

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP



PTR3521 - Avaliação e Reabilitação de Pavimentos

Trabalho 2

Método de Dimensionamento de Reforços de Pavimentos

PRO-159/85 do extinto DNER

Alphonse Bonnin - 10032040

Rafael Kobayashi - 8991582

São Paulo, maio de 2019

SUMÁRIO

1.	RESUMO	2
2.	INTRODUÇÃO	2
2.1.	Origem.....	2
3.	METODOLOGIA	3
3.1.	Levantamento de dados e características	3
3.2.	Cálculo dos parâmetros do trecho.....	4
a)	Trincamento (TR)	4
b)	Desgaste (D).....	4
c)	Irregularidade	4
3.3.	Gráfico e segmentação	5
3.4.	Restauração	6
a)	Restauração em concreto asfáltico	7
b)	Restauração em Tratamento Superficial Duplo (corrige o trincamento)	7
c)	Restauração em Tratamento em Lama Asfáltica	7
3.5	Exemplo de equação de evolução dos parâmetros.....	7
3.6.	Análise Econômica	9
3.	CONCLUSÃO	9
4.	REFERÊNCIAS.....	10

1. RESUMO

O método de dimensionamento de reforços de pavimentos PRO-159/85 é um método empírico que aponta soluções e alternativas para restauração dos pavimentos para cada tipo de revestimento (concreto asfáltico, tratamento superficial e lama asfáltica). A partir da avaliação estrutural e funcional do pavimento, definem-se restrições de desempenho com base em valores limites de Coeficiente de Irregularidade (QI), Trincamento (TR), Desgaste (D), considerando o Tráfego Atuarante (N) e outros fatores relevantes ao dimensionamento. Feita a avaliação, propõe-se uma análise econômica das alternativas, de modo que devam ser balanceadas as viabilidades técnica e econômica da intervenção, visto que pode haver restrições orçamentárias. Trata-se portanto de um método que sugere como soluções finais diversas alternativas semelhantes em termos de desempenho funcional.

2. INTRODUÇÃO

As principais causas de defeitos no pavimento estão relacionadas a erros de execução, uso de material inadequado e o excesso de cargas.

A motivação deste estudo é a necessidade de correção desses defeitos, ou seja, de recuperação e reforço de pavimentos, não somente em vias urbanas, mas também em rodovias em todo o território brasileiro.

2.1. Origem

Entre as pesquisas mais importantes sobre desempenho de pavimentos desenvolvidas no século XX, merece destaque o AASHO Road Test, desenvolvido pela AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) em Ottawa, Illinois (EUA) entre 1956 e 1961. Destes estudos decorreram grandes avanços em função dos resultados obtidos e da experiência adquirida ao longo dos anos.

Neste mesmo período, o Brasil se encontrava em uma época de crescente importância das estradas de rodagem na sua economia. Foi então criado o IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias), posteriormente integrado ao extinto DNER (hoje pertencente ao DNIT), com o objetivo de desenvolver pesquisas e normas técnicas. Uma delas, a PRO-159/85, é o objeto de estudo do presente documento.

3. METODOLOGIA

Uma boa reabilitação de pavimentos exige técnicas, equipamentos, materiais e especialmente execução adequada. A norma brasileira PRO-159/85 propõe um passo a passo, descrito a seguir.

3.1. Levantamento de dados e características

Primeiramente, inicia-se o levantamento de dados do pavimento existente, tal como a seção transversal tipo, a data de entrega ao tráfego e eventuais dados sobre restaurações já feitas. Demarca-se o trecho de interesse, com marcações a cada 20 metros, assim como marcações nos pontos de interesse como interseções, obras de arte especiais e o início e final de defeitos refletidos no pavimento (devido a movimentação ou erosão de maciços terrosos do corpo estradal). Feito isso, determinam-se deflexões recuperáveis com a norma DNER-ME 024/78. A seguir, levanta-se a condição do pavimento, (conforme norma DNER-ES 128/83), determinando áreas com trincas (cf. TR), buracos, remendos e desgaste (cf. D).

A irregularidade (QI) é determinada com aparelhos medidores do tipo resposta – AMITR – como por exemplo o Maysmeter (Figura 1). As medidas são feitas entre intervalos de 200 a 400 metros, sendo geralmente adotado intervalo usual de 320 metros constante.

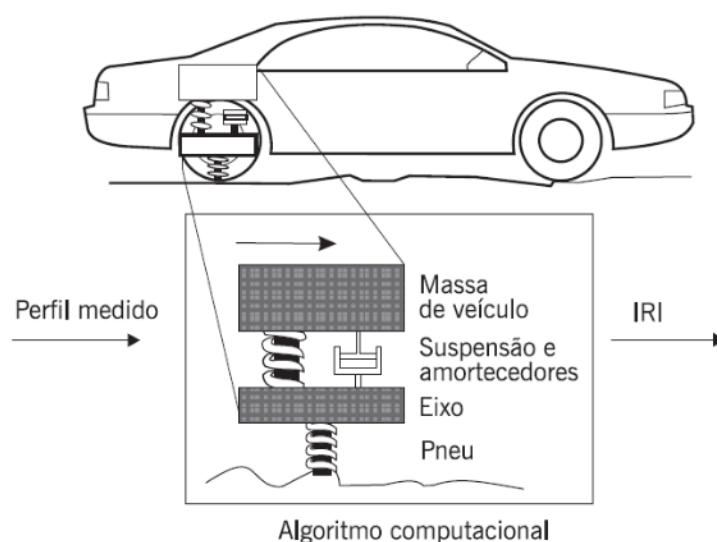


Figura 1 - Equipamento do tipo resposta (ex: Maysmeter)

Segue-se então com sondagens e recuperação de amostra e uma caracterização do tráfego (composição, carga por eixo).

Em laboratório, determina-se o Índice de Suporte Califórnia (CBR) e o Módulo de Resiliência das amostras.

3.2. Cálculo dos parâmetros do trecho

a) Trincamento (TR)

O Trincamento (TR) é a porcentagem das áreas contendo trincas não capilares, em uma faixa de tráfego, em relação a área total dessa faixa. É calculado segundo a seguinte fórmula:

$$TR = \frac{TRI}{S} \times 100$$

Onde:

- **TR** é o Trincamento em porcentagem;
- **TRI** é o total das áreas com trincamentos de classe 2 e 3 (conforme avaliado na parte 3.2);
- **S** é a área da superfície de avaliação em metros quadrados.

b) Desgaste (D)

O Desgaste (D) é a porcentagem das áreas com perda de envolvimento do ligante betuminoso no agregado e/ou desprendimento deste, em uma faixa de tráfego, em relação a área total dessa faixa. É calculado da seguinte maneira:

$$D = \frac{DI}{S} \times 100$$

Onde:

D é o Desgaste, em %

DI é o total das áreas com desgaste contidas na superfície de avaliação.

c) Irregularidade

As medições feitas com AMITR devem ser convertidas em quociente de irregularidade (QI), com equação de calibração adequada. Periodicamente deve ser verificado o estado de calibração do aparelho. O quociente de irregularidade (QI) é um índice

representativo da irregularidade da superfície do pavimento. Expresso em contagens por quilômetro.

3.3. Gráfico e segmentação

DNER--PRO 159/85
P. 11/31

**FIGURA 2 - MODELO DE GRÁFICO PARA DIVISÃO DO TRECHO
EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS**

PISTA DE ROLAMENTO	QI QUOCIENTE DE IRREGULARIDADE (Cont./Km)											
	TR TRINCAMENTO (%)											
	D DESGASTE (%)											
	B DEFLEXÃO RECUPERÁVEL (0,01mm)											
	TMD											
	CONSTITUIÇÃO DO PAVIMENTO *	ESPESSURAS (cm)										
	OBSERVAÇÕES											
	ESTAQUEAMENTO											
	SUBTRECHO HOMOGÊNEO											
* CONVENÇÕES PARA AS CAMADAS DO PAVIMENTO		 REVESTIMENTO	 SUB-BASE									
		 BASE										

Figura 2 - Modelo de gráfico para divisão em sub-trechos homogêneos

Após delimitação prévia do trecho em segmentos com constituição do pavimento e TMD (Tráfego Médio Diário) similares, monta-se um gráfico como na *Figura 2 - Modelo de gráfico para divisão em sub-trechos homogêneos*. Esse gráfico tem como objetivo a análise visual dos valores do QI, TR e D, de modo a delimitar um segundo conjunto de segmentos com valores semelhantes desses parâmetros. São eliminados da análise valores individuais desses parâmetros que se destacam de mais de três vezes o desvio-padrão da média aritmética. Pontos extremos desse tipo precisam ser objeto de uma análise separada.

Analisando os dois grupos de segmentos juntos, Definem-se os sub-trechos homogêneos.

3.4. Restauração

A restauração é feita para cada subtrecho homogêneo separadamente. Para cada um desses subtrechos, determinam-se características como a idade do pavimento, tipo e espessura do revestimento, deflexão característica, etc. (assim como os valores de QR, TR e D).

Para a restauração do pavimento, consideram-se os valores máximos admitidos definidos pelo Órgão Rodoviário para os parâmetros de interesse, que são tipicamente:

- QI = 50 a 70 contagens/km
- TR = 15% a 40%
- D = 15% a 40%

Para pavimentos em concreto asfáltico, podem acontecer três casos, considerando limites de irregularidade (QI) e Trincamento (TR) do pavimento:

I - Nenhum limite está atingindo dentro do período de análise. O pavimento não precisa de restauração;

II - Um dos limites será atingindo durante o período de análise, conforme equações de evolução. Determina-se o ano no qual o primeiro limite é atingido. Até este ano não precisa restauração, e a partir deste se faz o estudo das alternativas de restauração;

III - Um dos limites já está ultrapassado no início do período de análise. É necessária atividade imediata de restauração.

Para pavimentos com Revestimento em Tratamento Superficial, são os mesmos casos mas levando em conta o Desgaste (D) em lugar do Trincamento (TR).

Para pavimentos Tratados com Lama Asfáltica, aplica-se o primeiro cenário (QI e TR) se o revestimento anterior for concreto asfáltico, e o segundo (QI e D) se o revestimento anterior for tratamento superficial.

Os critérios para escolha do tipo de restauração são os seguintes:

- Correção da irregularidade: restauração em concreto asfáltico;
- Correção do trincamento ou desgaste: Restauração em lama asfáltica ou tratamento superficial ou concreto asfáltico.

a) Restauração em concreto asfáltico

Recomenda-se adoção da espessura mínima de 3 centímetros.

Determina-se o valor mínimo (superior a espessura mínima) que satisfaz os valores máximos de irregularidade e trincamento até o último ano do período de análise, ou que satisfaz esses valores máximos até um dado ano do período do análise, a partir do qual será necessária nova restauração - precisando ser analisada. (A vida útil da restauração tem que se encaixar nos critérios de vida útil mínima fixada nas restrições de construção).

b) Restauração em Tratamento Superficial Duplo (corrige o trincamento)

É análogo ao item anterior, trocando TR por D.

c) Restauração em Tratamento em Lama Asfáltica

Também segue a mesma lógica que a restauração em concreto asfáltico.

3.5 Exemplo de equação de evolução dos parâmetros

A_E = Idade de um pavimento existente, na data de coleta de dados (anos)

A = Numero de anos a partir de A_E , no período de analise do pavimento existente (antes de restauração)

A' = Numero de anos (ate um ano posterior qualquer) de operação depois da ultima restauração (o de criação, no caso de pavimento não restaurado).

B_E = Deflexão característica do pavimento

$$TR_{A'} = -18,53 + 0,0456 (B_E \times \log N_{A'}) + 0,00501 (B_E \times A' \times \log N_{A'}) + \Delta TR$$

sendo:

$$A' = A + A_E \quad (\text{para } A + A_E > 1,5)$$

$$A' = \frac{2}{3} \times (A + A_E) + 0,5 \quad (\text{para } A + A_E \leq 1,5)$$

$$N_{A'} = \frac{N_{p1}}{t(t+1)A_E} \left[(t+1)^{A'} - 1 \right]$$

Cálculo de ΔTR :

a) para $TR_E > 0$

$$\Delta TR = TR_E + 18,53 - 0,0456 (B_E \times \log N_{A''}) - 0,00501 (B_E \times A'' \times \log N_{A''})$$

$$N_{A''} = \frac{N_{p1}}{t(t+1)A_E} \left[(t+1)^{A''} - 1 \right]$$

$$A'' = A_E \quad (\text{para } A_E > 1,5)$$

$$A'' = \frac{2}{3} \times A_E + 0,5 \quad (\text{para } A_E \leq 1,5)$$

b) para $TR_E = 0$

$$TR' = -18,53 + 0,0456 (B_E \times \log N_{A''}) + 0,00501 (B_E \times A'' \times \log N_{A''})$$

se $TR' \leq 0$ então $\Delta TR = 0$

se $TR' > 0$ então $\Delta TR = -TR'$

Obs:

- 1) ΔTR é constante, sendo calculado somente para o ano A_E ;
- 2) As equações que utilizam a taxa de crescimento anual do tráfego (t) são válidas para séries em progressão geométrica. Quando se justificar o uso outro tipo de série, o projetista deverá desenvolver o cálculo correspondente.

3.6. Análise Econômica

Entre as alternativas propostas, deve-se indicar a melhor delas para a implantação. Para isso, é preciso estabelecer uma hierarquia entre elas, para os segmentos críticos, em função da disponibilidade orçamentária.

Uma boa análise econômica fundamenta-se na avaliação dos benefícios (diretos e indiretos) esperados em relação ao custo de implantação dos melhoramentos. Segundo o *Manual de Análise, Diagnóstico, Proposição de Melhorias e Avaliações Econômicas dos Segmentos Críticos*, elaborado em 1988 pelo DNER, deve-se portanto realizar o seguinte procedimento:

- Estimativa da redução de acidentes, em termos de quantidade e/ou gravidade;
- Estimativa dos benefícios econômicos (reduz custo de viagem);
- Estimativa dos custos econômicos e financeiros;
- Avaliação econômica dos melhoramentos;
- Elaboração de memória de análise econômica das alternativas.

3. CONCLUSÃO

O primeiro passo em um projeto de recuperação ou reforço de pavimento é identificar todas as patologias e as suas respectivas causas. Em geral, os métodos aplicados para este tipo de projeto não diferem muito dos projetos de pavimentos novos. Em relação à metodologia proposta, devem-se tomar alguns cuidados adicionais. O número N é um deles, pois além de considerar contagens históricas de volume de tráfego, deve-se levar em conta o tráfego gerado pela nova condição da via, isto é, a atração de uma demanda reprimida após os melhoramentos. Outro ponto que merece atenção é a execução correta, o que inclui vistoriar o trecho a fim de verificar se a solução concebida ainda é a mais adequada no momento da execução e acompanhar devidamente a evolução da obra, com auxílio de controle tecnológico.

A norma PRO-159/85 é ainda muito empregada na avaliação e restauração de pavimentos no Brasil, embora possua suas limitações, dado a falta de experiência na época em que foi concebida.

Por fim, destaca-se a importância de que o projetista tenha como base a sua própria experiência e outras ferramentas, e não somente a norma em si, sendo ele o responsável técnico de uma restauração de pavimentos adequada.

4. REFERÊNCIAS

- DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. Procedimento PRO-159/85. 31 p.
- _____. _____. *Manual de Análise, Diagnóstico, Proposição de Melhorias e Avaliações Econômicas dos Segmentos Críticos*. Rio De Janeiro, 1988. 106 p.
- TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR. *Pavement Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System*. Washington, DC. E-C118. July 2007. 130 p.
- FONSECA, L. *Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA 2a Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes*. Mestrado—Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, mar. 2013.
- JUNIOR, Antoine Hennadipgil et al. *Avaliação e Restauração de Pavimentos: Uma Proposta de Adequação ao Dimensionamento do Reforço*. ITA. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 19 p.
- <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/37/artigo308746-2.aspx> (acesso em: 2 de junho de 2018)
- IPR, DNIT. Instituto de Pesquisas Rodoviárias: 50 anos. Rio de Janeiro, 2007. 42 p.