam desagregação importante ($< 20\%$), deve-se tomar $h_{CA,min,fiss} = 4$ cm. No caso de tráfego pesado e faixa exclusiva de ônibus, quando a desagregação de trincas interligadas é expressiva, adota-se $h_{CA,min,fiss} = 10$ cm. Este procedimento, oriundo do DNIT-PRO 10/79-A é salutar, tendo em vista possível controle dos fenômenos de propagação de fissuras em vias de tráfego comercial intenso.

¹¹ BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**/São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p. 438.

f) Cálculo da espessura do reforço (H_R) em termos de deflexões:

Para o cálculo da espessura de reforço do pavimento com base em critério de deformabilidade, utiliza-se o método preconizado pelo (DNIT-PRO 11-79-B)¹², que depende dos seguintes parâmetros para um segmento homogêneo:

- Deflexão característica do segmento homogêneo (D_C);
- Deflexão admissível (D_{adm});

A equação de cálculo da espessura de reforço a ser empregada para a redução dos níveis de deflexão atual para a deflexão admissível é válida para o caso de revestimentos asfálticos sobre bases de comportamento granular, dada por:

$$\frac{D_C}{D_{adm}} = 10^{\left(\frac{h}{K}\right)} \quad (10)$$

Onde (h) é a espessura necessária de reforço e (K) trata-se de uma constante de regressão obtida experimentalmente em função de dados de campo (deflexões antes e depois da execução do reforço). Quando é prevista a utilização de concreto asfáltico como camada de reforço, o DNIT sugere adotar-se $K = 40$ como valor médio em projetos nacionais, na ausência de maiores informações.

g) Definição da espessura de reforço a ser empregada (h_{Ref}).

A espessura de reforço a ser empregada na restauração do pavimento asfáltico de cada segmento homogêneo em consideração, será a maior dentre aquelas definidas nos itens "d", "e" e "f", sendo sempre necessárias avaliações mecanicistas dessas soluções, levando-se em conta a retro análise de módulos de elasticidade das camadas do pavimento existente, para verificação de vida de fadiga do reforço em concreto asfáltico projetado.

A equivalência estrutural dependerá dos materiais utilizados no reforço como Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ). Será efetuada mediante os coeficientes estruturais que constam das Instruções de Projeto para Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis. Devem ser adotados os valores indicados nos referidos procedimentos, minorados de 20% ou valor superior.¹³

¹² Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos** . Procedimento B . DNIT-PRO 11-79-B, Rio de Janeiro. 2009, p. 24.

¹³ Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos** . Procedimento B . DNIT-PRO 10-009-A, Rio de Janeiro. 2009, p. 23.

A espessura de concreto asfáltico da camada de reforço poderá, eventualmente, ser subdividida em duas camadas com materiais de características diferentes, em especial pré-misturados a quente abertos, por razões econômicas e técnicas (incluindo neste último caso o controle de reflexão e propagação de trincas existentes no atual revestimento para a camada de reforço), empregando-se fatores de equivalência estrutural entre os materiais.

3.3- INSTRUÇÕES GERAIS PARA O PROJETO FINAL

O projeto final deverá seguir as seguintes instruções:

- a) Se a espessura de reforço h_{Ref} for inferior ou igual a 7 cm, o mesmo poderá ser executado numa única camada, desde que se consigam as massas específicas indicadas no projeto;
- b) Se h_{Ref} for superior a 7 cm, o reforço deverá ser executado em mais de uma camada, cujas espessuras devem ser definidas de modo que nenhuma exceda as dimensões da instrução "a");
- c) Segundo Rocha Filho (1996)¹⁴, no caso do reforço não ser constituído exclusivamente de concreto asfáltico (CAUQ), devem ser obedecidas as indicações seguintes:
 - Definir a espessura da camada de CBUQ (mínima = 5,0 cm).
 - Espessura da Camada Binder (camada que antecede a camada de rolamento) = 1,11 x espessura da camada de CAUQ.
 - Espessura da Camada de Macadame Betuminoso = 1,67 x espessura da camada restante de CAUQ.
 - Espessura da camada de PMQ = 1,11 x espessura da camada restante de CAUQ.

¹⁴ ROCHA FILHO, Nelson Rodrigues (1996) **Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos**. Dissertação (Mestrado), ITA, São José dos Campos.

d) As análises e as determinações indicadas somente serão válidas se as condições de drenagem obedecerem aos requisitos relativos ao nível do lençol freático (1,5 m abaixo do greide de fundação do pavimento). Caso estas condições não sejam atendidas, caberá ao projetista apresentar solução alternativa para aprovação da fiscalização.

e) Para uma avaliação das condições da estrutura do pavimento, recomenda-se como critério básico os parâmetros constantes do Quadro 3.4:

Quadro 3.4: Critérios para avaliação estrutural

Hipótese	Dados Deflect. Obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critérios Para Cálculo do Reforço	Medidas corretivas
I	$D_c < D_{adm}$ $R > 100$	Boa	Não	—————	Apenas correções de superfície
II	$D_c > D_{adm}$ $R > 100$	Se $D_c < 3 D_{adm}$ Regular	Não	Deflectométrico	Apenas correções de superfície
III	$D_c < D_{adm}$ $R < 100$	Regular para Má	SIM	Deflectométrico e Resistência	Apenas correções de superfície
IV	$D_c > D_{adm}$ $R < 100$	Má	SIM	Resistência	Apenas correções de superfície
V	—————	Má O pavimento apresenta deformações rupturas plásticas generalizadas (IGG).	SIM	Resistência	Apenas correções de superfície

Fonte: Pavimentação asfáltica¹⁵

Notas: Critérios para cálculo do reforço:

- (1) Deflectométrico = Cálculo do reforço baseado na deflexão do pavimento.
- (2) Resistência = Avaliação da estrutura existente, pelo método de dimensionamento de pavimentos flexíveis, utilizando para tanto o índice de suporte CBR.

A determinação do desempenho ou serventia de um pavimento é obtida por meio de avaliações funcionais, essas se subdividem quanto ao método em subjetivas e objetivas, sendo que as avaliações subjetivas se baseiam em opiniões de avaliadores, enquanto as objetivas utilizam métodos estatísticos que mensuram e qualificam os defeitos no revestimento.

¹⁵ BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**/São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p. 435.

4- AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA RODOVIA MG-329

Seja por razões econômicas, ambientais ou sócio-culturais, quando um pavimento tem o desempenho estrutural comprometido, o procedimento natural é buscar recuperá-lo e não reconstruí-lo.

No passado, em função do pouco conhecimento sobre o comportamento estrutural, as soluções limitavam-se à adição de novos elementos, apoios e ao incremento das seções resistentes, métodos que, aliás, são empregados até hoje. No entanto, com o aprimoramento das técnicas de reforço, apesar da grande variedade de lesões às quais estão sujeitos, já é possível afirmar que quase sempre há uma solução para reparar de maneira mais econômica as estruturas danificadas dos pavimentos.

4.1 DIAGNÓSTICO

Foi realizado um diagnóstico para o subsistema de pavimentação da rodovia MG 329, que liga Caratinga a Bom Jesus do Galho. Procuramos avaliar as condições estruturais, irregularidades, texturas e outros fatores técnicos da pista de rolamento, que comprovem a necessidade da intervenção com o reforço estrutural.

4.1.1 Avaliação das Características Visuais e Funcionais

Para o pavimento da rodovia MG 329, não foram preciso avaliações criteriosas como a avaliação estrutural do pavimento, utilizando a Viga Benkelman ou o FWD, pois as avaliações dos estados das superfícies do pavimento com o Índice de Gravidade Global (IGG) já indicavam a necessidade do reforço estrutural como é ilustrado nas figura 6 e 7 apresentadas logo a seguir.

Segundo o diagnóstico, de forma geral, os pavimentos existentes apresentaram elevado índice de degradação superficial ao longo das áreas avaliadas, com exceção de alguns pontos localizados que apresentavam trincas

interligadas, remendos emergenciais e também afundamentos nos trilhos de rodas na camada de rolamento.

Os trincamentos observados nos pavimentos flexíveis eram na quase totalidade dos casos, incipientes e isolados, com indícios de que podiam sofrer evolução repentina. No entanto, no km 4, foi encontrado um problema que mereceu maior atenção. Em uma extensão de aproximadamente 600 metros, foi verificado um afundamento prolongado do pavimento que acarretou no surgimento de fissuras, com predominância marcante, as quais apresentavam erosões acentuadas em suas bordas. A figura 6 ilustra o afundamento.



Figura 6. Depressão (afundamento) e trincamentos- Pista MG- 329, km 4.

Fonte: ACERVO DO AUTOR.¹⁶

Das análises efetuadas, conclui-se que o padrão de trincamento refletia a ruína completa das camadas asfálticas pelo processo de fadiga, haja vista que este fenômeno se caracteriza, em seu estágio terminal. Este padrão de trincamento pode propiciar a penetração de águas pluviais, as quais em elevado percentual ficam retidas na superfície das camadas mais impermeáveis, afogando frações importantes da camada superior.

¹⁶ ACERVO DO AUTOR. Rodovia MG- 329, Km 4, 2014.

A figura 7 abaixo mostra a real situação com base nas patologias do pavimento, tais como buracos e trincas em couro de jacaré, uma vez que esse trecho se encontra em rota curvilínea, com uma descida acentuada e sem acostamento seria de suma importância que o pavimento local estivesse em ótimo estado de conservação, porém, por não apresentar qualidade desejável os acidentes são freqüentes.



**Figura 7. Panelas e trincas- Pista MG- 329, km 4.
Fonte: ACERVO DO AUTOR.¹⁷**

Segundo o (DNIT 006/2003-PRO)¹⁸, a água retida nesses buracos ou panelas, por se tratar de um líquido incompressível, não acumula qualquer energia recebida, ou seja, dissipa-a imediatamente através do bombardeio hidrodinâmico às superfícies que compõem sua câmara de retenção. O esforço por ela embutido tem, portanto, magnitude similar àquela imposta pelas cargas do tráfego. Neste sentido, deu-se origem ao fenômeno denominado “bombeamento”, o qual responde pela ação hidrodinâmica exercida pela água retida quando da aproximação e afastamento de uma carga móvel atuante nesta superfície, como um automóvel por exemplo.

¹⁷ ACERVO DO AUTOR. Rodovia MG- 329, Km 4, 2014.

¹⁸ DNIT(2003) **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento**. Procedimento. DNIT 006/2003 PRO, Rio de Janeiro. 2003, p. 23.

Contudo, com a intercalação e a potência das cargas aplicadas pelos caminhões com excesso de cargas e a magnitude formidável dos esforços por eles impingidos à água retida, o fenômeno de bombeamento começa a promover, concomitantemente, a desagregação superficial da camada subjacente e dos agregados das camadas betuminosas, que após serem bombardeados algumas milhões de vezes são submetidos a um processo de “descascamento”.

No âmbito das demais desagregações de caráter funcional, mereceu destaque o desgaste superficial experimentado pela camada de desgaste existente, resultado da ação consorciada dos efeitos abrasivos das cargas do tráfego e dos processos de envelhecimento dos ligantes asfáltico de constituição, notadamente daqueles referentes à oxidação e volatilização do asfalto base de constituição.

Os avaliadores percorreram um trecho de dois quilômetros utilizando um veículo de padrão popular, com formulários para atribuição de notas subjetivas sobre a condição do pavimento. Não foram considerados aspectos geométricos e resistência a derrapagem, para essa avaliação subjetiva de superfícies utilizou-se a norma de procedimentos (DNIT 009/2003)¹⁹ como referência metodológica.

Com as notas atribuídas pelos avaliadores durante a avaliação subjetiva, observa-se que o desvio entre eles ficou dentro dos limites exigidos pela metodologia. Constata-se também que as notas não superaram o valor 3,5 (BOM), porém, em outros trechos o pavimento foi indicado como RUIM. No geral, a média dos trechos se manteve entre 2,0 e 3,0, indicando um valor de serventia REGULAR.

¹⁹Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**. Procedimento B. DNIT-PRO 11-79-B, Rio de Janeiro. 2009.

No quadro 4 ilustra as notas atribuídas pelos avaliadores durante a avaliação subjetiva.

Quadro 4. Notas da avaliação subjetiva.

AVALIADORES	Thalles	Cleide	Maiara	Mariana	Ewald	MÉDIA	DESVIO
TRECHO 01	3,5	2,5	3	3	2,5	2,9	0,32
TRECHO 02	2	2,5	3	2,5	2,5	2,5	0,2
TRECHO 03	2,5	2	2,5	3	2	2,4	0,32
TRECHO 04	3	2	2,5	2,5	2	2,4	0,32
TRECHO 05	3	2,5	2	3	2,5	2,6	0,32
TRECHO 06	2,5	1,5	2	2	1,5	1,9	0,32
TRECHO 07	2,5	1,5	2,5	3	2,5	2,4	0,36
TRECHO 08	1,5	1	1,5	2	1,5	1,5	0,2
TRECHO 09	2	1,5	2,5	2,5	2,5	2,2	0,36
TRECHO 10	3,2	3	3,5	3,5	3	3,4	0,32

Fonte: ACERVO DO AUTOR.

Como trecho de pior situação, temos o de número 08, com média 1,5 (RUIM) e desvio de (0,20). Isto indica que a opinião dos avaliadores divergiu menos que nos demais trechos quanto à sua serventia.

Notou-se também na rodovia MG-329 que buracos, panelas, trincas e demais defeitos estão expostos a alguns meses que confirma a deterioração das camadas do revestimento, sendo que a função do revestimento além de dar conforto e uma ótima qualidade a rodovia, uma de suas funções também é de proteger as camadas, não deixando em contato direto com o intemperismo.

Esse tipo de avaliação é realizado em todos os pavimentos antes da efetuação dos cálculos de deflexão feitos pela viga Benkelman ou pelo FWD, geralmente faz todos os cálculos, mais se a avaliação subjetiva ou superficial constatar um pavimento muito degradado e com resultados entre ruim e péssimo é dispensado as avaliações estruturais pois todas as camadas já sofreram um grande desgaste sendo necessário a intervenção com o reforço estrutural.

Com os Índices de Gravidades Individuais (IGI) e o valor do Índice de Gravidade Global (IGG) calculados no (Quadro 4.1) ilustrado abaixo, classificou-se o pavimento estudado com a nota 196,8 (PÉSSIMO).

Em relação ao valor do IGG obtido, verificou-se que o pavimento encontra-se em péssimas condições, considerando que para este ser qualificado como (RUIM) bastaria uma nota acima de 160,0.

Quadro 4.1- Cálculo do IGI e IGG

TIPO	NATUREZA DO EFEITO	FREQUÊNCIA		FATOR DE PONDERAÇÃO	IGI
		ABSOLUTA	RELATIVA		
1	TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	-	-	0,2	-
2	J, TB	7,0	29,2	0,5	14,60
3	JE, TBE	17,0	70,8	0,8	56,70
4	ALP,ATP	-	-	-	-
5	O,P,E	12,0	50,0	1,0	50,00
6	EX	1,0	4,2	0,5	2,10
7	D	24,0	100	0,3	30,00
8	R	13,0	54,2	0,6	32,50

	TRILHA DE RODA (mm)	INTERNA	EXTERNA	(TRI+TER)/2	IGI
\bar{X}	MÉDIA	4,38	6,38	5,38	7,20
S	DESVIO PADRÃO	3,80	3,82	3,81	-
S ²	VARIÂNCIA	3,71	3,74	3,73	3,73
Nº DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		24,0			
ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL(IGG)		196,8			

Fonte: Monografia de Avaliação funcional de pavimentos flexíveis, 2012.²⁰

Contribuíram muito na pontuação as panelas (50,0), as trincas interligadas com erosão nos bordos (56,7), os desgastes (30,0) e os remendos (32,5). Como as panelas tem seu processo atrelado às trincas por fadigas com posterior erosão nos bordos, percebe-se a grande influência da postergação das manutenções na vida útil do pavimento, o que interfere na qualidade, segurança e conforto dos usuários.

Baseado nos resultados obtidos ao longo da avaliação, conclui-se que o pavimento diagnosticado apresenta níveis de serventia demasiadamente baixos. Nota-se também que a industrialização da rodovia estudada foi posterior à sua construção, o que evidencia a necessidade de ter sido previsto este acontecimento durante a fase de projeto.

Ao mesmo tempo, o estado da superfície também está atrelado ao envelhecimento com conseqüente oxidação do revestimento asfáltico, que perde

²⁰ MENDES, Breno Moraes, **Avaliação funcional de pavimentos flexíveis estudo de caso na rodovia MG-329**, Caratinga, Minas Gerais: Monografia, 2012, p. 21.

suas características de deformabilidade, culminando nas trincas por fadiga, panelas, afundamentos, trilha de rodas e desagregação do pavimento, tão perceptíveis ao longo do trecho estudado.

Confirmando uma necessidade da intervenção com o reforço estrutural para reabilitar e devolver ao mesmo as características para um bom trabalho de todas as camadas constituintes do pavimento.

5- DIMENSIONAMENTO DO REFORÇO ESTRUTURAL

Realizado todo o processo de avaliação estrutural do pavimento diante dos resultados obtidos, concluiu-se a necessidade do reforço. O método utilizado para o dimensionamento foi o (DNER-PRO 10/79- Método A)²¹, para o cálculo do reforço estrutural.

5.1- APLICAÇÃO DOS MÉTODOS AO TRECHO DO KM 04 DA RODOVIA MG 329

Tendo em vista que a rodovia analisada apresentou um índice de gravidade global (IGG) acima do tolerado, serão aplicadas as técnicas e os cálculos já descritos nos capítulos anteriores, afim de obter o dimensionamento da camada de reforço estrutural necessário para promover o retorno da qualidade do pavimento, proteção contra fissuras oriundas das tensões por cisalhamento e demais agressões a que estará sujeito.

Para dar prosseguimento nos cálculos do dimensionamento, houve a necessidade de se fazer alguns levantamentos e através destes conclui-se que a rodovia apresentava as seguintes características:

- Fissuração: FC1 = 8%; FC2 = 21%; FC3 = 60%.
- Deflexão característica (D_C) = 80 (0,01) mm.
- Revestimento existente h_E = 10 cm de espessura.
- Base do pavimento existente B_E = 30 cm de espessura com CBR = 60%.
- Tráfego previsto após restauração = 10 anos: $N = 6,75 \times 10^7$.

Apresentaremos a seguir os cálculos que foram realizados para o correto dimensionamento da espessura útil do reforço, levando-se em conta a expectativa de vida útil do pavimento (tempo de projeto) mencionado anteriormente.

²¹ DNIT, José Tadeu. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos-** Método A . DNER-PRO 11/79- A. **2**, ed. / Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2005.

1) Deflexão de cálculo:

$$D_o = 0,7 \times d_c = 0,7 \times 80 = 56 \text{ (0,01)mm}$$

2) Índice de tráfego californiano:

$$IT = 10^{(0,127 \times \log(6,75 \times 10^7) + 0,166)} = 14,5$$

3) Espessura efetiva do revestimento existente:

- Índice de fissuração:

$$IF = 0,25 \times 8 + 0,625 \times 21 + 60 = 75,1\%$$

- Fator de redução:

$$f_R = 1,0 - 0,007 \times 75,1 = 0,4743$$

- Espessura efetiva:

$$h_{Ef} = 10 \times 0,4743 = 4,743 \text{ cm}$$

4) Espessura mínima de reforço:

$$h_{Ref} = f(IT, \text{tipo de base do pavimento reforçado}) = 18 \text{ cm}$$

5) Espessura mínima ajustada:

$$h_{CA, \min} = 18 - 4,743 = 13,2 \text{ cm}$$

6) Condição de fissuração:

$$FC3 = 60\% > 20\%$$

$$FC2 + FC3 = 21\% + 60\% = 81\% \text{ (considera-se 81\%)}$$

Portanto, a condição de fissuração se apresenta na classe C, o que indica 10 cm de espessura mínima de reforço, respeitada no item anterior.

7) Cálculo de deflexões admissíveis:

Pelas condições verificadas, recai-se na primeira possibilidade. Entra-se no ábaco da figura 12.4, considerando-se os valores de d_0 , IT e $h_{CA,min}$ encontrados; assim, são determinados os seguintes valores:

$$D_h = 26$$

$$D_{adm} = 24$$

A partir destes valores constatamos que não é viável a execução do reforço em camada constituída exclusivamente por CAUQ, este poderá ser dividido em duas camadas de reforço.

8) O material selecionado para a camada subjacente ao CAUQ é o (PMQ) pré-misturado a quente, cujo fator de equivalência estrutural em relação ao agregado tem valor $f_i = 1,58$.

9) Cálculo do novo valor de $h_{CA,min}$:

$$h_{CA,min} = f(IT, PMQ) = 7,4 \text{ cm}$$

10) Espessura equivalente:

$$H_{CA} = 7,4 \times 1,7 = 12,6 \text{ cm}$$

12) Deflexão admissível:

$$D_{adm} = f(IT, h_{CA,min}) = 24$$

$$d_h = 24 \text{ (0,01 mm)}$$

12) Redução da deflexão requerida:

$$\Delta(\%) = \frac{49 - 24}{49} \times 100 = 51\%$$

13) Espessura total requerida:

Em termos de agregado, a espessura total requerida é de $H = 24 \text{ cm}$.

14) Espessura equivalente da camada subjacente constituída por material pré-misturado quente (PMQ):

$$h_i = 24 - 12,6 = 11,4 \text{ cm}$$

15) Espessura real da camada (PMQ):

$$h_i = \frac{11,4}{1,58} = 7,2, \text{ adontando - se } 7,5 \text{ cm}$$

6- CONCLUSÕES

As estruturas do pavimento têm a função principal de suportar os esforços oriundos de cargas e de ações climáticas, ambas trabalham em conjunto, o revestimento asfáltico tem a função de dar conforto ao usuário e de proteger as camadas inferiores de intempéries sem que apresentem processos de deterioração de modo prematuro. Assim, o desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e as especificidades do tráfego.

Um dos graves problemas enfrentados nos pavimentos atuais, é a tardia intervenção, pois os pavimentos vão sofrendo com os intempéries prejudicando os demais as camadas inferiores, tendo em vista que o acúmulo de água nos buracos (panelas), trincas e afundamentos só tendem a aumentar pois suas resistências estão comprometidas.

Com os resultados obtidos nos cálculos e para fins de execução de projeto adota-se espessura de 7,5 centímetros de (CAUQ) sobre uma camada Binder com 7,5 centímetros de (PMQ), após a aplicação deste reforço o pavimento da rodovia atenderá aos critérios exigidos por normas.

6.1- CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1.1 Preço de Implantação x Reforço do Pavimento

De grosso modo a implantação de uma rodovia econômica varia na faixa de 800 mil a 1,5 milhões de reais por quilômetro, este valor é mais elevado ou não pois sofre muitas variações devido ao fato de ocorrer acréscimos de serviços como de terraplenagem, obras de arte e até mesmo o fator da distância média de transporte (DMT) tanto dos materiais de base e sub-base da jazida até o local de aplicação, como a DMT do CAUQ da usina de produção até o local estipulado para sua utilização.

Em contrapartida quando se trata de reforço do pavimento este valor pode chegar a ter uma queda de 70% no preço quando comparado com o valor da implantação com a mesma extensão, tal diferença dependerá do grau de avarias em que se encontre o pavimento.

Os resultados só comprovam que se houver uma fiscalização mais rígida e presente nas rodovias, os reforços estruturais vão ser realizados em um período mais adequado e conseqüentemente os custos dos serviços serão decrescidos de maneira considerável devido as estruturas inferiores do pavimentos não apresentarem um índice de deterioração elevado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes: Diretoria de Planejamento de Pesquisa. **Manual de pavimento. 3.ed.** Rio de Janeiro, 2006.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos** . Procedimento A. DNIT-PRO 10-79-A, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1979) **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos** . Procedimento B. DNIT-PRO 11-79-B, Rio de Janeiro.
- ROCHA FILHO, Nelson Rodrigues (1996) **Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos.** Dissertação (Mestrado), ITA, São José dos Campos.
- BALBO, José Tadeu (1992) **Mecânica de Pavimentos Básica.** Texto para curso de graduação, EPUSP, São Paulo.
- RODRIGUES, R.M., Projeto de Pavimentos. **Apostila do curso de Mecânica e Desempenho de Pavimentos**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 1998.
- DNER PRO 10/79 – **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis**, Procedimento A. DNER, Rio de Janeiro, 1979.
- DNER PRO 11/79 – **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis**, Procedimento B. DNER, Rio de Janeiro, 1979.
- DNER ME 024/94 – **Determinação de Deflexão pela Viga Benkelman.** DNER, Rio de Janeiro, 1994.

- DNIT IPR-720, 2006 – **Manual de restauração de pavimentos asfáltico**. DNIT, 2. ed. - Rio de Janeiro, 2005.

- DNER 704/100, 1998 - **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos**. DNER - Rio de Janeiro, 1998.

- RODRIGUES, R.M., **Projeto de Pavimentos. Apostila do curso de Mecânica e Desempenho de Pavimentos**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 1998.

ANEXO I