

## Uma Contribuição à Recuperação Emergencial de Pavimentos Flexíveis. Estudo de Caso: BR-163 na Travessia Urbana de Jaciara/MT

### *A Contribution to Emergency Recovery of Flexible Pavements. Case Study: BR -163 in Urban Crossing of Jaciara/MT*

<sup>1</sup>Andressa Mokaan Barella, <sup>2</sup>Luiz Miguel de Miranda(mmiranda@ufmt.br)

<sup>1,2</sup> Departamento de Eng. Civil, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia Universidade Federal de Mato Grosso.

Recebido: Set 2015, Aceito e publicado: out 2015

**Resumo:** O trabalho trata da descrição de um método de aplicação das medidas necessárias para prover projetos de recuperação emergencial de pavimentos, tendo como estudo de caso a BR-163, no trecho da travessia urbana da cidade de Jaciara/MT. O método inclui o levantamento visual contínuo, estudos e contagens de tráfego, avaliação das condições do revestimento da pista de rolamento e dos acostamentos, avaliação expedita do pavimento, com base nos índices Somatório de Defeitos Ponderados (SDP), Índice de Degradação do Pavimento (IDP), Nota de Desempenho do Pavimento (NDP) e Índice de Gravidade Emergencial Expedido (IGEE). Após o tratamento dos resultados, verificou-se que em um subtrecho não há a necessidade de intervenções, devido a um recapeamento executado poucos dias antes do levantamento.

Em dois segmentos indica-se fresagem do pavimento e recapeamento com concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ), e nos segmentos mais degradados o mesmo procedimento complementado com camada de bloqueio antirreflexão de trincas de tratamento superficial duplo.

**Palavras-Chave:** Restauração de Pavimentos; Levantamento Visual; Fresagem.

**Abstract:** The work deals with the application of a method of implementation of the necessary measures to provide emergency recovery project floors, taking as a case study the BR-163, in the section of urban crossing in the city of Jaciara/MT. The method includes the continuous visual survey studies and traffic counts, evaluation of the rolling track surface conditions and the shoulders, to expedite review of the floor was made based on the weighted summation indexes Defects (SDP) Degradation Index Pavement (IDP), Floor Performance Note (NDP) and Emergency Severity Index Issued (IGEE). After treatment the results, it was found that in a subsection there is no need for interventions performed due to a resurfacing few days before survey. In two segments is indicated and milling pavement resurfacing with the hot asphalt concrete (HMA), and the more degraded segments complemented by the same procedure anti reflection blocking layer dual surface treatment cracks.

**Keywords:** Pavement Restoration; Visual Survey; Milling.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho trata das medidas necessárias para prover projetos para recuperação emergencial de rodovias para garantir a manutenção do tráfego por um tempo satisfatório enquanto ocorre a elaboração do projeto executivo de restauração do pavimento, de acordo com as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. A relevância do tema reside no fato de que grande parte dos defeitos dos pavimentos flexíveis nas rodovias tem sua recuperação retardada pelas dificuldades e pela complexidade dos projetos executivos, que resultam em grandes perdas e

comprometem a segurança do trânsito nesses trechos.

O objetivo geral é aplicar um procedimento para projeto de recuperação emergencial em pavimentos flexíveis, e os específicos são: (a) determinar o volume médio diário - VMD da rodovia BR-163 no segmento focalizado para o cálculo do número N; (b) fazer a avaliação funcional do pavimento existente para determinar os parâmetros necessários para indicação das soluções de recuperação emergencial do pavimento danificado; (c) descrever o método adequado às intervenções necessárias para garantir a trafegabilidade

e segurança de trânsito, e (d) detalhar as soluções para as intervenções de recuperação do pavimento flexível no segmento estudado. A partir destes objetivos, foi estabelecido o seguinte problema: as medidas previstas no caderno de soluções adotadas pelo DNIT são compatíveis com um projeto emergencial de recuperação do pavimento flexível na BR-163 no trecho da travessia urbana da cidade de Jaciara/MT ?

## MÉTODO E MATERIAIS

### *Caracterização do trecho*

O segmento em estudo compreende a travessia urbana da cidade de Jaciara/MT, possuindo extensão aproximada de 8,10 km e se desenvolve entre as interseções que delimitam o Anel Viário de Contorno da cidade de Jaciara, conforme detalhado no projeto de duplicação da BR-163, trecho Rondonópolis-Cuiabá, e que se encontra em fase de execução.

### *Divisão em segmentos homogêneos*

A divisão do trecho em segmentos homogêneos foi feita com base na análise dos resultados do levantamento visual contínuo- LVC, e na determinação do índice de Condição de Pavimento Flexível-

ICPF, para complementar as observações levantadas no campo, que destacou a situação do trecho. A situação funcional, conjugada com a geometria e disposição das faixas de tráfego, permitiu estabelecer uma hipótese prévia dos segmentos homogêneos. Para complementar e definir a divisão em segmentos homogêneos levou-se em consideração o estado de conservação da via, as mudanças no tipo de revestimento, espessura, idade do pavimento, a condição de pista dupla ou simples, 3ª faixa e recapeamentos recentes.

Aspecto importante observado durante os levantamentos foi a execução de obras de recapeamento iniciadas poucos dias antes da data do estudo. O recapeamento que estava em execução tinha espessura média em torno de 5 cm, precedido de fresagem com espessuras cuja média se situava entre 4 e 5 cm. Não foi observado emprego de qualquer técnica para impedir a reflexão das trincas do revestimento remanescente. É provável que no trecho onde estavam sendo feitas essas intervenções, o trincamento se manifeste após decorrido um breve espaço de tempo. As características funcionais dos segmentos homogêneos estão destacadas na Tabela 1.

**Tabela 1. Características funcionais dos segmentos homogêneos**

Estacas	Características funcionais
<b>OPP – 50</b>	Pista simples, com recapeamento com mais de 1 ano de idade
<b>50 – 77</b>	Pista dupla onde se localiza a interseção com a MT-344, acesso a Dom Aquino
<b>77 – 107</b>	Segmento crítico em pista simples, sem acostamentos
<b>107 – 141</b>	Pista dupla na área urbana, sem controle de acesso às propriedades
<b>141 – 278</b>	Segmento na área urbana com obras recentes de recapeamento
<b>278 – 342</b>	Pista dupla no perímetro urbano com recapeamento de idade superior a 1 ano
<b>342 - 410</b>	Pista simples, dotada de 3ª faixa no sentido Cuiabá-Rondonópolis

Com base nessas características pôde-se destacar o seguinte:

- Segmento Est OPP- Est 50 → acostamentos destruídos pela ação de estacionamento dos veículos de carga, e degrau nos acostamentos superior a 4 cm;
- Segmento Est 50 - Est. 77 → acostamentos destruídos em ambos os lados;

- Segmento Est. 107-Est. 141→ sem acesso também ao sistema viário da cidade, e de uma maneira geral funcionando a contento;

- Segmento Est. 141-Est 278→ pista em boas condições de uso, sem sinais de deflexões ou patologias associadas à fadiga, ou atraso nas intervenções corretivas, e o segmento teve a melhor avaliação;

- Segmento Est 278-Est. 342 → sinais fortes de degradação devidas provavelmente à reflexão das trincas, comprometendo a estrutura do pavimento.
- Est. 342-Est. 410 → fortes sinais de destruição do revestimento e acostamento destruídos localmente.

### Índice de condição do pavimento flexível

O Índice de Condição de Pavimento Flexível- ICPF foi determinado de acordo

com a Norma DNIT 008/2003- PRO, sendo que para painéis e remendos é usado o código (A) para alta frequência ( $\geq 5$  por km), M para frequência média (2-5 por km) e B para baixa frequência ( $\leq 2$  por km). Já para os outros defeitos, a frequência é considerada alta (A) para quantidade/km  $\geq 50$ , média (M) para 50-100 por km e baixa (B) para  $\leq 10$  por km. Com base nesses critérios, tem-se a contagem de defeitos, resumida na Tabela 2.

**Tabela 2. Índice de Condição do Pavimento Flexível - ICPF**

Características	Segmentos homogêneos							
	Segmentos/Estacas	-	0PP-Est 50	Est 50-77	Est 77-107	Est 107-141	Est 141-278	Est 278-342
Extensão	M	1.000	540	600	680	2.740	1.280	1.360
Trincas Isoladas	FC1	A	A	A	M	B	A	A
Trincas Interligadas Jacaré	FC2	A	A	A	M	B	A	A
Trincas Interligadas Blocos	FC3	A	A	A	M	B	A	A
Remendos	R	M	A	A	M	B	M	A
Painéis	P	M	A	A	M	B	M	A
Afundamentos plásticos em trilhas de rodas	ATP	M	A	A	M	B	M	A
Ondulações	O	M	M	M	M	B	M	M
Escorregamento do revestimento	ER	M	A	A	M	B	M	A
Exsudação	EX	M	M	M	M	M	M	M
Desgaste	D	M	A	A	M	B	M	A
Índice de condição do pavimento flexível	-	3-2	2-1	2-1	3-2	5-4	3-2	2-1

Frequência de ocorrência: (A) - alta; (M) - média; (B)- baixa

### Diagnóstico do pavimento

Para que os objetivos do presente trabalho fossem alcançados, realizou-se um diagnóstico que teve por base proceder ao levantamento dos parâmetros técnicos para análise das condições funcionais do pavimento existente. Assim, para a realização do diagnóstico do pavimento

foram realizadas as seguintes etapas: (a) levantamento visual contínuo -LVC; (b) determinação do índice de condição do pavimento; (c) determinação do volume médio diário- VMD; (d) avaliação das condições do pavimento; (e) avaliação expedita do pavimento.

### Levantamento visual contínuo -LVC

O Levantamento Visual Contínuo - LVC foi realizado por uma equipe composta por 3 (três) especialistas em pavimentação, e contou-se com a colaboração da empresa SSM Consultoria, Projetos e Construções Ltda, que gentilmente disponibilizou seu banco de dados e forneceu funcionários e equipamentos para auxiliarem no levantamento. Na sua execução foram observados os procedimentos estabelecidos pela Norma DNIT 008/2003 – PRO, que objetiva avaliar a superfície do pavimento flexível através do Índice de Condição do Pavimento Flexível – ICPF e outros parâmetros necessários para a determinação do Índice de Gravidade Global- IGG, que neste trabalho foi adaptado para o Índice de Gravidade Global Expedido – IGGE.

Para os trechos em pista simples, o levantamento foi realizado apenas em um sentido da via e para os trechos em pista dupla, nos dois sentidos.

#### *Avaliação do revestimento*

A avaliação foi feita com base na identificação e quantificação dos defeitos como trincas isoladas, trincas tipo couro de jacaré ou com blocos, exsudação, afundamentos plásticos, afundamentos de trilhas de roda, escorregamentos, painelas, remendos, desgaste, erosão e outras patologias mais severas associadas à ação do tráfego.

O processo de avaliação consistiu na contagem dos defeitos verificados em uma faixa de 6 m, sendo 3 m para cada lado da estação, na largura da pista de 7 m, e os defeitos foram identificados de acordo com a nomenclatura e notação apresentada adiante. Tendo em vista o caráter expedito da investigação, adotaram-se certas simplificações reunidas em grupos mais amplos de defeitos, alguns fenômenos de causas diferentes e cuja manifestação sintomática é semelhante.

O procedimento aqui adotado difere do método do DNIT por fazer a determinação de um índice de degradação individual para cada amostra, uma vez que naquele ocorre a determinação de um índice de severidade para um grupo de amostras sucessivas (segmento). Isto se justifica pelo fato de que não há um instrumento regulamentado de conservação ou manutenção do trecho estudado, e todas as intervenções têm sido feitas em caráter de obras de emergência, sem projetos ou critérios executivos que se enquadrem nas normas e procedimentos do DNIT. Assim, objetivou-se quantificar a gravidade das amostras através da determinação do índice de degradação de cada segmento, obtida pela média aritmética dos valores determinados nas estacas que integram cada amostra, no caso o segmento homogêneo

Para a análise das flechas de trilha de roda, o método empregado visou quantificar a gravidade do afundamento da trilha de roda externa pela sua dimensão e pelo estado aparente. As flechas encontradas no trecho são de pequena a média dimensões, raramente ultrapassando 5 cm, mas não foi possível estabelecer um limite para essa flecha que pudesse caracterizar uma condição de afundamento plástico das camadas do pavimento. O fato de grande parte do segmento ter sido fresado e recebido recapeamento pouco antes da data deste levantamento aumentou a dificuldade no que tange à avaliação das flechas.

Com esse procedimento foi possível avaliar a gravidade das flechas das trilhas de roda, exclusivamente, para a faixa de tráfego externa de cada pista, que permitiu obter por aproximação um índice de severidade simplificado.

A quantificação desses defeitos permitiu calcular diversos indicadores que pautaram a indicação das soluções para as obras emergenciais. As flechas externas não receberam notas, mas foram medidas com emprego de uma treliça de alumínio, e os valores foram anotados para cálculo de outros indicadores (ver Tabela 3).

**Tabela 3. Nomenclatura dos defeitos e respectivos pesos**

Natureza da ocorrência			Siglas	Pesos
Ausência aparente de defeitos			OK	0,1
<b>Trincas de fadiga</b>	Trincas Isoladas	Transversais	FC1	0,2
		Longitudinais	FC1	0,4
	Trincas Interligadas	Jacaré	FC2	0,6
		Blocos	FC3	0,5
<b>Trincas não atribuídas à fadiga</b>	Trincas Isoladas	Juntas	TRR	0,7
		Bordos	TRR	0,8
	Locais	Fluência plástica	ALP	0,6
<b>Afundamentos nas trilhas de rodas</b>		Consolidação diferencial	ALC	0,4
		Fluência plástica	ATP	0,4
<b>Defeitos diversos</b>		Consolidação diferencial	ATC	0,4
		Desgaste	D	0,5
		Remendos	R	0,6
		Ruptura de fundação	AC	1,0
<b>Dimensões das flechas</b>		Panelas	P	1,0
		Trilha externa	TE	-
<b>Somatório dos defeitos ponderados</b>			SDP	-
<b>Índice de degradação do pavimento</b>			IDP	-
<b>Nota de desempenho do pavimento</b>			ND	-
			P	

#### *Avaliação dos acostamentos*

Através dessa avaliação foi possível identificar os defeitos dos acostamentos para o detalhamento das soluções das obras emergenciais. A avaliação se deu de forma simples, apenas sendo observados critérios como o estado de conservação do acostamento, a presença de erosões, a condição do revestimento e a largura do acostamentos em ambos os lados da pista. Foram utilizadas as mesmas estações do levantamento das condições da pista de rolamento e, dessa forma, foi possível determinar os serviços necessários para as obras de emergência dos acostamentos.

Concluída a análise das condições dos acostamentos, foram estudados os serviços que a recuperação emergencial destes implica. Esses serviços são:

- os acostamentos serão recuperados com a execução de TSD de penetração invertida, e aplicação de camada de impermeabilização com emulsão recortada;
- aplicação de lama asfáltica é prevista apenas para os acostamentos a serem aproveitados.

A recuperação dos acostamentos destruídos será feita mediante a seguinte sequência:

- a superfície do acostamento existente será escarificada com profundidade de 20 cm;
- em seguida será espalhada sobre essa superfície uma camada de material obtido da fresagem da pista com espessura média de 10 cm;
- a próxima etapa consiste no espalhamento de 10 cm de brita com  $\emptyset_{\max} = 2''$ ;
- concluído o espalhamento a camada deve ser homogeneizada e compactada de acordo com as normas e exigências do DNIT, empregando a energia equivalente do ensaio de Proctor Intermediário;
- após a liberação de laboratório a camada de base executada deve ser imprimada com o ligante indicado;
- após a liberação da imprimação deve ser executado o TSD penetração invertida de acordo com as especificações do DNIT;
- concluída essa etapa os acostamentos devem ser liberados, observando os prazos de cura.

A escarificação, mistura e homogeneização dos materiais da camada granular do acostamento a restaurar poderá ser feito pela recicladora à frio.

#### *Avaliação expedita do pavimento*

O objetivo da avaliação do pavimento foi o de identificar os defeitos, apontar sua gravidade, e por fim indicar a intervenção emergencial para garantir o tráfego seguro de veículos na BR-163, na

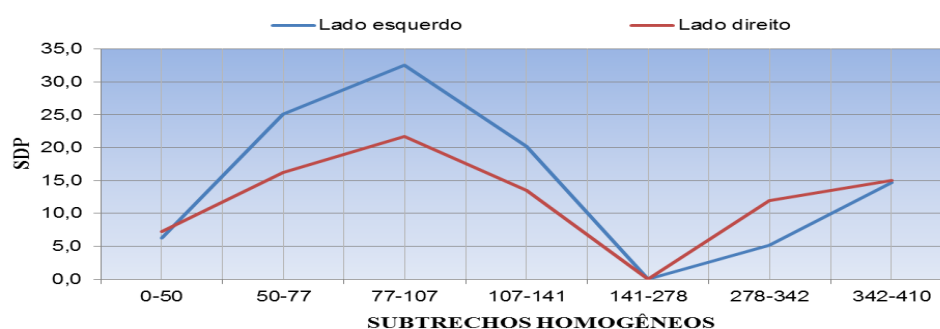
travessia da área urbana de Jaciara/MT. O método empregado está sumariamente descrito a seguir.

#### *Somatório dos defeitos ponderados -SDP*

O somatório dos defeitos ponderados (SDP) em cada estação, é, por definição, a soma das notas ponderadas das patologias identificadas. Essa grandeza traduz a nota máxima de presença dos defeitos, porém não define a prioridade nem o tipo da intervenção corretiva a ser aplicada. Para isto foi introduzido um peso que viabilizasse uma metodologia de análise

multivariada, em que os analistas indicassem os pesos máximos de cada tipo de patologia, dentro de uma escala previamente definida. Com isso, o SDP máximo é 40,5 obtido com as notas mais altas para todos os defeitos (ver Tabela 3). Em seguida, os valores individuais para cada estaca foram reunidos pelas médias considerando os segmentos homogêneos, como está representado no Gráfico 1.

**Gráfico 1. Somatório dos defeitos ponderados- SDP**



Nesse gráfico pode-se observar que o segmento com as piores condições é o 3, o que já era esperado, uma vez que o mesmo não havia recebido recapeamento recente, diferentemente do segmento 3.

Assim, identificar apenas o SDP não se mostrou suficiente, razão pela qual decidiu-se determinar o Índice de Degradação do Pavimento- IDP, descrito a seguir.

#### *Índice de degradação do pavimento -IDP*

O IDP é definido como a relação entre a soma dos defeitos ponderados (SDP) e a soma dos pesos máximos

Dessa maneira, essa grandeza que varia de 0 a 1 fornece o grau de deterioração do pavimento, de valor nulo (0) quando estiver em ótimas condições e

ponderados, que pode ser traduzida na seguinte expressão:

$$IDP = \frac{SDP}{SP} \quad (01)$$

Em que se tem:

SDP- somatório dos defeitos ponderados  
SP- valor máximo da ponderação dos defeitos avaliados

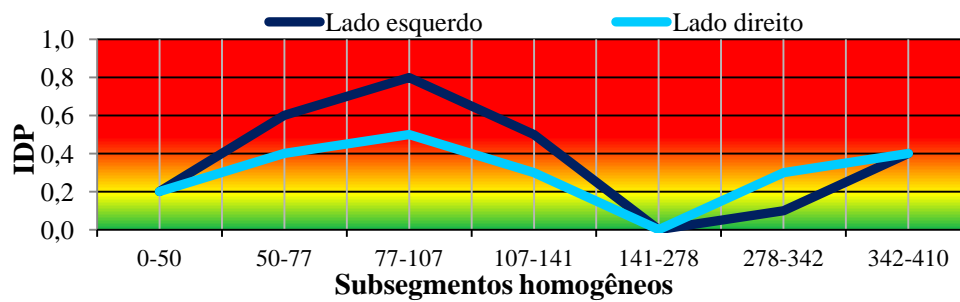
Tem-se ainda que:

$$SP = \sum (p_i \times n_i) \quad (02)$$

Como já foi dito anteriormente, o valor máximo dos defeitos para cada estação é 40,5, pois a soma dos pesos dos defeitos é igual a 8,1 (8,1 x 5 = 40,5).

valor máximo (1) quando se apresentar nas piores condições, como pode ser visto no Gráfico 2.

**Gráfico 2. Índice de degradação do pavimento- IDP**



Nota-se no Gráfico 2 que, para o IDP, os subtrechos seguem o comportamento apresentado no SDP. Observa-se o caráter qualitativo do IDP, e pode-se estabelecer um critério de decisão sobre a gravidade dos segmentos homogêneos, que converge para a classificação qualitativa do segmento avaliado, com base nos critérios assinalados na Tabela 4. Esta classificação leva em consideração a gravidade dos defeitos avaliados, e como era de se esperar o segmento que recebeu o recapeamento é o que apresenta índice de degradação nulo.

**Tabela 4. Avaliação do IDP**

IDP	Avaliação
$0,0 \leq \text{IDP} < 0,2$	Bom
$0,2 \leq \text{IDP} < 0,5$	Ruim
$0,5 \leq \text{IDP} < 1,0$	Péssimo

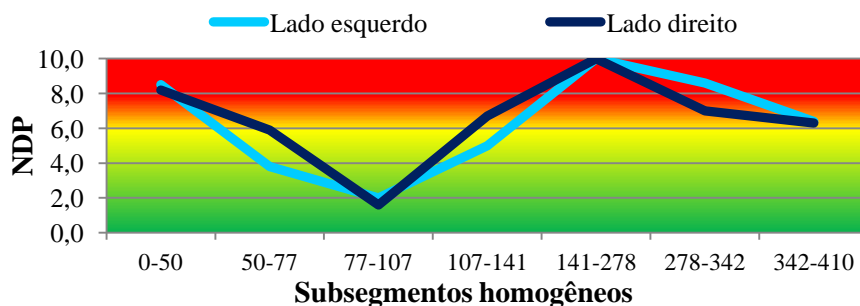
*Nota de desempenho do pavimento -NDP*

De forma análoga ao tratamento dispensado para o IDP, pode-se definir um conceito de Nota de Desempenho do Pavimento- NDP pela introdução de um índice, cuja variação se dê em sentido contrário ao do IDP, isto é, um índice que assuma valores máximo e mínimo quando as condições do pavimento se apresentarem plenamente satisfatórias ou totalmente deficientes, respectivamente. Assim, tem-se então a NDP, representada no Gráfico 3, e pela seguinte expressão.

$$\text{NDP} = 100 (1 - \text{SDP}) / 40,5 \quad (03)$$

$$\text{NDP} = 10 (1 - \text{IDP}) \quad (04)$$

**Gráfico 3. Nota de desempenho do pavimento- NDP**



Já para o NDP, de forma semelhante aos índices anteriores, o subtrecho homogêneo 5 foi o que recebeu a melhor nota e o subtrecho 3 a pior.

Pode-se afinal estabelecer, de acordo com os índices da Tabela 5, as condições

do pavimento avaliado, de acordo com o método proposto e obedecendo ao mesmo critério para avaliação do pavimento de acordo com o IDP.

**Tabela 5 Nota de desempenho do pavimento - NDP**

NDP	Avaliação
$8,0 \leq NDP < 10,0$	Plenamente satisfatório
$6,0 \leq NDP < 8,0$	Aproveitável mediante intervenções leves
$0,0 \leq NDP < 6,0$	Totalmente deficiente

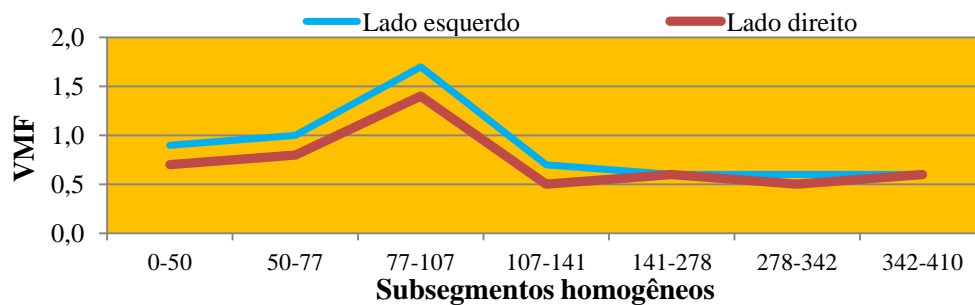
*Índice de Gravidade Emergencial Expedito- IGEE*

O Índice de Gravidade Emergencial Expedito (IGEE) correlaciona o valor médio das flechas da trilha de roda externa

medidas com auxílio de uma treliça, com um peso que afere a sua gravidade em função dos valores máximos admissíveis, para as camadas estruturais do pavimento.

Dessa maneira, pode-se definir IGEE, como o produto da dimensão das flechas da trilha de roda externa pelo peso respectivo, como o indicador que mede a gravidade das deformações geradas nos locais dessas flechas. O resultado da medição das flechas das trilhas externas das rodas está resumido no Gráfico 4.

**Gráfico 4. Flechas nas trilhas de rodas externas**



Nesse gráfico observa-se que o subtrecho homogêneo 3 manteve-se como o de pior desempenho, e o lado esquerdo mais degradado que o direito. Isso ocorre por conta do sentido do tráfego, uma vez que as carretas, em geral, trafegam vazias no sentido Rondonópolis-Cuiabá (lado direito) e carregadas no sentido Cuiabá-Rondonópolis (lado esquerdo), pois os três terminais de descarga dos granéis agrícolas em Mato Grosso se localizam em Rondonópolis, Itiquira e Alto Araguaia e parte da produção está concentrada no norte do estado, na região de Sinop. Às

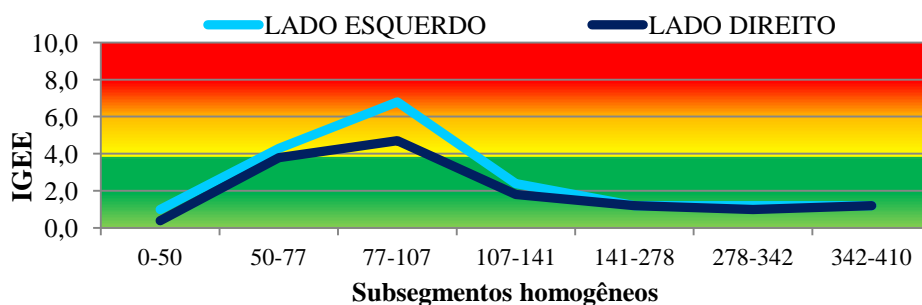
dimensões encontradas foram atribuídos os pesos descritos na Tabela 6.

**Tabela 6. Peso da gravidade das flechas**

Flecha (cm)	Peso
<b>Flecha &gt;2,0</b>	5,0
<b>0,8 ≤ Flecha &lt; 1,0</b>	4,0
<b>0,6 ≤ Flecha &lt; 0,8</b>	3,0
<b>0,4 ≤ Flecha &lt; 0,6</b>	2,0
<b>0,2 ≤ Flecha &lt; 0,4</b>	1,0
<b>0,0 ≤ Flecha &lt; 0,2</b>	0,0

Estabelecidos esses pesos pode-se determinar o IGEE, cujos resultados estão expressos no Gráfico 5.

**Gráfico 5. Índice de Gravidade Geral Expedito**



Esse gráfico resume a situação de gravidade dos segmentos, e destaca o

subtrecho 3 o de maior índice de degradação que se desenvolve entre as



estacas 77-107, e o lado esquerdo sendo pior que o lado direito devido ao sentido do tráfego, conforme explicado anteriormente. Os pesos propostos que

aferem essa gravidade traduzem o estado do pavimento, cujos conceitos estão assinalados na Tabela 7.

**Tabela 7. Índice de Gravidade Emergencial Expedito- IGEE**

IGEE	Avaliação
$8,0 < IGEE \leq 10,0$	Péssimo
$6,0 < IGEE \leq 8,0$	Ruim
$4,0 < IGEE \leq 6,0$	Regular
$2,0 < IGEE \leq 4,0$	Bom
$0,0 < IGEE \leq 2,0$	Ótimo

#### *Avaliação funcional de pavimentos*

A avaliação funcional do pavimento consiste na apreciação da superfície do pavimento e no nível de conforto que este tem a oferecer para os usuários, e o valor da serventia é uma média entre a nota de avaliadores, variando de 0 a 5, mede o conforto na trafegabilidade da pista em determinado período. Essa escala é adotada pelo DNIT 009/2003-PRO e compreende cinco níveis de serventia, indicados na Tabela 8 (BERNUCCI et al., 2010).

**Tabela 8. Níveis de serventia**

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

**Fonte:** DNIT, 2003

No Brasil, essa avaliação é conhecida como Valor de Serventia Atual- VSA, correspondente ao *Present Serviceability Ratio*- PSR nos Estados Unidos. Esse valor do VSA geralmente é elevado logo após a construção de um pavimento, porque a pista praticamente não apresenta irregularidades. Com o passar do tempo, o VSA do pavimento diminui por dois fatores principais: ação do tráfego e das

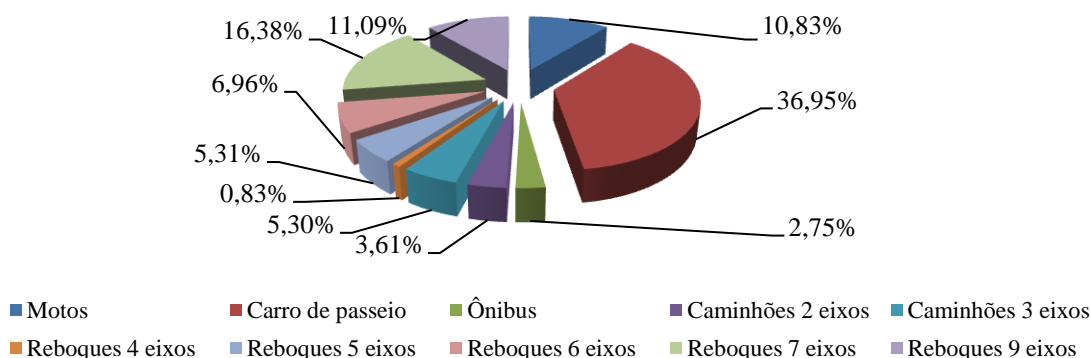
intempéries, e a condição perfeita (VSA = 5) não é encontrada na prática. Em 1960, nas pistas da AASHTO, foram encontrados valores de 4,2 para pavimentos asfálticos e 4,5 para pavimentos de concreto de cimento Portland. O VSA depende muito da técnica executiva empregada e das alternativas de pavimentação, podendo ser atingido um valor próximo de 5 com o aprimoramento da execução.

#### *Parâmetros de tráfego*

##### *Volume Médio Diário (VMD) e composições do tráfego*

As contagens volumétricas classificatórias e direcionais de tráfego foram feitas em janeiro de 2010 pela Direção – Consultoria e Engenharia Ltda., em diversos locais, tendo sido selecionado o posto de contagem localizado no entroncamento com acesso à Cachoeira da Fumaça, que neste levantamento corresponde à estaca 141. De acordo com o projeto base, foram realizadas contagens em 3 (três) dias úteis consecutivos, das 06 às 22 horas, o que significa uma duração adequada para esse tipo de contagem. Com base nesses dados, deduziu-se a composição do VMD, apresentada no Gráfico 6.

**Gráfico 1. Composição do volume médio diário - VMD (2010)**



Como se pode constatar, esses números demonstram a crescente participação do bitrem 9E na matriz de tráfego da BR-163 em Mato Grosso, fato esse que colabora para a degradação precoce dos pavimentos.

#### Projeções de tráfego

As contagens de tráfego foram feitas no ano de 2010, portanto foi necessário atualizar esse VMD observando o período

entre 2010 a 2014, e projetar o tráfego para o período de 10 anos, de acordo com as normas do DNIT. Para manter a continuidade com o projeto aprovado, as projeções foram feitas com a aplicação da seguinte expressão:

$$V_i = V_0(1 + \alpha)^t \quad (05)$$

Em que se tem:

$V_i$ - volume médio diário no ano  $i$   
 $V_0$ - volume médio diário no ano zero

O resultado das projeções está resumido na Tabela 9.

**Tabela 9. Projeções de tráfego- Posto: Cachoeira da Fumaça**

Ano	Motos	Automóveis	Ônibus	Caminhões		Reboques e semirreboques					Total
				2 Eixos	3 Eixos	4 Eixos	5 Eixos	6 Eixos	7 Eixos	9 Eixos	
2014	983	3.354	250	328	481	75	482	631	1.487	1.006	9.076
2024	1.320	4.508	336	440	646	101	647	849	1.998	1.352	12.198
VMDA	1.160	3.960	295	387	567	89	569	746	1.756	1.188	10.717

#### Número N

Conforme já descrito anteriormente, o número N é definido como o número equivalente de operações do eixo padrão (corrigido pelo fator de eixo e pelo fator de carga) ao longo do período do projeto, e foi calculado através da Equação 4:

$$N = 365 \times p \times VMDA \times FV \quad (06)$$

Em que se tem:

N- número equivalente de operações do eixo padrão ao longo do período de projeto;

p- período de projeto correspondente ao surgimento da fadiga, usualmente definido como vida útil do pavimento, em anos;

VMDA- volume médio diário ao longo do período de projeto;

FV- fator de veículo que retrata a distribuição da carga pelos diversos tipos de eixos do tráfego comercial da amostra.

Os fatores de veículos- FV foram calculados pelo critério do *United States Army Corps of Engineering- USACE*, descrito no projeto de duplicação da BR-163, aprovado pelo DNIT

$$- FV_{USACE} = 18,214$$

Conhecidos esses fatores foi possível calcular o número N, destacado na Tabela 10.

**Tabela 10. Determinação do número N**

Ano	VMDA	FV (USACE)	Número N (USACE)	
			No ano	Acumulado
2014	4.740	18,214	1,58E+07	1,58E+07
2024	6.370	18,214	2,12E+07	2,02E+08

### Dimensionamento do pavimento

Aqui se faz uma simulação do dimensionamento do pavimento para o período de projeto, tomando-se como ponto de partida a espessura do pavimento existente. Esse processo é feito para que se possa acompanhar a evolução do processo de fadiga, até que seja alcançado o limite definido para as intervenções emergenciais. Inicialmente aplicou-se o método de dimensionamento do DNIT para pavimentos flexíveis, cujos indicadores existentes são:

$$- \text{Número N} \rightarrow N = 2,02 \times 10^8$$

$$- IS_{\text{SUBLEITO}} \rightarrow IS = 7,50\%$$

Para o valor do Número N, o revestimento indicado é:

$$- \text{Revestimento} \rightarrow R = 12,5 \text{ cm (concreto betuminoso usinado à quente- CBUQ)}$$

As demais camadas do pavimento foram determinadas com a aplicação da expressão do método da *American*

Após a determinação das espessuras  $H_m$  (espessura total sobre o subleito),  $H_{\text{Ref}}$  (espessura sobre o reforço do subleito) e  $H_{20}$  (espessura sobre a sub-base), estas foram verificadas pela resolução das inequações descritas no método de dimensionamento, com respectivos coeficientes estruturais,

*Association of State Highways and Transportation Officials- AASHTO*, traduzida na seguinte expressão:

$$H_m = 77,67 \times N^{0,0482} \times IS^{-0,598} \quad (07)$$

Em que se tem:

$H_m$ - espessura do pavimento sobre a camada com valor de índice de suporte  $m$ ;  $IS$ - índice de suporte do subleito fornecido pelo ensaio *California bearing ratio- CBR*

As espessuras das camadas foram determinadas pelo ábaco da AASHTO e chegou-se ao resultado assinalado na Tabela 11.

**Tabela 11. Espessuras equivalentes das camadas**

Camadas	Espessuras (cm)
<b>Espessura total sobre o subleito (<math>H_m</math>)</b>	64,0
<b>Espessura sobre a sub-base (<math>H_{20}</math>)</b>	22,0
<b>Espessura sobre o reforço do subleito (<math>H_{\text{ref}}</math>)</b>	49,0
<b>Espessura do revestimento</b>	12,5

que forneceram as seguintes espessuras:  $B = 20 \text{ cm}$   $SB = 10 \text{ cm}$   $Ref = 16 \text{ cm}$

Dessa forma, pode-se concluir a análise comparativa do dimensionamento do pavimento. A Tabela 12 resume a análise procedida.

**Tabela 12. Análise comparativa do dimensionamento**

Camadas	Espessuras (cm)	Espessuras equivalentes (cm)	Espessura corrigida (cm)	Espessura equivalente
Revestimento	12,5	$12,5 \times 2,0 = 25,0$	25,0	25,0
Base	20,0	$20,0 \times 1,0 = 20,0$	20,0	20,0
Sub-base	10,0	$10,0 \times 0,77 = 7,7$	16,0	12,3
Reforço	16,0	$16,0 \times 0,71 = 11,4$	10,0	7,1
<b>Total</b>	<b>58,5</b>	<b>64,1</b>	<b>85,0</b>	<b>64,4</b>

Para finalizar a análise fez-se ainda uma avaliação da estrutura equivalente que seria necessária para fazer frente aos indicadores levantados no trabalho. A Tabela 13 indica a composição do

pavimento existente na BR-163 no segmento estudado, segundo dados fornecidos pelo projeto aprovado pelo DNIT.

**Tabela 13. Pavimento existente**

Camada	Espessura (cm)	Espessura equivalente (cm)	Obs.
Último recapeamento (CBUQ)	5,0	10,0	Executado em 2014
Recapeamento (CBUQ)	4,0	-	Reperfilamento de 4,0 cm
Revestimento original (TSD)	2,0	2,4	Executado em 1972
Base de solo estabilizado	20,0	20,0	Executada em 1972
Sub-base de solo estabilizado	20,0	20,0	Executada em 1972
<b>Total</b>	<b>51,0</b>	<b>52,4</b>	-

Através dessa análise pode-se perceber que o pavimento restaurado com recapeamento executado com CBUQ e reperfilamento médio de 4 cm, executado na semana anterior ao levantamento (abril/2014), não atende às exigências do método de dimensionamento do DNIT, em termos estruturais. A não solução do fenômeno de reflexão das trincas deverá levar esse recapeamento recente à destruição, em prazo relativamente curto.

Já para os segmentos que na data do levantamento ainda não haviam recebido o recapeamento, verificou-se que a estrutura total equivalente, calculada pelo método do DNIT, era de 52,4 cm, agravado pelo estado de destruição do pavimento existente, o que se pressupõe esteja comprometido. Essas considerações remete o trecho para a execução das intervenções descritas a seguir.

#### *Intervenções emergenciais em pavimentos flexíveis*

##### *Fresagem de pavimentos*

O termo fresagem refere-se à técnica de desbaste ou corte de materiais, feito através de uma engrenagem motora constituída de um cortador giratório de ângulos diversos e que trabalha em movimento giratório contínuo. Existem dois tipos de processos de fresagem direcionada à recuperação de pavimentos, sendo um a frio o *cold milling machine*, onde o desbaste é feito de maneira simples

e abrasiva, e o processo a quente, onde a estrutura é pré-aquecida para facilitar o desbaste da mesma (BONFIM, 2011).

O primeiro caso, fresagem a frio, recebe esse nome porque o processo é realizado em temperatura ambiente. O único aquecimento na estrutura é devido à energia liberada pelo equipamento, porém é desprezível para o processo. Esse método acaba por alterar a curva granulométrica do material existente na pista, pois os dentes da máquina de fresagem quebram parte dos agregados. Já no caso da fresagem a

quente, o pavimento é pré-aquecido e acaba por oferecer pouca resistência ao desbaste. Sendo assim, há pouca alteração na curva granulométrica, pois esse processo gera a desagregação do material e não a sua quebra. Assim, a fresagem de pavimentos pode ser definida como “corte ou desbaste de uma ou mais camadas de pavimento, com espessura pré-determinada, por meio de processo mecânico realizado à quente ou à frio, empregado como intervenção visando a restauração de pavimentos (BONFIM, 2011).

#### *Reciclagem de pavimentos flexíveis*

Trata-se de uma alternativa utilizada para reduzir ou eliminar camadas com trincas com potencial de reflexão. Essa operação pode ser realizada apenas com o uso de agentes rejuvenescedores e/ou ligantes asfálticos juntamente com os materiais já existentes, resultantes da operação de fresagem. Essa mistura pode

ser executada em usina, mas recomenda-se que seja feita por máquinas recicladoras no próprio local da obra. Entre os benefícios desta operação, estão a reutilização dos agregados e ligantes asfálticos, a conservação de energia e a preservação ambiental. Caso haja necessidade de aumento na capacidade de suporte, após a reciclagem faz-se uma nova camada de rolamento.

Usualmente, a indicação de reciclagem para um pavimento flexível resulta da falta de um sistema de gerenciamento da pavimentação, onde a conservação de rotina não foi feita e os defeitos migraram para patologias que exigem operações mais complexas ou intervenções pesadas. Esse é o exemplo que se tem no Brasil, onde o gestor da infraestrutura de pavimentação rodoviária lança mão de reciclagem para salvar a estrutura que restou do pavimento que ficou sem as operações de conservação e manutenção.

da BR-163 na travessia urbana da cidade de Jaciara/MT.

Os resultados tratados analiticamente foram reunidos na tabela resumo da avaliação expedita do pavimento, a partir do levantamento por amostragem empregado na determinação do IDP, NDP e IGEE, como mostra a Tabela 14.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os critérios descritos no método foram adotados, experimentalmente, para a avaliação expedita do pavimento do trecho

**Tabela 14. Resumo das soluções indicadas pelo método**

Segmento	IDP	NDP	IGEE	Soluções
0PP-50	Bom	Satisfatório	Regular	Fresagem + CBUQ
50-77	Ruim	Deficiente	Ruim	Fresagem + TSD + CBUQ
77-107	Péssimo	Deficiente	Ruim	Fresagem + TSD + CBUQ
107-141	Ruim	Aproveitável	Bom	Fresagem + CBUQ
141-278	Bom	Satisfatório	Ótimo	Nada a propor
278-342	Ruim	Aproveitável	Ótimo	Fresagem + TSD + CBUQ
342-410	Ruim	Aproveitável	Ótimo	Fresagem + TSD + CBUQ

A indicação dessas soluções obedece a uma sistemática que, em linhas gerais, segue as recomendações do DNIT. Propõe-

se neste método uma escala de soluções, de acordo com o que está apresentado na Tabela 15.

**Tabela 15. Soluções indicadas**

<b>Solução indicada</b>	<b>Aplicação</b>
- Lama asfáltica	Rejuvenescimento de revestimento em boas condições, aplicável à pista de rolamento e acostamentos aproveitados, excluídos acostamentos novos
- Fresagem contínua	Locais de trincamento tipos FC-2, FC-3, instabilidade de massa, irregularidade elevada ou trilha de roda ocasionada por instabilidade de massa
- TSD (sem polímero)	Recomposição de acostamentos observado o degrau máximo de 4 cm em relação à pista de rolamento
- TSD (com polímero)	Camada de bloqueio sobre a superfície remanescente do revestimento parcialmente fresado, que apresentavam trincas do tipo FC-2 e FC-3 antes da fresagem
- Reciclagem da base dos acostamentos	A base dos acostamentos a corrigir será constituída pela reciclagem a frio da camada existente, complementada com o produto da fresagem e mais uma camada de 10 cm de brita $\Theta_{\max}$ 2” que será homogeneizada e compactada com a energia do Proctor Intermediário, e se conclui com a imprimação da superfície da camada restaurada;
- CBUQ (sem polímero)	Camada de reforço do pavimento com CBUQ sem presença de trincas couro de jacaré (FC-2) ou blocos (FC-3) na reposição de revestimento fresado para eliminar a irregularidade elevada. A decisão de proceder à pintura de ligação é função do período de exposição da superfície tratada ao tráfego.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essas considerações servem para justificar a indicação das soluções aplicáveis a um método expedito de obras emergenciais, no caso a travessia urbana da

cidade de Jaciara/MT, pela BR-163:

1<sup>a</sup>- o nível de destruição do revestimento eliminou a possibilidade de levantar as fissuras que pudessem introduzir os métodos empíricos ou mecânicos de dimensionamento de reforço de pavimentos a serem recuperados;

2<sup>a</sup>- a superposição de ações corretivas de tapa-buracos descaracterizou o que se denomina superfície do revestimento do pavimento existente;

3<sup>a</sup>- o desconforto causado pelo grande número de remendos, quase todos feitos sem observar os critérios técnicos de recorte do revestimento resultou numa superfície totalmente irregular, que eliminou a possibilidade de determinar o Índice de Irregularidade Internacional- IRI;

4<sup>a</sup>- nos locais onde existe recapeamento recente, havia uma enorme predominância de trincamento do tipo FC-2 e FC-3 que atestam o fenômeno da reflexão de trincas;

5<sup>a</sup>- essas trincas apresentavam larguras com mais de 1 cm, deixando sobre a

superfície uma fina camada de poeira oriunda da camada de base, testemunho do bombeamento de finos (*piping*), indicativo de que qualquer camada de mistura asfáltica que for posta sobre essa superfície está comprometida desde a sua origem, o que reforça a tese da necessidade de introduzir uma camada de bloqueio para impedir a reflexão desse trincamento;

6<sup>a</sup>- não obstante o elevado grau de trincamento e a sucessão de panelas e remendos, as flechas nas trilhas das rodas externas não eram elevadas, atestando o bom estado estrutural da camada de base, reforçando que o fenômeno a combater é a reflexão das trincas das camadas remanescentes;

7<sup>a</sup>- os locais onde existem postos de serviço servem de estacionamento para os caminhões que procuram cumprir as determinações da Lei do Motorista (Lei 12.619/2012), o que leva à destruição total dos acostamentos, que não podem ser recuperados com a execução de um novo revestimento, que terá vida útil comprometida se persistir a rotina de parada dos caminhões nesses locais para cumprir a lei;

8<sup>a</sup>- a fresagem tem de ter espessura inferior a 1 cm à espessura da camada do

revestimento existente, para manter as características estruturais da base;

Dentre as sugestões para aperfeiçoamento do método proposto destacam-se:

- aplicar o método em outros segmentos com diferentes características de patologias e destruição do pavimento;
- fazer prévio levantamento com a a Viga Benkelmann, independentemente do grau de destruição do revestimento;
- dimensionar o pavimento pelo método *Superpave*, para obtenção de indicadores mais verdadeiros da análise de desempenho das misturas betuminosas, inclusive o projeto do traço.

## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G.; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. (2010). Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros. Petrobras/ABEDA. Rio de Janeiro.

BONFIM, Valmir (2011). Fresagem de pavimentos asfálticos. Exceção editorial. São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER (1997). DNER-ES 321/1997: Pavimentação – recuperação de defeitos em pavimentos flexíveis – Especificação de serviço. DNER. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE

TRANSPORTES - DNIT (2003a). DNIT 005/2003-TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia. DNIT. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DNIT (2003b). DNIT 006/2003-PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. DNIT. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT (2003c). DNIT 008/2003-PRO: Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. DNIT. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT (2006). Manual de Pavimentação. DNIT. Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT (2010b). DNIT 139/2010-ES: Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. DNIT. Rio de Janeiro.

DOMINGUES, Felipe A. A. (1993). MID - Manual para identificação de defeitos de revestimentos asfálticos de pavimentos. F.A.A. Domingues. São Paulo.

SOUZA, Murillo L. de (1980). Pavimentação Rodoviária. Livros técnicos e científicos, 2ª edição. Rio de Janeiro.