

1 OBJETIVO

Esta norma tem por objetivo estabelecer os procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis existentes, apontar as causas de suas deficiências e fornecer elementos para o cálculo da vida restante ou do reforço necessário para um novo número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão durante o período considerado (número N).

2 REFERÊNCIAS

DNER-TER 001/78 - Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos;

DNER-PRO 008/94 - Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos;

DNER-ME 024/94 - Determinação da Deflexões no Pavimento pela Viga Benkelman.

3 CONCEITUAÇÃO E DEFINIÇÕES

Estes procedimentos foram desenvolvidos baseados no critério de deformabilidade dos pavimentos flexíveis, que são expressos na prática pela medida de deflexões recuperáveis, pois, apesar de todas as limitações deste processo, a experiência tem demonstrado que, de uma maneira geral, existe uma correlação entre a magnitude das deflexões (e do raio de curvatura correspondente) e o aparecimento de falhas nos pavimentos flexíveis. Em virtude da grande variação de suporte estrutural que se observa nos pavimentos, inclusive naqueles bem construídos, usa-se critério estatístico para interpretação das medidas.

No Brasil, já existe considerável experiência sobre medida de deflexão, e é corriqueiro entre nós a "auscultação" de um pavimento por intermédio de medidas de deflexão, pelo menos como uma primeira fase, que pode ser também a única, de avaliação estrutural. Assim, se considerar-se o comportamento de um pavimento bem construído, que ao longo de seu período de vida é solicitado não só pelo tráfego, que o submete a esforços diversos de compressão, cisalhamento e flexão, como também pelos fatores de clima, como precipitações pluviométricas e mudanças de temperatura, causando a fadiga de toda a estrutura do mesmo, pode distinguir-se, com respeito à deflexão, as seguintes fases da vida do pavimento, conforme na figura 1.

3.1 Fase de Consolidação

Fase que sucede imediatamente à construção, sendo caracterizada por um decréscimo desacelerado do valor da deflexão, decorrente da consolidação adicional proporcionada pelo tráfego nas diversas camadas do pavimento. O valor da deflexão tende a se estabilizar ao fim desta primeira fase.

3.2 Fase Elástica

Fase que sucede à de consolidação, e ao longo da qual o valor da deflexão do pavimento, a menos das variações sazonais, se mantém aproximadamente constante ou cresce ligeiramente.

Essa fase define a vida útil do pavimento, tendendo a se alongar na produção da diferença verificada entre a deflexão admissível e a deflexão suportada pelo pavimento.

Aprovada pelo Conselho de Administração em 29/01/79

Autor : DNER/DrDTc (IPR) .

Resolução nº / , Sessão nº CA/ /

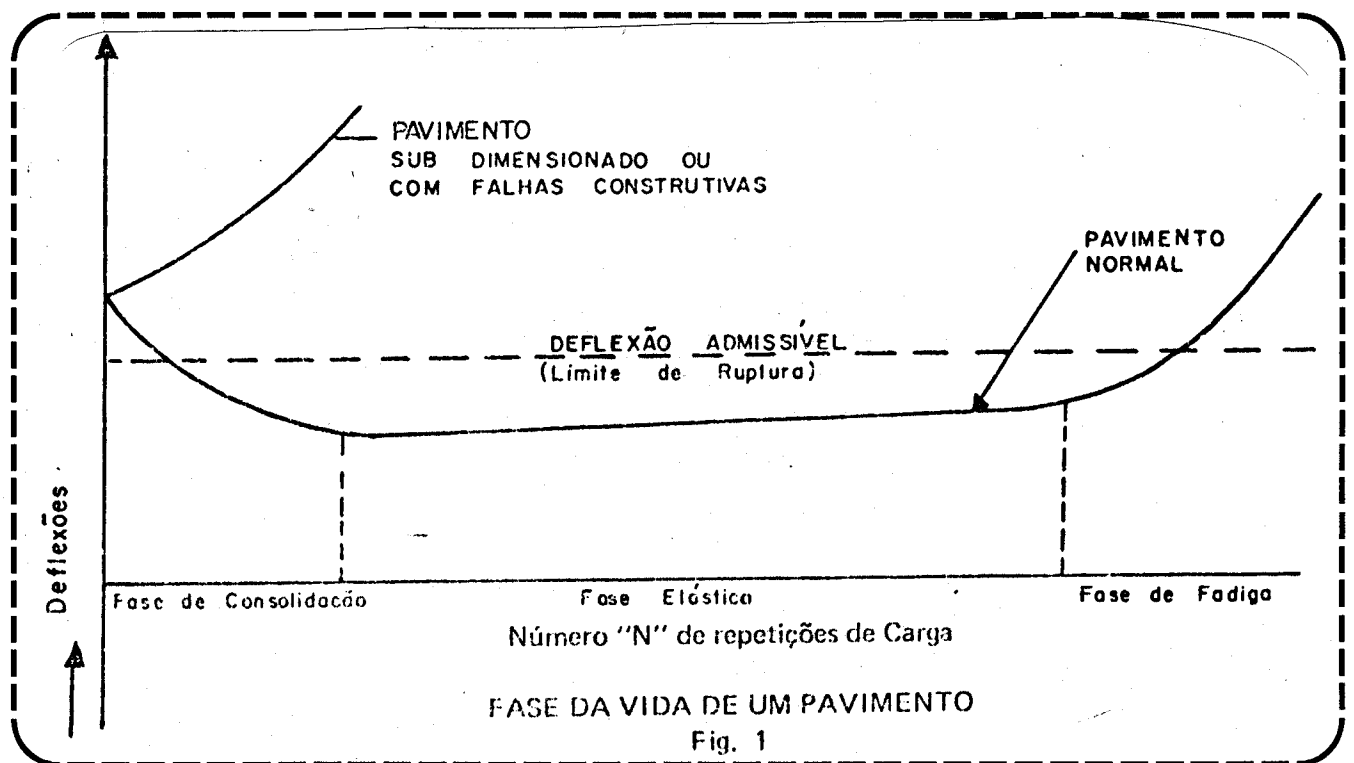
Processo nº 20100028446/78

3.3 Fase de Fadiga

Fase que sucede à elástica, caracterizando-se por um crescimento acelerado do valor de deflexão do pavimento, na medida em que a estrutura começa a exteriorizar os efeitos da fadiga, representados por fissuras, trincas e acúmulo de deformações permanentes sob cargas repetidas. Caso não se tomem medidas para esforço e recuperação do pavimento, observa-se, geralmente, nesta fase um processo acelerado de degradação do pavimento.

Nota - Evidentemente, um pavimento flexível bem projetado será tanto melhor, técnica e economicamente, quanto maior for a sua fase elástica, que está limitada, de uma maneira geral, pelo número de solicitações das cargas de roda e por diversos fatores que causam deficiências no revestimento e na estrutura do pavimento, dos quais podem destacar-se:

- falhas da fundação, na qual estão incluídas as deficiências do subleito e do próprio corpo dos aterros;
- deficiências de drenagem;
- deficiências de projeto;
- falhas construtivas em uma ou mais camadas do pavimento.



O modo como as solicitações das cargas de roda atuam em um pavimento flexível pode ser ilustrado conforme é mostrado na figura nº 2, que representa esquematicamente um pavimento flexível constituído de revestimento betuminoso, base e sub-base granulares, construído sobre subleito suposto homogêneo. A ação de uma carga de roda, P , aplicada sobre a superfície da estrutura, provocará na face inferior do revestimento o desenvolvimento de uma tensão de tração σ_t , decorrente de deformação de tração ϵ_t , e, na superfície do subleito, uma pressão vertical, P .

Admitindo-se que os materiais integrantes das camadas do pavimento atendem às especificações, no que concerne à respectiva resistência ao cisalhamento, a possibilidade de deformações ou rupturas plásticas restringir-se-ão ao subleito. Tais rupturas são evitadas sempre que o valor da pressão vertical atuante, P , for mantido abaixo do valor da pressão vertical admissível pelo material do subleito, P_{adm} . Para garantir essa condição, o pavimento deve ter uma espessura igual ou superior à indicada, por exemplo, pelo ISC (Índice de Suporte Califórnia) do subleito.

Para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão, D , abaixo de um valor máximo, D_{adm} , e o raio de curvatura, R , do pavimento, acima de um certo valor mínimo. Isto garante que a tensão de tração σ_t , correspondente à deformação ϵ_t , na face inferior do revestimento, não ultrapasse um determinado valor, acima do qual o revestimento betuminoso romper-se-á por fadiga.

4 ESTUDOS

Os estudos recomendados para avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis e das suas deficiências compreendem os seguintes procedimentos:

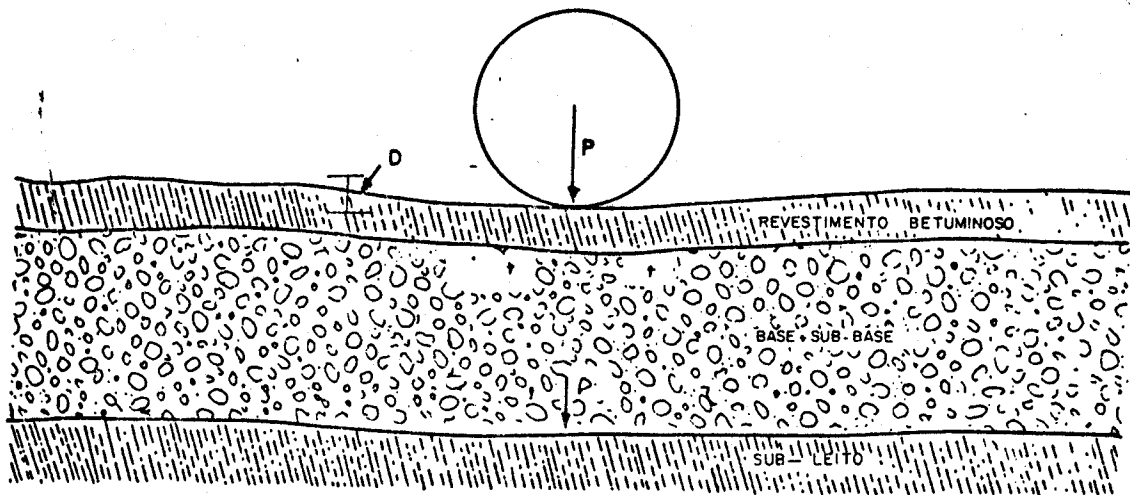
4.1 Estudos Preliminares

Os estudos preliminares do pavimento existente têm como objetivo fornecer uma idéia geral de sua constituição ao longo do trecho, das solicitações por ele já suportadas, bem como do número daqueles que irá suportar durante um novo período de exposição ao tráfego. Estes estudos compreendem:

4.1.1 Levantamento Histórico do Pavimento Existente

O levantamento histórico do pavimento existente deve ser efetuado junto às organizações rodoviárias encarregadas da sua construção e conservação, ou por estudos e reconhecimentos "in loco" visando à obtenção das seguintes informações principais:

- a) data de entrega do pavimento existente ao tráfego;
- b) número N de projeto;
- c) tráfego atual e futuro (novos números N);
- d) informações sobre o projeto, incluindo, principalmente, as características do subleito, das diversas camadas do pavimento e dos dispositivos de drenagem, bem como a seção transversal adotada;
- e) informações a respeito da geologia da região;
- f) informações a respeito da hidrologia da região;
- g) informações a respeito do estado de conservação do trecho e dos trabalhos já executados com esse objetivo;
- h) outras informações julgadas procedentes.



EFEITO DA CARGA SOBRE UM PAVIMENTO FLEXÍVEL

Fig. 2

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

4.1.2 Prospecção Preliminar do Pavimento Existente

A prospecção preliminar deve ser realizada por intermédio da abertura de poços de sondagem, a pá e picareta, localizados nos bordos do revestimento da pista de rolamento, dispostos alternadamente em relação ao eixo, e espaçados longitudinalmente de 2 km. Nos referidos poços deve ser providenciada:

- a) a identificação expedita e a determinação da espessura das camadas que compõem o pavimento propriamente dito, bem como dos 60 cm superiores do subleito;
- b) a determinação das umidades naturais e massas específicas aparentes secas "in situ," das camadas granulares do pavimento e das camadas que compõem os 60 cm superiores do subleito;
- c) a coleta de amostras representativas dos materiais componentes das camadas granulares do pavimento e das camadas que compõem os 60 cm superiores do subleito, para a realização de ensaios de caracterização, compactação e ISC;
- d) a coleta de amostras representativas dos materiais betuminosos das camadas de ligação (binder) e de revestimento para a realização de ensaios de extração de betume e granulometria.

4.2 Estudos Definitivos

Os estudos definitivos compreendem os seguintes procedimentos:

4.2.1 Demarcação das Estações de Ensaio

Nas rodovias de pista única com duas faixas de tráfego, as estações destinadas à visualização dos locais para determinação das deflexões devem ser demarcadas em ambas as faixas de tráfego, alternadamente, de forma que o espaçamento longitudinal entre duas estações consecutivas localizadas em uma mesma faixa de tráfego seja igual a 40 m, e, conseqüentemente, o afastamento longitudinal entre duas estações consecutivas, consideradas ambas as faixas de tráfego, seja igual a 20 m. Nas rodovias de pista dupla, as estações devem ser demarcadas nas faixas externas de cada pista, com um afastamento longitudinal de 20 m.

4.2.2 Determinação das Deflexões Recuperáveis

Devem ser determinadas as deflexões recuperáveis, na trilha da roda externa, em todas as estações demarcadas ao longo do trecho em estudo, salvo nas que se situem sobre obras de arte especiais. Caso seja julgado necessário, podem ser obtidas também medidas de deflexões nas trilhas das rodas internas. Durante a medida de deflexões devem ser obtidas medidas que possibilitem o cálculo do Raio de Curvatura, de acordo com os métodos já aprovados. Os raios de curvaturas serão determinados com o espaçamento de 200 m, devendo ser feitas determinações adicionais, sempre que ocorrerem valores isolados inferiores a 100 m para o raio de curvatura. Com o objetivo de enriquecer os subsídios proporcionados pelo levantamento das deflexões recuperáveis, podem ser efetuadas também, determinações que possibilitem o delineamento da linha de influência longitudinal inerente à parcela transitória da deformação ocasionada pela carga de prova aplicada à superfície do pavimento (Bacia de Deformação).

Neste particular, a extensão estudada deve ser subdividida em segmentos de cerca de 1 km, devendo ser selecionadas, em cada um deles, duas estações que apresentem, sempre que possível, diversidade no tange ao estado do pavimento.

Nota - A determinação das deflexões do pavimento deve ser executada com a Viga Benkelman pelo método já normalizado pelo DNER, podendo ser usadas outras aparelhagens já normalizadas por aquele órgão, desde que seja estabelecida a devida correlação com as deflexões recuperáveis medidas com a Viga Benkelman.

4.2.3 Inventário do Estado da Superfície do Pavimento Existente

Paralelamente ao levantamento das deflexões recuperáveis, deve ser efetuado um inventário do estado apresentado pela superfície do revestimento da pista de rolamento do pavimento existente.

Este inventário, que é destinado à complementação do levantamento deflectométrico, será feito segundo a metodologia descrita na norma de "Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos".

4.2.4 Sondagens Complementares a Pá e Picareta

Conforme o resultado dos estudos precedentes, pode ser verificada a impossibilidade do uso do critério deflectométrico para a avaliação estrutural do pavimento estudado e o cálculo de um novo reforço. Neste caso, devem ser feitos poços de sondagens complementares, com um espaçamento máximo de 200 m, sendo dispensado aos poços em questão o mesmo tratamento concedido aos pertinentes à prospecção preliminar e que foi detalhado no item 4.1.2.

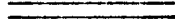
4.2.5 Representação Gráfica dos Resultados dos Estudos

Os resultados dos estudos de deflectometria, de superfície, e das prospecções efetuadas, devem ser representados graficamente em um desenho apropriado (ver figura 3), onde serão incluídas, no mínimo, as seguintes informações:

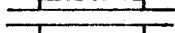
- a) características do subleito do pavimento existente;
- b) elementos referentes à constituição do pavimento existente;
- c) indicações sobre a existência de água freática no subleito;
- d) informes relativos à configuração da terraplenagem;
- e) estanqueamento ou quilometragem;
- f) poligonais representativas da variação das deflexões recuperáveis, obtidas na trilha de roda externa de cada faixa de tráfego;
- g) valores do raio de curvatura;
- h) principais defeitos constatados na superfície da pista de rolamento.

CONVENÇÕES:

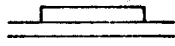
TRECHO EM ATERRO



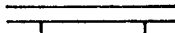
TRECHO EM CORTE



TRECHO EM CORTE A ESQUERDA
E ATERRO A DIREITA



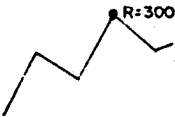
TRECHO EM CORTE A DIREITA
E ATERRO A ESQUERDA



NÍVEL D'ÁGUA

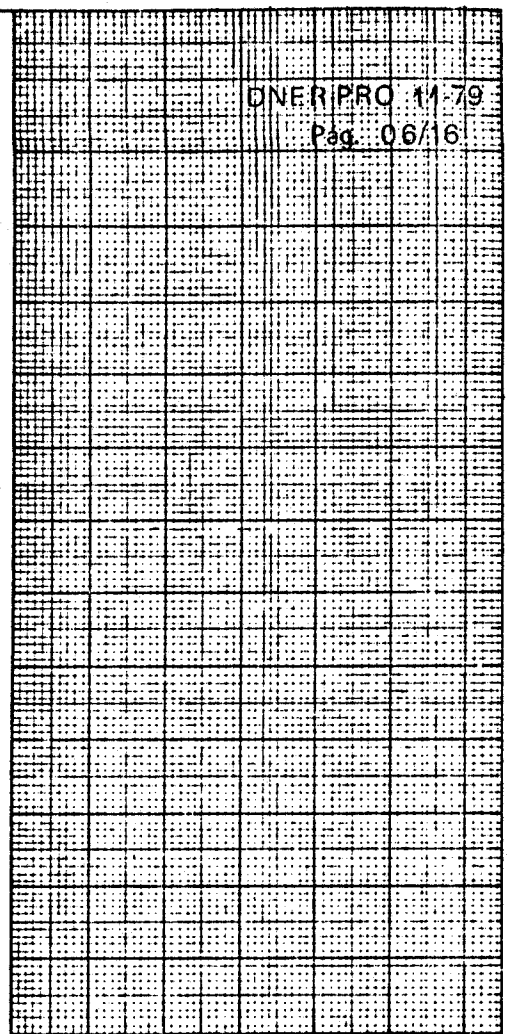


PERFIL DEFLECTOMÉTRICO COM
RAIO DE CURVATURA INDICADO



DEFLEXÃO EM 0,01mm

ESTACA OU Km
SEÇÃO



CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO

FENDAS PROVENIENTES DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE EXCESSIVA OU FADIGA	FISSURAS			FI
	TRINCAS ISOLADAS	TRANSVERSAIS	CURTAS	TTC
TRINCAS DE RETRAÇÃO		TRINCA ISOLADA	LONGITUDINAIS	LONGAS
	JACARÉ		CURTAS	TLC
AFUNDAMENTOS	TRINCAS INTERLIGADAS	RETRAÇÃO DA BASE OU REVESTIMENTO	LONGAS	TLL
			S/ EROSÃO	J
	LOCAIS	TIPO BLOCO SEM EROSÃO	C/ EROSÃO	JE
			TIPO BLOCO COM EROSÃO	TRP
NAS TRILHAS DE RODAS	FLUÊNCIA PLÁSTICA	CONSOLIDADO	TB	
		CONSOLIDADO	TBE	
ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS (CORRUGAÇÃO)				O
ESCORREGAMENTO DO REVESTIMENTO				E
EXSUDAÇÃO				EX
DESGASTE				D
"PANELAS" (DESAGREGAÇÃO DO REVESTIMENTO E BASE)				P
REMENDOS				R
FALHAS DEVIDAS AO TERRENO DE FUNDAÇÃO	AFUNDAMENTO DE CONSOLIDAÇÃO			AC
	RUTURA POR CIZALHAMENTO			AR

ESTRUTURA DO PAVIMENTO

ESPESSURA EM CM.

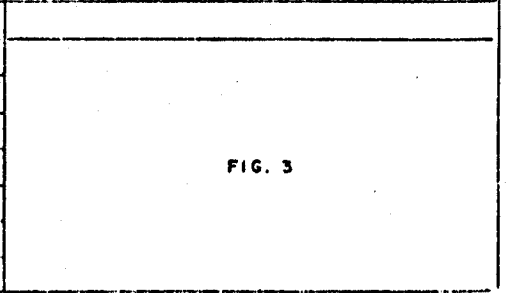


FIG. 3

4.2.6 Definições dos Limites dos Segmentos Homogêneos

A extensão total estudada deve ser subdividida em segmentos que possam ser considerados razoavelmente homogêneos, com vistas às medidas corretivas que estejam a requerer. Esta noção de homogeneidade está, portanto, estreitamente vinculada ao valor residual do pavimento, o qual depende, em grande parte, tanto da constituição da estrutura e do subleito, quanto do seu estado de deterioração.

Considera-se impraticável a proposição de diretrizes rígidas no que diz respeito ao estabelecimento dos limites de tais segmentos, tendo em vista a inevitável subjetividade ditada pela natureza do problema.

Recomenda-se que a tarefa seja executada levando-se em conta, principalmente, os resultados da análise simultânea dos seguintes elementos propiciados pelos estudos precedentes e representados no desenho recomendado no item 4.2.5 (Fig. 3):

- a) a configuração das poligonais representativas da variação das deflexões recuperáveis;
- b) os valores do raio de curvatura;
- c) a constituição do pavimento existente;
- d) os contatos entre as litologias que constituem o subleito;
- e) a natureza e a frequência dos defeitos verificados na superfície do revestimento da pista de rolamento.

Por motivos de ordem construtiva, sempre que possível, deve-se conferir aos segmentos homogêneos uma extensão mínima da ordem de 200 m.

Caso sejam encontrados segmentos menos extensos, ao longo dos quais os níveis de deflexão e/ou o estado da superfície do pavimento se mostrem notoriamente discrepantes, quando comparados com aqueles exibidos pelos segmentos adjacentes, tais segmentos devem ser considerados isoladamente.

Não devem ser tomados segmentos homogêneos com extensão superior a 2000 m.

4.2.7 Análise Estatística das Deflexões Recuperáveis, Avaliação das Deflexões Recuperáveis. Características

Em princípio, devem ser consideradas como pertencentes a um único universo, as deflexões recuperáveis encontradas nas trilhas de roda externa de ambas as faixas de tráfego, em cada segmento homogêneo. Excepcionalmente, a análise simultânea dos quatro elementos relacionados no item 4.2.6 pode conduzir o projetista ao tratamento em separado de cada faixa de tráfego. Em tais condições, a avaliação da superfície, o cálculo das deflexões características e a definição dos parâmetros de tráfego devem ser estabelecidos em separado, por faixa de tráfego.

Nesses casos, a extensão mínima desejável de cada segmento homogêneo passa a ser de 400 m. Para cada uma das distribuições assim definidas, deve-se efetuar o cálculo estatístico da deflexão característica correspondente, adotando-se o seguinte procedimento:

- a) tabulam-se os valores individuais das deflexões recuperáveis encontradas (D_i);
- b) calcula-se a média aritmética, D , dos valores individuais (média da amostra);

$$D = \frac{\sum D_i}{n}$$

onde n representa o número de valores individuais computados (número de indivíduos componentes da amostra);

c) determina-se o valor do desvio-padrão da amostra, σ , através da expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D)^2}{n - 1}}$$

d) estabelece-se o intervalo de aceitação para os valores individuais, definindo-o através dos limites $D \pm z \sigma$, onde z será estimado em função de n , mediante o critério constante da tabela apresentada a seguir:

TABELA I

n	z
3	1
4	1,5
5 - 6	2
7 - 19	2,5
≥ 20	3

Nota - Os valores constantes da Tabela I originam-se do "Highway Research Board" - Report 17.

- e) segue-se a eliminação de todos os valores individuais da distribuição situados fora do intervalo anteriormente definido, procedendo-se a novo cálculo de D e σ com os valores remanescentes, bem como a fixação dos novos limites do intervalo de aceitação, $D \pm z \sigma$, para a nova situação. Esse procedimento deve ser repetido, em cada caso, tantas vezes sucessivas quantas forem necessárias para o enquadramento de todos os valores individuais remanescentes no intervalo $D \pm z \sigma$ determinado. Os valores de D e σ assim encontrados são considerados, respectivamente, como a média aritmética e o desvio-padrão da amostra.
- f) o valor do coeficiente de variação (cv) é determinado, para cada uma das distribuições, através da expressão:

$$cv = \frac{\sigma}{D}$$

- g) o valor da deflexão característica é determinado, para cada uma das distribuições, através da expressão:

$$D_c = D + \sigma$$

onde D e σ representam, respectivamente, a média aritmética e o desvio-padrão da amostra.

4.2.8 Deflexão de Projeto - Correção Sazonal

A época mais indicada para a realização das medidas das deflexões é imediatamente após a estação chuvosa, quando o subleito está com o máximo de umidade. Como isto, porém, nem sempre é possível, costuma-se utilizar fatores de correção sazonal para as deflexões obtidas em qualquer época, a fim de corrigi-las para a época mais desfavorável. Estes fatores de correção sazonal dependem de pesquisa regionais, quase inexistentes no Brasil, para serem corretamente aplicados, Desta maneira, sugerem-se os seguintes valores:

TABELA II

Natureza do Subleito	Fator de Correção Sazonal - F_s	
	Estação Seca	Estação Chuvosa
Arenoso e Permeável	1,10 - 1,30	1,00
Argiloso e Sensível à Umidade	1,20 - 1,40	1,00

A escolha do fator de correção sazonal, F_s , mais adequado para a correção das medidas de deflexão, deve ser feita levando-se em conta as seguintes informações:

- a) a distribuição das precipitações mensais médias correspondentes à região onde se acha implantado o trecho em estudo;
- b) as precipitações mensais ocorridas nos meses durante os quais foi efetuado o levantamento deflectométrico, e nos três meses que antecederam o levantamento;
- c) as características da estrutura do pavimento existente e de seu subleito.

A deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto (D_p) é calculada pela fórmula:

$$D_p = D_c \times F_s$$

Sendo:

D_p - deflexão característica corrigida ou deflexão de projeto, em 0,01 mm

D_c - deflexão característica obtida para a época do levantamento deflectométrico, em 0,01 mm

F_s - fator de correção sazonal

Nota - Os valores constantes da Tabela II foram adaptados de um relatório do "Centre Experimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publicques - Paris, France" para reforços dos pavimentos flexíveis na África Tropical e Madagascar, e da publicação nº 428 do IPR "Variação Mensais de Deflexão com a Viga Benkelman" sobre pesquisas realizadas no Estado do Rio Janeiro.

5 DEFLEXÃO ADMISSÍVEL (D_{adm})

Para que não surjam trincas no revestimento, é necessário manter a deflexão do pavimento abaixo de um determinado valor (D_{adm}), denominado deflexão admissível.

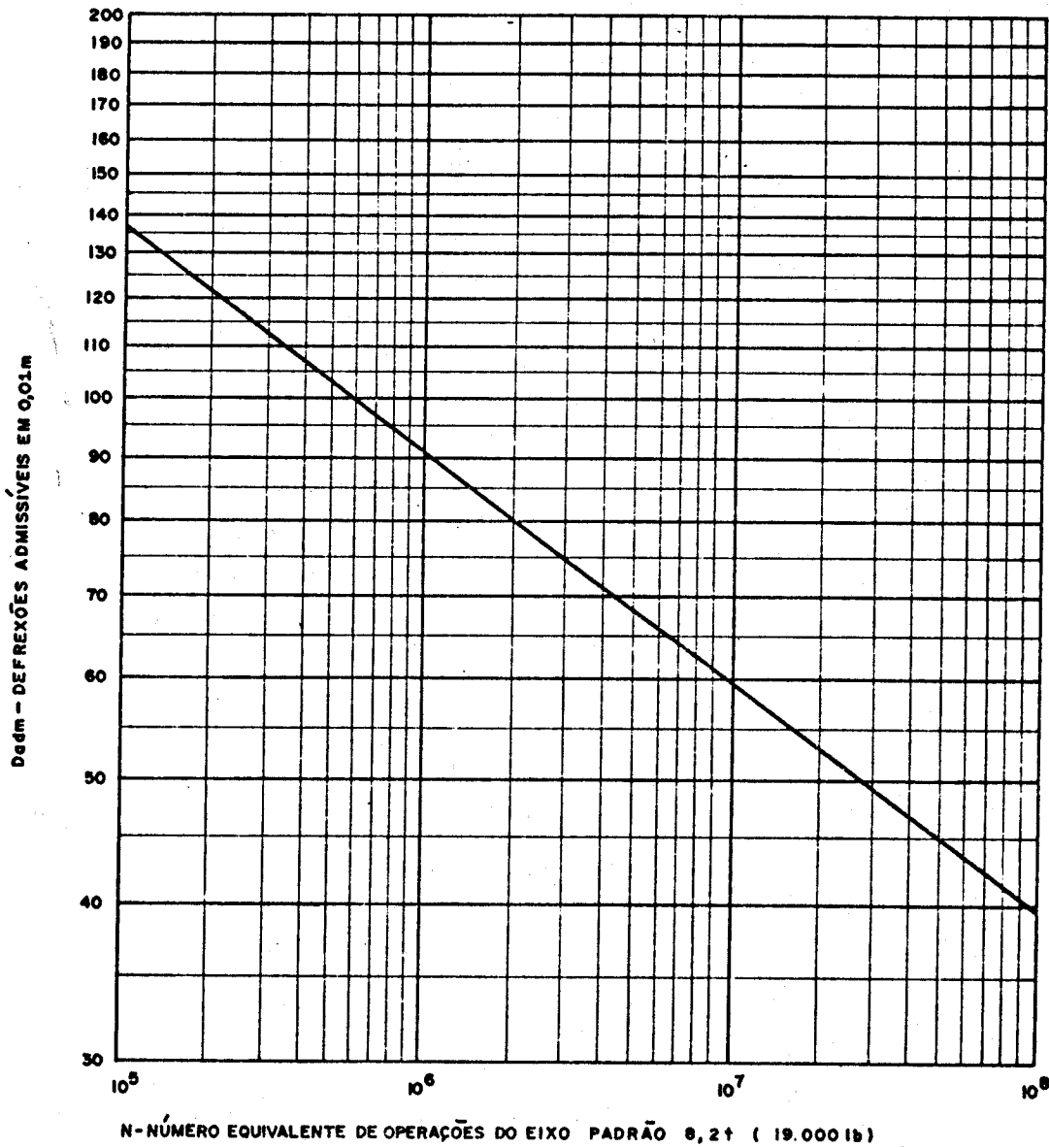
O valor da deflexão admissível depende dos materiais constituintes do revestimento e da base do pavimento, bem como do número N de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t.

Para pavimento flexíveis, constituídos de revestimento de concreto betuminoso executado sobre base granular, o valor da deflexão admissível (D_{adm}) em 0,01mm é dado pela seguinte expressão correspondente a deflexões medidas com a carga padrão de 8,2 t por eixo:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N$$

Esta expressão está representada graficamente no ábaco da figura 4.

DEFLEXÃO ADMISSÍVEL PARA CONCRETO BETUMINOSO
 (DEFLEXÕES MEDIDAS COM CARGA POR EIXO DE 8,2t)



$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,175 \log N$$

N	Dadm
10 ⁵	135
10 ⁶	90
10 ⁷	60
10 ⁸	40

FIG. 4

Para pavimentos semi-rígidos, com base de solo-cimento ou base de brita tratada com cimento, que não apresente fissuração exagerada, deve ser adotada como deflexão admissível a metade do valor obtido pela expressão e ábaco apresentados, independentemente do tipo de revestimento.

Para avaliação de pavimento com revestimentos do tipo tratamento superficial, executados sobre base granular, deve ser adotada como deflexão admissível o dobro do valor obtido pela expressão e ábaco apresentados; no caso de ser projetado um reforço com revestimento em CBUQ, a deflexão admissível será a correspondente a este material.

O valor de N a ser considerado na determinação da deflexão admissível, depende do tipo de análise a que se está submetendo o pavimento, como a seguir explicitado.

Para verificar se o pavimento ainda está em sua fase elástica, o número N a ser considerado para a determinação da deflexão admissível é o correspondente às cargas por eixos suportadas pelo pavimento, desde sua abertura ao tráfego, até a data das medidas de deflexão.

Para determinar a deflexão admissível a ser adotada em um determinado projeto de reforço de pavimento, o número N a ser utilizado é o correspondente às cargas por eixo a serem suportadas pelo reforço do pavimento, desde a liberação deste reforço ao tráfego até o final do período de projeto arbitrado para o reforço:

6 ESTIMATIVA DE VIDA RESTANTE DO PAVIMENTO

Quando a deflexão de projeto (D_p) de um determinado pavimento está abaixo da deflexão admissível (D_{adm}), para um determinado valor de N correspondente ao tráfego já suportado pelo pavimento existente, sendo $R \geq 100$ m, este fato indica que o pavimento em estudo ainda não atingiu a fase de fadiga e possui, portanto, um período de vida restante.

O tempo de vida restante pode ser estimado determinando-se a que valor N corresponde a deflexão de projeto (D_p).

Conhecendo-se:

N_s - Número de solicitações correspondentes às cargas por eixos suportadas pelo pavimento desde sua abertura ao tráfego até a data da avaliação;

N_t - Número de solicitações indicadas no Gráfico de Deflexões Admissíveis em correspondente à deflexão característica de projeto (D_p);

tem-se:

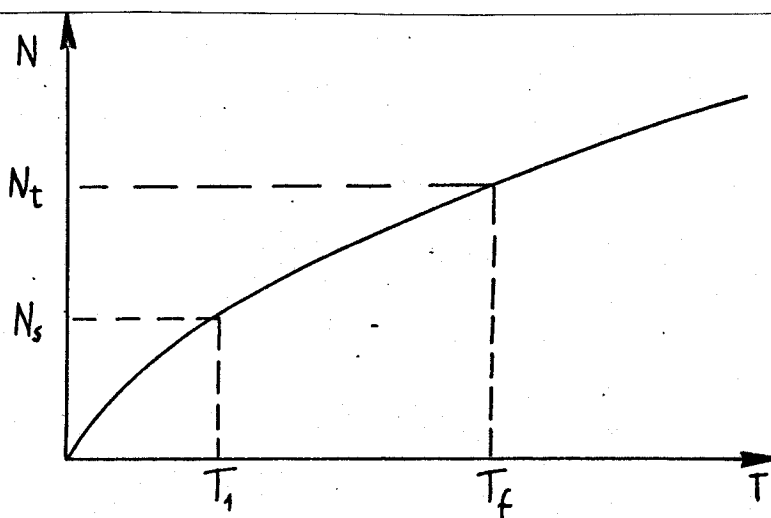
$$N_r = N_t - N_s$$

Sendo:

N_r - Número de solicitações correspondente às cargas por eixo a serem suportadas pelo pavimento desde a data da avaliação até o final do período de vida restante do pavimento.

Conhecendo-se a curva de variação do número N acumulado, em função do tempo de exposição do pavimento ao tráfego, é possível estimar o tempo de vida restante deste pavimento.

Para isto basta determinar na curva (tempo de exposição ao tráfego x N) os tempos T_i , correspondentes a N_s , e o tempo T_f , correspondente a N_t .



O tempo de vida restante estimado para o pavimento em estudo, no que respeita à fadiga, é dado pela expressão:

$$T_r = T_f - T_1$$

7 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Ainda não se dispõe de critérios universalmente aceites que possibilitem uma fácil tomada de posição com respeito à avaliação estrutural dos pavimentos.

Não há, por exemplo, normas rígidas que permitam definir com precisão, para o projeto de reforços de pavimentos existentes, a fronteira que separa os campos de aplicação dos critérios deflectométrico e de resistência.

Em tese, seria lícito aceitar-se que os métodos de projeto baseados no critério deflectométrico seriam válidos quando a estrutura subjacente ao reforço estivesse funcionando em regime aproximadamente elástico, ou, em outras palavras, quando as cargas incidentes ocasionassem exclusivamente deformações de carácter transitório.

A verificação de deformações plásticas significativas, decorrentes da evolução de processos de ruptura ao cisalhamento, evidenciaria a presença, no pavimento existente, de problemas situados fora do escopo dos métodos de dimensionamento alicerçados no critério deflectométrico.

No que pesem as dificuldades que cercam o problema, propõe-se um critério para a fixação das diretrizes a serem adotadas para efeito da avaliação estrutural dos pavimentos.

Procura-se formular cinco casos típicos, na suposição de que a maioria das situações que ocorrem nos subtrechos homogêneos possa se enquadrar, aproximadamente, em uma das hipóteses formuladas. Para isto, consideram-se os seguintes parâmetros, obtidos durante os estudos executados:

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

D_p - deflexão de projeto;

R - raio de curvatura;

D_{adm} - deflexão admissível;

I.G.G. - Índice de Gravidade Global.

Na tabela III, apresentada a seguir, procura-se, em função dos parâmetros citados acima:

TABELA III
Crêterios para Avalia o Estrutural

Hipótese	Dados Deflectom�tricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Cr�terio para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO		Apenas corre�es de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ M�	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstru�o
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	REGULAR PARA M�	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstru�o
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	M�	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstru�o
V	-	M� O pavimento apresenta deforma�es permanentes e rupturas plásticas generalizadas ($IGG > 180$).	SIM	Resistência	Reconstru�o

ÁBACO PARA DIMENSIONAMENTO DA ESPESSURA DE REFORÇO DO PAVIMENTO EM CONCRETO BETUMINOSO

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

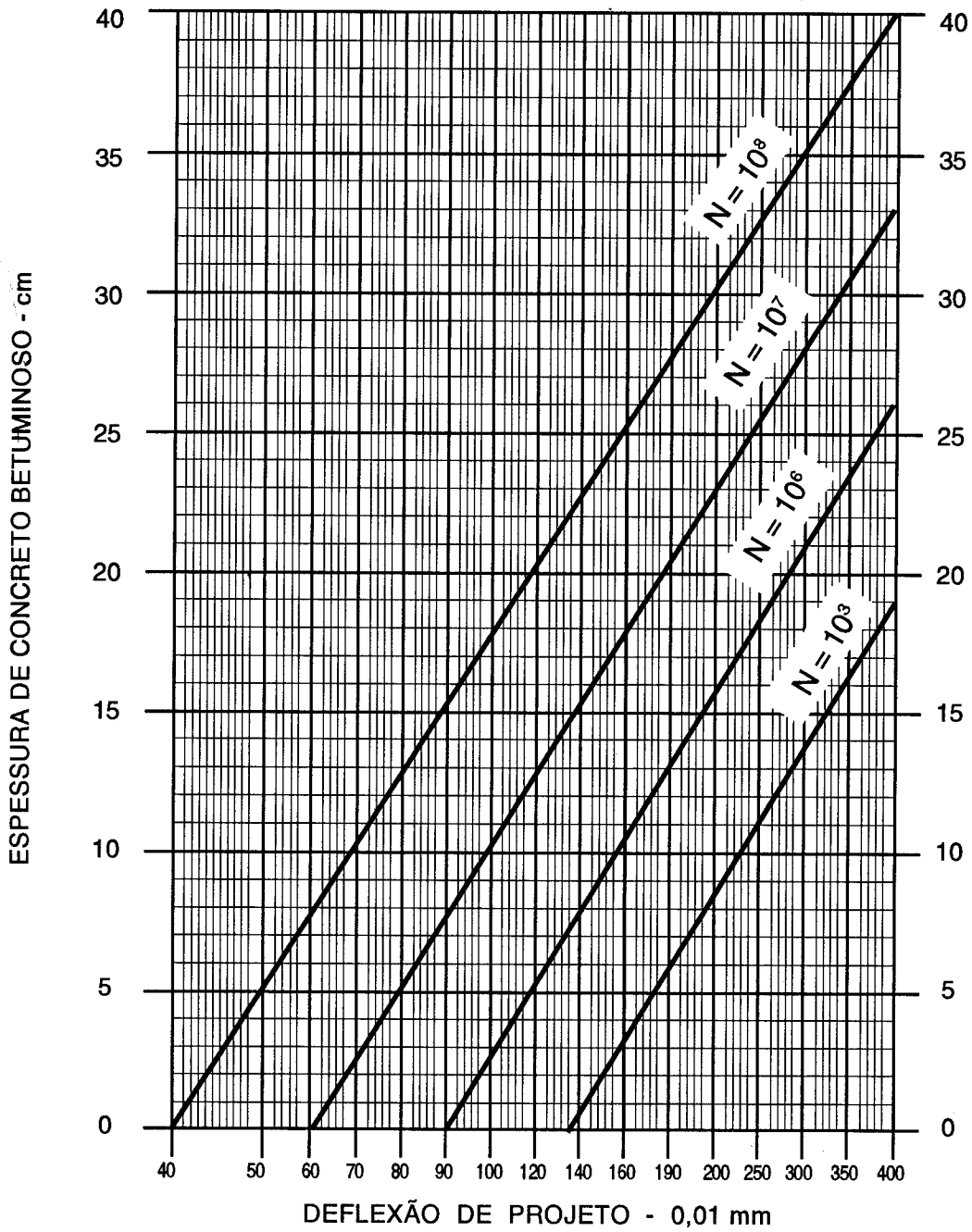


FIG. 6

- a) fixar quando serão necessários estudos complementares;
- b) definir o critério para a avaliação estrutural e o cálculo do reforço;
- c) fazer recomendações quanto às medidas corretivas.

8 DIMENSIONAMENTO DE REFORÇO DO PAVIMENTO

8.1 Critério Deflectométrico ou de Deformabilidade

A espessura necessária de reforço do pavimento deve ser estimada através dos resultados do levantamento deflectométrico executado para a avaliação estrutural, pela expressão ou pelo ábaco apresentado a seguir na figura 6:

$$h = K \cdot \log \frac{D_p}{D_{adm}}$$

onde:

- h - espessura do reforço do pavimento em centímetros;
- D_p - deflexão de projeto determinada para o subtrecho homogêneo, objeto do dimensionamento, em centésimos de milímetro;
- D_{adm} - deflexão admissível após a execução do reforço do pavimento, em centésimos de milímetro;
- K - fator de redução de deflexão, próprio do material usado no reforço.

8.1.1 Dimensionamento do Reforço em Concreto Betuminoso

Para calcular a espessura de reforço do pavimento, h_{cb}, em termos de concreto betuminoso, deve ser usado o valor 40 para K, tendo-se, portanto:

$$h_{cb} = 40 \log \frac{D_p}{D_{adm}}$$

Um valor mais exato, para as características próprias do material empregado no reforço, pode ser determinado pela expressão apresentada a seguir:

$$K = \frac{h}{\log \frac{D_0}{D_r}}$$

onde:

- K - fator de redução de deflexão a ser determinado para o material usado na execução do reforço;
- h - espessura do reforço, em centímetros;
- D₀ - deflexão medida na superfície do pavimento existente, antes da execução do reforço, em centésimos de milímetro;
- D_r - deflexão medida na superfície do reforço, em centésimos de milímetros.

As medidas efetuadas antes e após a execução do reforço do pavimento, devem ser feitas sob as mesmas condições do subleito. As medidas efetuadas sobre o reforço do pavimento, devem ser feitas quando houver certeza de que o novo revestimento não está mais sendo influenciado pela compactação dada pelo tráfego (fase de consolidação).

A espessura do reforço do pavimento pode ser facilmente corrigida, se for constatado que K tem um valor diferente de 40, pela expressão:

$$h_r = \frac{K}{40} \times h_{40}$$

onde:

h_r - espessura do reforço para material $K \neq 40$;

K - fator de redução de deflexão próprio do material usado no reforço do pavimento;

h_{40} - espessura do reforço do pavimento considerando-se $K = 40$.

8.1.2 Dimensionamento de Reforço com Camadas Múltiplas

Devem ser estudadas outras soluções para constituição das camadas inferiores do reforço do pavimento existente sempre que o dimensionamento indicar espessuras de reforço, em termos de concreto betuminoso, superiores a 5 cm.

Para o cálculo das espessuras das camadas não constituídas de concreto betuminoso, devem ser adotados os coeficientes de equivalência estrutural recomendados pelo DNER e transcritos a seguir.

A espessura de concreto betuminoso substituído deve ser multiplicada por:

$$\frac{2,00}{\text{Coef. equiv. estrutural do material utilizado}}$$

TABELA IV

componentes do reforço do pavimento	coeficiente de equivalência estrutural
Concreto Betuminoso	2,00
Pré-misturado a quente de graduação densa	1,70
Pré-misturado a frio de graduação densa	1,40
Macadame betuminoso por penetração	1,20
Brita graduada com ISC > 80	1,10
Material granular com ISC ≥ 60	1,00
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm ²	1,70
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Solo-cimento com resistência à compressão a 7 dias e inferior a 28 kg/cm ²	1,00

8.2 Critério de resistência

Na forma como foi indicado na Tabela III, referente a Critérios para Avaliação Estrutural, há casos em que o projeto de reforço do pavimento existente pode ser também executado utilizando-se os resultados dos estudos complementares e o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER. Para isto, às diversas camadas constituintes do pavimento existente e do reforço projetado devem ser atribuídos coeficientes de equivalência estrutural compatíveis com suas características, determinadas pelos ensaios de campo e de laboratório e pelas observações "in situ", as quais poderão recomendar, inclusive, a execução de outros serviços complementares à execução do reforço, tais como, drenagem, obras nos acostamentos, remoção e reposição de materiais.

9 PALAVRAS-CHAVE

Afundamento, Deflexão, Deformação, Pavimento, Recalque.