

1 OBJETIVO

Esta Norma estabelece os procedimentos necessários para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis existentes, aponta as causas de suas deficiências e fornece elementos para o cálculo da vida restante ou do reforço necessário para um novo número de solicitações de eixos equivalentes ao eixos padrão durante o período considerado (número N).

2 REFERÊNCIAS

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

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

DNER PRO 007/94 - Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos.

DNER-ME 024/94 - Determinação das Deflexões no Pavimento Pela Viga Benkelman.

DNER-ME 061/94 - Linha de Influência Longitudinal da Bacia de Deformação por intermédio da Viga Benkelman.

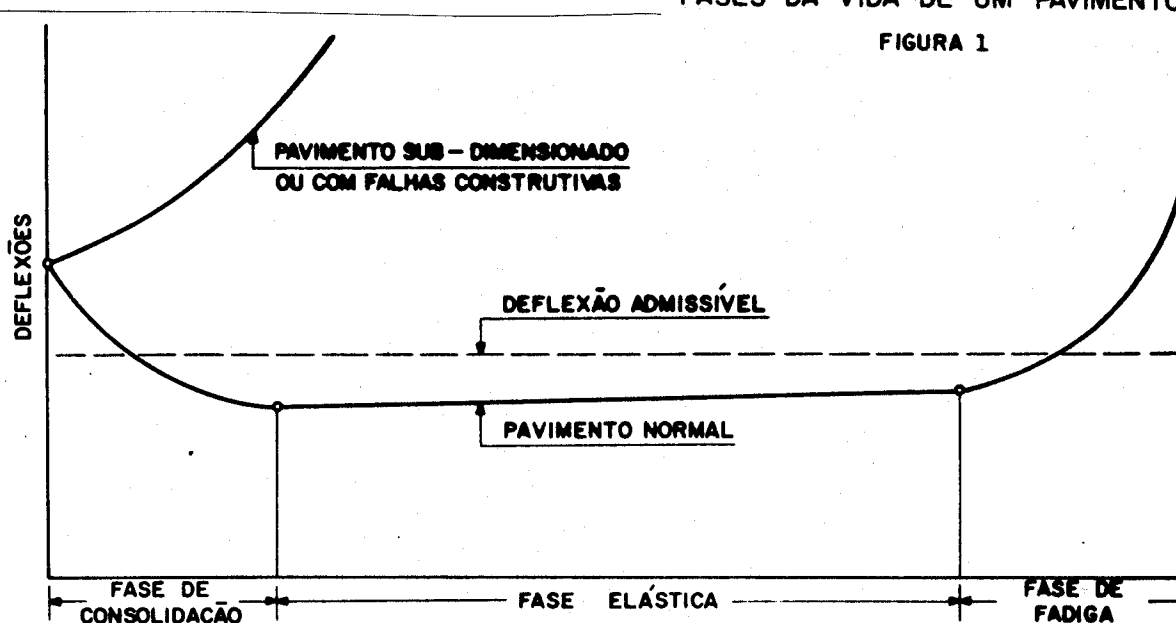
DNER-PRO 102/94 - Sondagem de Reconhecimento pelo Método Rotativo.

3 CONCEITUAÇÃO E DEFINIÇÕES

Estes procedimentos foram baseados no critério de deformabilidade, pois, em que pesem as suas limitações, a experiência tem demonstrado haver uma razoável relação entre a grandeza das deflexões recuperáveis e o desempenho dos pavimentos flexíveis.

Considerando-se um pavimento satisfatoriamente projetado e bem construído, a evolução do seu nível de deflexão durante a exposição às cargas e aos agentes do intemperismo, envolve a consideração de três fases distintas, a saber (Fig. 1);

TEMPO DE EXPOSIÇÃO
FASES DA VIDA DE UM PAVIMENTO
FIGURA 1



Aprovada pelo Conselho Administrativo do DNER em 29/01/78

Autor : DNER/DrDTc (IPR).

Resolução nº / , Sessão nº CA/ /

Processo nº 20100028446/78

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

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 se mantém aproximadamente constante ou, na pior das hipóteses, cresce ligeiramente, se não houver influências sazonais.

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

3.3 Fase da Fadiga

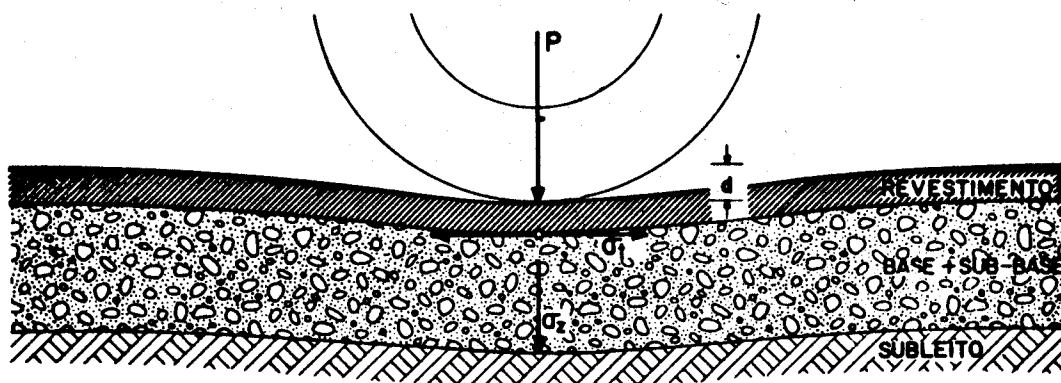
Fase que sucede à elástica, caracterizando-se por um crescimento acelerado do nível de deflexão do pavimento, na medida em que a estrutura começa a exteriorizar os efeitos da fadiga, representados por fissuras, trincas e acúmulos de deformações permanentes sob cargas repetidas.

Caso não sejam tomadas, em tempo hábil, medidas para a recuperação do pavimento, o processo de degradação tende a sofrer, nessa fase, aceleração marcante.

Evidentemente, um pavimento flexível bem projetado será tanto melhor, técnica e economicamente, quanto mais longa for a sua fase elástica.

A duração dessa última será influenciada pelo número de solicitações das cargas de roda incidentes sobre o pavimento, a cujos efeitos sobre a estrutura se somarão os decorrentes da ação dos agentes de intemperismo.

O modo como as solicitações das cargas de roda atuam em um pavimento flexível, pode ser ilustrado conforme é mostrado na fig. 2, que representa, esquematicamente, um pavimento flexível, constituído de revestimento betuminoso, base e sub-base granulares, construído sobre um subleito suposto homogêneo. A ação de uma carga de roda, P , aplicada sobre a superfície da estrutura promoverá, na face inferior do revestimento, o desenvolvimento de uma tensão de tração σ_p , responsável pela decorrente deformação de tração ϵ_p , e na superfície do subleito, uma pressão vertical σ_z .



EFEITO DA CARGA SOBRE O PAVIMENTO

FIGURA 2

Admitindo-se que os materiais integrantes das camadas do pavimento atendam às especificações, no que concerne à respectiva resistência ao cisalhamento, a possibilidade de deformações plásticas, ou rupturas, restringir-se-á ao subleito. Tais rupturas são evitadas sempre que o valor da pressão vertical atuante, σ_v , for mantido abaixo do valor da pressão vertical admissível pelo material do subleito, σ_{adm} . Para garantir essa condição, o pavimento deve ter espessura igual ou superior à dimensionada, por exemplo, em função do 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 para a avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis e de 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 daquelas 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 de sua construção e conservação, ou por estudos e reconhecimento "in loco", visando à obtenção das seguintes informações principais:

- a) data da 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 das características climáticas da região;
- g) informações a respeito do estado de conservação do trecho e dos trabalhos já executados com esse objetivo;
- h) fotografias;
- i) outras informações julgadas procedentes.

4.1.2 Prospecção Preliminar do Pavimento Existente

A prospecção preliminar deve ser realizada por intermédio da abertura de poços de sondagem, com 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 devem ser providenciadas:

- 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

Na rodovia de pista única com duas faixas de tráfego, as estações destinadas à visualização dos locais de ensaio e demais determinações 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 de 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 deflexão nas trilhas das rodas internas. Durante a medida de deflexão devem ser obtidas medidas que possibilitem o cálculo do Raio de Curvatura, de acordo com os métodos já aprovados. Os raios de curvatura são determinados com espaçamento de 200 m, devendo ser feitas determinações adicionais sempre que ocorram raios de curvatura inferiores a 100 m.

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 que 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, deve ser 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 sondagem 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 em 4.1.2.

4.2.5 Sondagem Rotativa Processada nas Camadas Betuminosas Integrantes da Superestrutura do Pavimento (A sondagem rotativa será utilizada apenas neste método).

A prospecção deve ser efetuada com sonda rotativa equipada com coroa diamantada de 10cm (4") de diâmetro.

Os pontos de sondagem devem situar-se, sempre, sobre o eixo da trilha de roda externa, sendo dispostos alternadamente em relação ao eixo da pista de rolamento. O espaçamento longitudinal entre pontos de sondagem consecutivos deve ser de 200 m.

Em todos os pontos de prospecção a sonda rotativa deve ser mantida em operação, até que a coroa atinja a face inferior da camada betuminosa mais profunda.

Os testemunhos colhidos devem ser examinados, permitindo o conhecimento da natureza e número das camadas betuminosas presentes na superestrutura do pavimento, assim como uma estimativa das respectivas espessuras.

Nos casos em que o ponto programado para a sondagem incidir sobre remendo ou "panela", o equipamento de prospecção deve ser deslocado sobre o eixo da trilha de roda externa, devendo o deslocamento imposto ser suficiente para que o testemunho extraído possa representar efetivamente a superestrutura típica ocorrente na área.

Nos locais onde for impossível a obtenção de testemunho incólume, a natureza das camadas betuminosas e as respectivas espessuras podem ser inferidas a partir de observações efetuadas no furo aberto pela sonda rotativa.

4.2.6 Representação Gráfica dos Resultados dos Estudos

Os resultados dos estudos de deflectometria, de superfície, e das prospecções efetuadas, devem ser representados graficamente em prancha apropriada, (fig. 1 do Apêndice A), onde devem ser incluídas, no mínimo, as seguintes informações:

- a) informes sobre as unidades geológicas e litologias ocorrentes ao longo do trecho em estudo;
- b) características do subleito do pavimento existente;
- c) elementos referentes à constituição do pavimento existente;
- d) indicações sobre a existência de água freática no subleito;
- e) informes relativos à configuração da terraplenagem;
- f) estações, estaqueamento ou quilometragem;

- g) poligonais representativas da variação das deflexões recuperáveis, obtidas na trilha de roda externa de cada faixa de tráfego;
- h) valores do raio de curvatura;
- i) ocorrências verificadas na superfície da pista de rolamento, constantes da avaliação objetiva da superfície do pavimento (Ver item 4.2.3);
- j) poligonais representativas da variação das flechas nas trilhas de roda (só neste procedimento).

4.2.7 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 na prancha recomendada em 4.2.6:

- a) a configuração das poligonais representativas da variação das deflexões recuperáveis;
- b) valores dos raios 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 motivo 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 ou o respectivo estado 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.

4.2.8 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 cinco elementos relacionados em 4.2.7 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 400 m.

Para cada uma das distribuições assim definidas, deve efetuar-se o cálculo estatístico do valor característico correspondente, adotando-se o seguinte procedimento:

- a) tabulam-se os valores individuais das deflexões recuperáveis encontradas (d_i);
- b) calcula-se a média aritmética, \bar{d} , dos valores individuais (média da amostra);

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}$$

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:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

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

Tabela I

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

- e) segue-se a eliminação de todos os valores individuais da distribuição situados fora do intervalo anteriormente definido, procedendo-se o novo cálculo de \bar{d} e σ com os valores remanescentes, bem como a fixação dos novos limites do intervalo de aceitação, $\bar{d} \pm z\sigma$, para a nova situação. Esse procedimento deve ser repetido, em cada caso, tanta vezes quantas forem necessárias para o enquadramento de todos os valores individuais remanescentes no intervalo $\bar{d} \pm z\sigma$ determinado. Os valores de \bar{d} e σ assim encontrados são considerados, respectivamente, como a média aritmética e o desvio-padrão da amostra. Aos pontos correspondentes aos valores desprezados maiores que $\bar{d} + z\sigma$, será dado tratamento especial.

- f) o valor do coeficiente de variação (cv) é determinado, para cada uma das distribuições através da expressão:

$$cv = \frac{\sigma}{\bar{d}}$$

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

$$d_c = \bar{d} + \sigma$$

onde \bar{d} e σ representam, respectivamente, a média aritmética e o desvio-padrão da amostra.

4.2.9 Deflexão de Projeto - Correção Sazonal

A época mais indicada para a realização das deflexões é a imediatamente posterior à estação chuvosa, quando o subleito permanece 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, tendo em vista a época mais desfavorável. Estes fatores de correção sazonal dependem de pesquisas 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;

- distribuição das precipitações mensais médias correspondentes à região onde se acha implantado o trecho em estudo;
- as precipitações mensais ocorridas nos meses durante os quais foi efetuado o levantamento deflectométrico e nos três meses que antecederam o levantamento;
- 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:

$$d_p = d_c \times F_s$$

onde:

d_p = deflexão característica corrigida, ou deflexão de projeto, em centésimos de milímetro

d_c = deflexão característica referida à época do levantamento deflectométrico, em centésimos de milímetro

F_s = fator de correção sazonal

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

Nota - Os valores constantes da Tabela II foram adaptados de um relatório do "Centre Experimental de Recherches et d'Etudes du Batiment et des Travaux Publiques - Paris, France" para reforços dos pavimentos flexíveis na África Tropical e Madagascar, e da publicação n° 428 do IPR "Variações Mensais de Deflexões Medidas com a Viga Benkelman", a respeito de pesquisas realizadas no Estado do Rio de Janeiro.

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CRITÉRIOS DE PROJETO DO REFORÇO DO PAVIMENTO EXISTENTE - CÁLCULO DA VIDA RESTANTE

Os procedimentos que em conjunto possibilitam a avaliação de um pavimento visam, primordialmente, à definição das medidas a serem tomadas no sentido de restaurar as condições de serventia da estrutura, mediante o fornecimento de respostas a algumas questões básicas, a exemplo das seguintes:

- 1) Deve ou não ser aproveitado o valor residual da estrutura do pavimento?
- 2) Em se decidindo pelo aproveitamento do valor residual da estrutura existente, esse aproveitamento deve ser parcial ou total?
- 3) Estabelecida a conveniência de um aproveitamento total da estrutura primitiva, deve ou não ser a mesma reforçada?
- 4) Que critério é aplicável à concepção do reforço quando esse último resultar necessário?

Infelizmente, não se dispõe de critérios universalmente aceitos que possibilitem fácil tomada de posição, com respeito às questões anteriormente formuladas.

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

Em tese, é lícito aceitar-se que os métodos de projeto baseados no critério de deformabilidade sejam válidos, quando a estrutura subjacente ao reforço estiver funcionando em regime aproximadamente elástico ou, em outras palavras, quando as cargas incidentes ocasionarem, exclusivamente, deformações de caráter transitório.

A verificação de deformações significativas decorrentes da evolução de processos de ruptura ao cisalhamento, ou mesmo, em certos casos, de consolidação, evidencia a presença, no pavimento existente, de problemas situados fora do escopo dos métodos de dimensionamento, alicerçados no critério de deformabilidade.

No que pesem as dificuldades que cercam o problema, propõe-se, em caráter de tentativa, um critério para a fixação das diretrizes a serem assumidas para efeito de projeto que é baseado, tanto nos resultados do inventário do estado do pavimento, como nos da análise deflectométrica.

O critério proposto acha-se resumido no quadro anexo.

No que concerne ao quadro citado, cabe esclarecer que a noção de aproveitamento total do valor residual do pavimento existente, a menos dos reparos locais que se façam necessários, subentende que não haverá remoção de camada ou camadas da estrutura primitiva, e, portanto, que o estabelecimento de suas condições de serventia, conforme o caso, será assegurado mediante sobreposição, a ela, de um tratamento de rejuvenescimento, ou de um reforço estrutural, contínuos.

Por sua vez, a noção de aproveitamento parcial do valor residual do pavimento existente pressupõe a necessidade de remoção prévia contínua de uma ou mais camadas de estrutura, assim como a subsequente sobreposição de uma nova estrutura à parcela remanescente da primitiva.

Aos símbolos incluídos no quadro que sumariza o critério para a fixação das diretrizes de projeto correspondem os seguintes significados:

IGG - "índice de gravidade global" correspondente à extensão considerada.

\bar{F} - valor médio das flechas nas trilhas de roda da extensão considerada.

AP% - porcentagem de estações inventariadas na extensão considerada, apresentando afundamentos plásticos (locais e/ou nas trilhas de roda) de reconhecida gravidade.

d_o - deflexão de projeto, correspondente à extensão considerada, referida à carga de eixo de 6,8 t.

d_{adm} - deflexão admissível pelo pavimento existente, referida à carga de eixo de 6,8 t, em se considerando o tráfego que ele suportaria durante o período compreendido entre a data de sua colocação em serviço e a data correspondente ao final do período de projeto, estabelecido para efeito de análise.

O valor de d_o será considerado a partir do conhecimento do valor da deflexão de projeto correspondente à extensão considerada, referida à carga de eixo de 8,2 t, d_p , através de:

$$d_o = 0,7 \times d_p$$

A determinação do valor de d_{adm} , por sua vez, será feita a partir da estimativa dos seguintes valores do número "N" (número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo-padrão de 8,2 t, na faixa de tráfego de projeto, calculado com base nos fatores de equivalência de carga do DNER):

N_s - número "N" correspondente ao tráfego suportado pelo pavimento existente desde a sua colocação em serviço até a data correspondente ao início do período de projeto assumido.

N_p - número "N" correspondente ao tráfego previsto ao longo do período de projeto considerado.

O valor do número "N", que expressa o efeito do tráfego incidente sobre o pavimento existente, desde a sua colocação em serviço até o final do período de projeto arbitrado para efeito de análise, é:

$$N_t = N_s + N_p$$

O valor do "índice de tráfego" californiano, IT_p , correspondente ao valor de N_t encontrado, é estimado, de forma aproximada, através da equação:

$$\log IT_t = 0,127 \log N_t + 0,166$$

Nota - O "índice de tráfego" californiano, IT, é definido através de:

$$IT = 1,30 (EWL)^{0,12}$$

onde:

EWL - número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo-padrão de 4,54 t, na faixa de projeto, calculado com base nos fatores de equivalência de carga californianos.

Desde que a camada crítica do pavimento existente, no que concerne à flexibilidade, seja constituída por concreto betuminoso, a avaliação de d_{adm} será efetuada através do nomograma 1 (vide Apêndice A).

Para tanto, será selecionada no referido nomograma a curva correspondente ao valor do IT igual a IT_p , seguindo-se a determinação da sua ordenada que corresponde à abscissa igual ao valor da espessura da camada de concreto betuminoso do pavimento existente ($h_{CB} = h_p$). A ordenada em questão expressará o valor de d_{adm} procurado.

O nomograma 1 constitui, também, recurso bastante para permitir que seja feita uma estimativa da vida restante do pavimento existente, no que diz respeito à fadiga, nos casos em que a estrutura em estudo esteja ainda funcionando na fase elástica.

Critério para o Estabelecimento das Diretrizes do Projeto

IGG	\bar{F} e AP %	d_0 e $d_{adm.}$	Decisão quanto ao aproveitamento da estrutura existente e quanto às medidas corretivas a serem levadas em conta no Projeto
IGG ≤ 180	$\bar{F} \leq 30$ mm e AP % ≤ 33 %	$d_0 \leq d_{adm.}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aproveitamento total do valor residual do pavimento existente. 2. Programação de reparos locais, se necessário. 3. Programação de tratamento de rejuvenescimento, se necessário.
		$3d_{adm.} \geq d_a > d_{adm.}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aproveitamento total do valor residual do pavimento existente. 2. Programação de reparos locais, se necessário. 3. Projeto de reforço com base no critério de deformabilidade.
		$d_0 > 3d_{adm.}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aproveitamento total ou parcial do valor residual do pavimento existente. 2. Programação de reparos locais, se necessário. 3. Projeto de reforço com base no critério de deformabilidade e Projeto de reforço com base no critério de resistência, no caso de aproveitamento total do valor residual do pavimento existente. <p>Projeto de nova estrutura com base no critério de resistência, no caso de aproveitamento total do valor residual do pavimento existente.</p>
IGG > 180	$\bar{F} > 30$ mm ou AP % > 33 %	-	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aproveitamento total do valor residual do pavimento existente. 2. Programação de reparos locais. 3. Projeto de reforço com base no critério de resistência, no caso de aproveitamento total do valor residual do pavimento existente. <p>Projeto de nova estrutura com base no critério de resistência, no caso de aproveitamento total do valor residual do pavimento existente.</p>
	-	-	Remoção parcial ou total do pavimento existente e sua substituição parcial ou total por nova estrutura projetada com base no critério de resistência.

O primeiro passo em direção ao objetivo visado, consiste na determinação do ponto do nomograma 1 de coordenadas respectivamente iguais a:

$$h_{CB} = h_e$$

e

$$d_{adm} = d_o$$

O valor do IT correspondente à curva do nomograma que passa pelo ponto retromencionado expressa, teoricamente, o máximo tráfego que o pavimento existente pode suportar, $IT_{m\acute{a}x}$, antes que os efeitos da fadiga se façam sentir.

O valor $IT_{m\acute{a}x}$ poderá ser convertido ao do número "N" correspondente, $N_{m\acute{a}x}$, mediante a equação:

$$\log N_{m\acute{a}x} = 7,874 \log IT_{m\acute{a}x} - 1,307$$

Se o pavimento existente estiver funcionando ainda na fase elástica, o tráfego correspondente ao valor $N_{m\acute{a}x}$ deve ser superior ao tráfego já suportado pela estrutura, ao qual corresponde um valor de N igual a N_s . Nessas condições, verifica-se a desigualdade:

$$N_{m\acute{a}x} > N_s$$

e o tráfego que o pavimento pode ainda suportar, N_r , deve ser avaliado através da diferença:

$$N_r = N_{m\acute{a}x} - N_s$$

Desde que se disponha da curva que representa a variação do número "N" acumulado em função do tempo de exposição do pavimento ao tráfego, é possível estimar-se a sua vida restante. Basta, para tal, determinarem-se, na curva mencionada, as abscissas t_r e t_p , dos pontos de ordenadas respectivamente iguais a $N_s + N_r$ e N_s . A diferença entre as duas abscissas, $t_r - t_p$, representa, na unidade de tempo utilizada, a expectativa da vida restante do pavimento em estudo no que respeita à fadiga (vide figura 3).

O nomograma 2, incluído no Apêndice A, possibilita, por sua vez, a determinação de d_{adm} e dos demais elementos requeridos para a avaliação da vida restante de pavimentos flexíveis constituídos por um tratamento superficial sobreposto a camadas granulares.

6 PROJETO DO REFORÇO DO PAVIMENTO EXISTENTE COM BASE NO CRITÉRIO DE DEFORMABILIDADE

6.1 Análise Destinada à Verificação da Viabilidade da Construção do Reforço Exclusivamente com Concreto Betuminoso

As extensões do pavimento existente que, à luz do critério anteriormente estabelecido, comportarem o projeto do reforço com base no critério de deformabilidade, devem ser, primeiramente, submetidas a uma análise destinada à verificação da viabilidade da constituição do reforço exclusivamente com concreto betuminoso.

A análise em consideração envolve as seguintes etapas:

6.1.1 Definição ou Cálculo dos Elementos a seguir Relacionados, cujo Conhecimento Decorre dos Estudos Precedentes

- a) - N_p - número "N" calculado para o período de projeto assumido.

- b) - IT_p - "índice de tráfego" correspondente ao período de projeto assumido.

O valor de IT_p pode ser estimado em função de N_p através da equação:

$$\log IT_p = 0,127 \log N_p + 0,166$$

- c) Espessura da camada crítica do pavimento existente, no que concerne à flexibilidade, h_c .

Em se tratando de pavimentos flexíveis cujo revestimento é constituído por misturas betuminosas densas, a espessura h_c deve ser considerada igual à da camada (ou camadas) integrada por esse material.

No caso de pavimentos flexíveis cujo revestimento é constituído por tratamentos superficiais, por macadames betuminosos por penetração ou por misturas betuminosas abertas, a espessura h_c deve ser considerada, para efeito de análise, igual a zero.

- d) Nível de deflexão sobre o pavimento existente, d_o , referido à carga de eixo de 6,8 t, e determinado pelo processo californiano.

O valor de d_o deve ser estimado, em cada caso, a partir da deflexão do projeto, d_p .

Como esse último valor é calculado com base em determinações efetuadas sob carga de eixo de 8,2 t e com tempo de aplicação diferente do adotado no processo californiano, a estimativa de d_o deve ser feita através da expressão:

$$d_o = 0,7 \times d_p$$

- e) Porcentagem da área do revestimento existente, na qual o estágio de fissuração mais severo é o correspondente à classe 1.

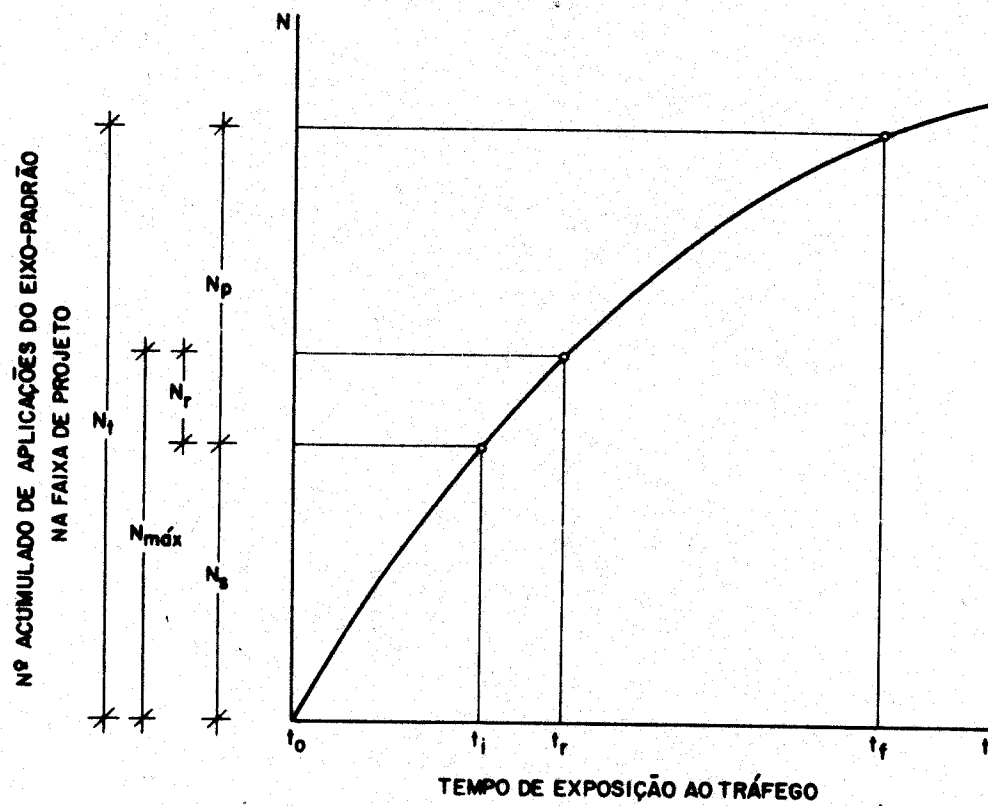
A porcentagem em apreço, FC-1, deve ser considerada como igual à frequência relativa da ocorrência do tipo 1, calculada de acordo com o disposto no item 5.4 da norma "Execução da Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos".

- f) Porcentagem da área do revestimento existente, na qual o estágio de fissuração mais severo é o correspondente à classe 2.

A porcentagem em apreço, FC-2, deve ser considerada como igual à frequência relativa da ocorrência do tipo 2, calculada de acordo com o disposto no item 5.4 da norma "Execução da Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos".

- g) Porcentagem da área do revestimento existente, na qual o estágio de fissuração mais severo é o correspondente à classe 3.

A porcentagem em apreço, FC-3, deve ser considerada como igual à frequência relativa da ocorrência do tipo 3, calculada de acordo com o disposto no item 5.4 da norma "Execução da Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos".



t_0 - DATA DE COLOCAÇÃO EM SERVIÇO DO PAVIMENTO

t_i - DATA DE INÍCIO DO PERÍODO DE PROJETO

t_f - DATA DO FIM DO PERÍODO DE PROJETO

FIGURA 3

h) "Índice de Fissuração" do revestimento existente, IF.

O "Índice de Fissuração" deve ser definido e calculado através da equação:

$$IF = 0,250 \times (FC-1) + 0,625 \times (FC-2) + (FC-3)$$

i) Porcentagem da área do revestimento existente, cuja continuidade se acha comprometida pela presença de trincas interligadas.

A porcentagem em questão deve ser considerada como igual ao somatório:

$$(FC-2) + (FC-3)$$

Nota - Não se pode deixar de levar em conta, que um intervalo de tempo significativo pode separar a data em que é realizado o inventário do estado da superfície do pavimento existente, daquela em que será sobreposto a esse último o reforço projetado. Nessas circunstâncias, cabe ao projetista decidir se é, ou não, conveniente proceder à avaliação das porcentagens FC-1, FC-2 e FC-3, a partir das respectivas frequências relativas, previamente, afetadas por um fator de expansão subjetivamente arbitrado.

6.1.2 Estabelecimento da Condição de Fissuração do Revestimento do Pavimento Existente, no que se Refere às Trincas Interligadas, Através da Análise dos Valores de FC-3 e do Somatório (FC-2) + (FC-3).

Devem ser levadas em consideração as quatro condições alternativas seguintes:

Condição (a)

Quando: $FC-3 < 20\%$ e $(FC-2) + (FC-3) \geq 80\%$

Condição (b)

Quando: $FC-3 < 20\%$ e $(FC-2) + (FC-3) < 80\%$

Condição (c)

Quando: $FC-3 \geq 20\%$ e $(FC-2) + (FC-3) \geq 80\%$

Condição (d)

Quando: $FC-3 \geq 20\%$ e $(FC-2) + (FC-3) < 80\%$

6.1.3 Determinação da Espessura Mínima de Reforço a ser Levada em Conta na Análise das Condições de Deformabilidade

A determinação da espessura mínima de reforço, suposto constituído exclusivamente por concreto betuminoso, a ser considerada na análise das condições de deformabilidade, deve ser efetuada tomando-se como ponto de partida a estimativa da porcentagem da área do revestimento existente afetada por trincas de classe 3. Dois casos distintos devem ser considerados:

6.1.3.1 1º Caso: FC-3 < 20 % (condições (a) e (b)).

Quando FC-3 < 20%, não é levada em conta a possibilidade de ocorrência, no reforço, de trincas de reflexão. Neste caso, se no pavimento existente a camada subjacente à constituída por mistura betuminosa densa for integrada por material granular, por macadame betuminoso por penetração ou por pré-misturado aberto, a menor espessura de reforço, $(h_{CB})_{\min}$, a ser considerada na análise de deformabilidade, deve ser determinada com o procedimento seguinte:

- Seleciona-se, no nomograma 3, incluso no Apêndice A, a linha correspondente ao material constituinte da camada do pavimento existente, subjacente à integrada por mistura betuminosa densa.
- Determina-se a menor espessura de concreto betuminoso, h_c , suposta suficiente para proteger o material constituinte da camada do pavimento existente, subjacente à integrada por mistura betuminosa densa. A espessura em apreço é igual à ordenada do ponto da linha referida no item anterior, cuja abscissa corresponde ao valor do IT assumido para efeito do projeto reforço, ou seja, IT_p .
- Determina-se a espessura efetiva da camada do pavimento existente constituída por mistura betuminosa densa, h_{ef} através de:

$$h_{ef} = h_c \times f_r$$

onde:

h_c - espessura real da camada do pavimento existente, constituída por mistura betuminosa densa

f_r - fator de redução, avaliado em função do "índice de fissuração", IF, do pavimento existente, através da equação:

$$f_r = 1,000 - 0,007 \times IF$$

- calcula-se a diferença:

$$\Delta h = h_c - h_{ef}$$

Se $\Delta h > 4,0$ cm, a espessura mínima de reforço a ser levada em conta na análise de deformabilidade é:

$$(h_{CB})_{\min} = \Delta h$$

Se $\Delta h \leq 4,0$ cm, a espessura mínima de reforço a ser levada em conta na análise de deformabilidade é:

$$(h_{CB})_{\min} = 4,0 \text{ cm}$$

6.1.3.2 2º Caso: FC-3 \geq 20%, é levada em conta a possibilidade de ocorrência de trincas de reflexão no reforço. Nesse caso, considera-se que a prevenção do fenômeno exige uma espessura de reforço não inferior a 10,0 cm.

Calcula-se, adotando o mesmo procedimento sugerido para o 1º caso, a diferença:

$$\Delta h = h_c - h_{ef}$$

Se $\Delta h > 10,0$ cm, a espessura mínima de reforço a ser submetida à análise de deformabilidade é:

$$(h_{CB})_{\min} = \Delta h$$

Se $\Delta h \leq 10,0$ cm, a espessura mínima de reforço a ser objeto de análise de deformabilidade é:

$$(h_{CB})_{\min} = 10,0 \text{ cm}$$

6.1.4 Estabelecimento do Critério de Avaliação da Deflexão Admissível Sobre o Reforço

A avaliação da deflexão admissível deve ser levada a efeito com base na estimativa da porcentagem da área do revestimento existente afetada por trincas interligadas.

Devem ser considerados dois casos:

6.1.4.1 1º Caso: $(FC-2) + (FC-3) \geq 80\%$, condições (a) e (c)

Quando $(FC-2) + (FC-3) \geq 80\%$, considera-se que a intensidade de fissuração do revestimento do pavimento justifica considerar o reforço como funcionando, no que diz respeito à flexibilidade, independentemente do revestimento existente. Em outras palavras, admite-se que a deformação de tração crítica ocorra na face inferior do próprio reforço.

Nessas condições, a deflexão admissível sobre o reforço, para o parâmetro de tráfego considerado, deve ser determinada pela sua própria espessura, h_{CB} .

6.1.4.2 2º Caso: $(FC-2) + (FC-3) < 80\%$ (condições (b) e (d))

Quando $(FC-2) + (FC-3) < 80\%$, admite-se que a intensidade de fissuração do revestimento do pavimento existente não é suficiente para considerá-lo como atuando independentemente do reforço, no que concerne à flexibilidade.

Supõe-se, no caso, que as duas camadas operem em conjunto, ou seja, que a deformação de tração crítica se desenvolva na face inferior do revestimento existente.

Assim sendo, a deflexão admissível sobre o reforço, para o parâmetro de tráfego considerado, deve ser determinada pela soma das espessuras do revestimento existente e do próprio reforço:

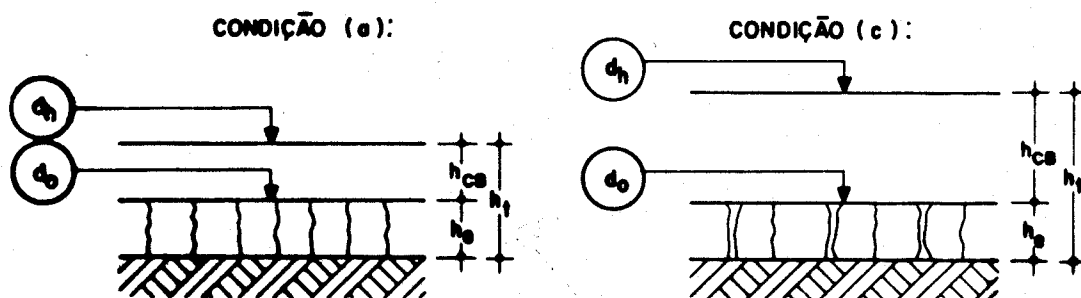
$$h_{CB} + h_e = h_t$$

6.1.5 Pesquisa dos Valores Extremos Permissíveis para a Espessura do Reforço, Suposto Constituído Exclusivamente por Concreto Betuminoso, à Luz das Condições de Deformabilidade.

De acordo com a condição de fissuração do revestimento existente, duas possibilidades distintas são consideradas:

6.1.5.1 1ª Possibilidade

O revestimento do pavimento existente encontra-se na condição de fissuração (a), ou na condição de fissuração (c).



A pesquisa dos valores extremos permissíveis para a espessura do reforço envolve as seguintes etapas:

- a) Determinação de $(h_{CB})_{mín}$, de acordo com o procedimento detalhado anteriormente em 6.1.3.
- b) Através da utilização do nomograma 4 (ver apêndice A), determinam-se, para o valor de $(h_{CB})_{mín}$ encontrado, os valores de $(d_h)_{máx}$ e $(d_{adm})_{máx}$ correspondentes.

O nomograma 4 foi elaborado com base na consideração de um valor para o fator de equivalência estrutural do concreto betuminoso, com relação ao pedregulho, igual a 1,70.

- c) Cotejam-se os valores de $(d_h)_{máx}$ e $(d_{adm})_{máx}$. Duas hipóteses podem ocorrer:

1ª Hipótese: $(d_h)_{máx} \leq (d_{adm})_{máx}$

Nesse caso, é viável a proposição de um reforço constituído exclusivamente por concreto betuminoso, e a espessura mínima exequível é igual a $(h_{CB})_{mín}$.

2ª Hipótese: $(d_h)_{máx} > (d_{adm})_{máx}$

Nessas circunstâncias, considera-se impraticável a proposição de um reforço integrado exclusivamente por concreto betuminoso.

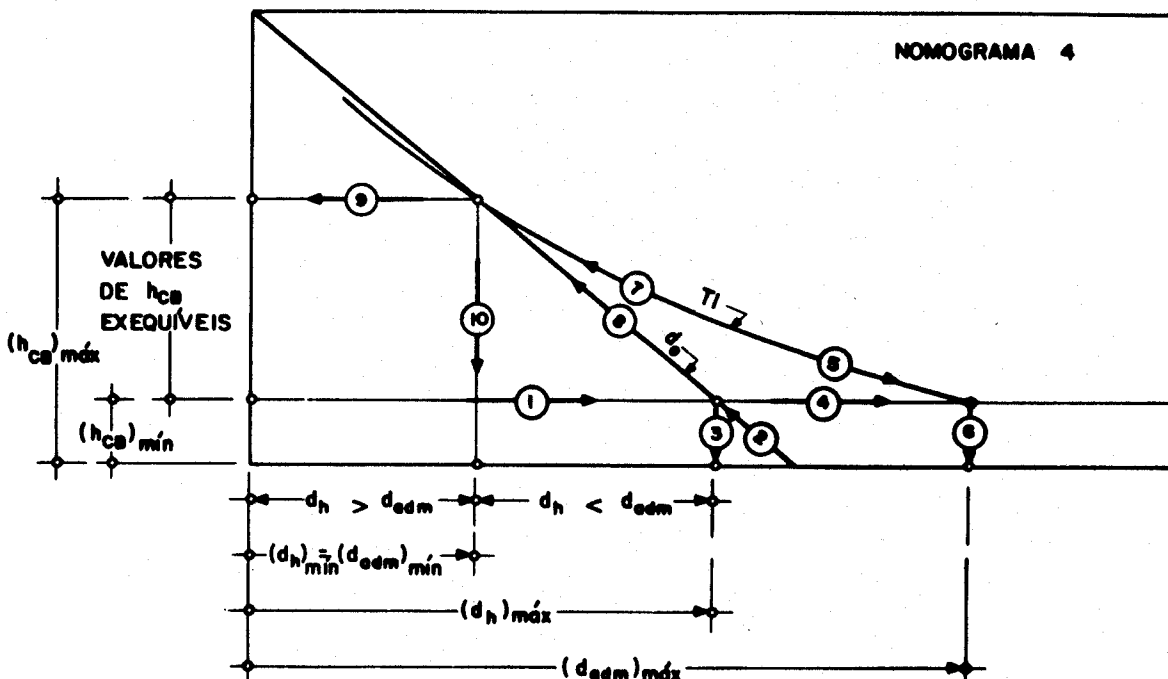
- d) Caso tenha se verificado a 1ª. hipótese, determina-se, por intermédio do nomograma 4, os valores de $(d_h)_{mín}$ e $(h_{CB})_{máx}$, o que é possível, sempre que $(d_h)_{mín}$ for menor que $(d_h)_{máx}$.

São consideradas satisfatórias as espessuras de reforço que atendam à condição:

$$(h_{CB})_{mín} \leq h_{CB} \leq (h_{CB})_{máx}$$

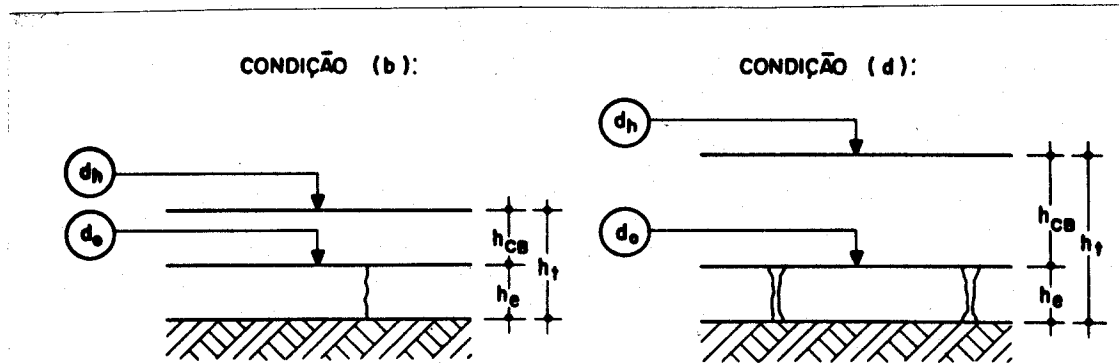
A solução mais econômica é a que corresponde à tomada da menor espessura de reforço praticável, ou seja:

$$h_{CB} = (h_{CB})_{mín}$$



6.1.5.2 2ª Possibilidade

O revestimento do pavimento existente encontra-se na condição de fissuração (b), ou na condição de fissuração (d).



Apesquisa dos valores extremos permissíveis para a espessura do reforço, suposto constituído exclusivamente por concreto betuminoso, envolve, no caso, as etapas seguintes:

- Determinação do valor de $(h_{CB})_{\min}$, de acordo com o procedimento anteriormente estabelecido em 6.1.3.
- Traça-se no nomograma 4, uma curva auxiliar, cujas ordenadas devem ser respectivamente iguais à da curva correspondente ao IT assumido, para efeito de projeto de reforço, IT_p menos o valor de h_e .
- Determinam-se, para o valor de $(h_{CB})_{\min}$ considerado, os valores de $(d_h)_{\max}$ e de $(d_{adm})_{\max}$ correspondentes, utilizando a curva auxiliar previamente desenhada no nomograma 4.
- Cotejam-se os valores de $(d_h)_{\max}$ e $(d_{adm})_{\max}$.

Dois hipóteses podem ocorrer:

1ª Hipótese: $(d_h)_{\max} \leq (d_{adm})_{\max}$

Nessas circunstâncias, é viável a consideração de um reforço integrado exclusivamente por concreto betuminoso, e a espessura mínima exequível é igual a $(h_{CB})_{\min}$.

2ª Hipótese: $(d_h)_{\max} > (d_{adm})_{\max}$

Neste caso, está configurada a impossibilidade de constituição do reforço exclusivamente à custa de concreto betuminoso.

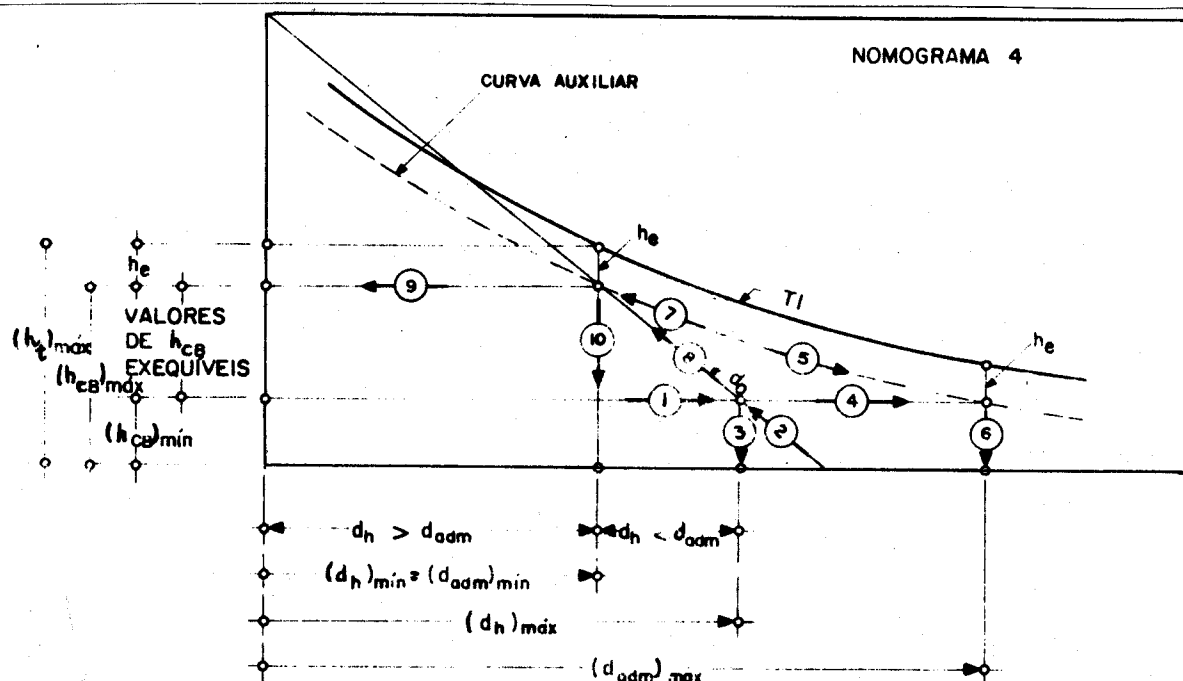
- Caso seja verificada a 1ª Hipótese, determinam-se os valores de $(d_h)_{\min}$ e $(h_{CB})_{\max}$, através da curva auxiliar desenhada no nomograma 4, que é possível sempre que $(d_h)_{\min}$ for menor que $(d_h)_{\max}$.

São consideradas satisfatórias as espessuras de reforço que atendam à condição:

$$(h_{CB})_{\min} \leq h_{CB} \leq (h_{CB})_{\max}$$

A solução mais econômica é a correspondente à tomada da menor espessura de reforço praticável, ou seja:

$$h_{CB} = (h_{CB})_{\min}$$



6.2 Concepção de Reforço Constituído por Camadas Integradas por Materiais Distintos

Sempre que o pavimento existente comportar um reforço projetado à luz do critério de deformabilidade, é viável, pelo menos tecnicamente, concebê-lo mediante a utilização de camadas constituídas por materiais distintos.

Dependendo das circunstâncias, essa solução pode resultar mais econômica que a representada pelo emprego exclusivo de concreto betuminoso na estrutura a ser sobreposta à antiga, representando, além disso, uma alternativa sempre viável nos casos em que essa última solução mostrar-se inexequível em termos de deformabilidade.

Os requisitos de deformabilidade de um reforço, composto de camadas de materiais distintos, podem ser cumpridos satisfatoriamente mediante a seguinte associação:

- 1) Camada de rolamento, de espessura previamente selecionada, constituída por misturas do tipo concreto betuminoso, considerada a camada crítica da estrutura, no que diz respeito à deformabilidade;
- 2) Camada subjacente à primeira, integrada por material de alta flexibilidade, como por exemplo, misturas betuminosas abertas, macadame betuminoso por penetração, ou mesmo materiais granulares de base.

A deflexão admissível na superfície do reforço assim configurado deve ser determinada, exclusivamente, pela espessura selecionada para a camada de rolamento, desde que seja considerada uma determinada condição de tráfego. Prefixada essa espessura, a camada inferior deve ser dimensionada adequadamente, de forma a permitir a obtenção, na superfície do reforço, de um nível de deflexão igual ou menor que o valor da deflexão admissível.

Nessas circunstâncias, deve adotar-se a metodologia constante das etapas seguintes para o cálculo do reforço:

- a) Tabulagem dos elementos seguintes:

- "Índice de tráfego", referente à vida de projeto, IT_p .
- Nível de deflexão sobre o pavimento existente, referido à carga de eixo de 6,8 t, d_o .
- Fator de equivalência estrutural do concreto betuminoso, em relação ao pedregulho, f_{CB} .

- b) Estabelecimento da espessura de concreto betuminoso para a camada de rolamento, h_{CB} .

A espessura em apreço deve ser considerada em função, tanto do parâmetro de tráfego previsto, IT_p , como do material selecionado para a camada subjacente à de rolamento.

Para tal, deve ser escolhida, no nomograma 3, a linha correspondente ao material cogitado para a camada subjacente à de rolamento.

O valor da espessura h_{CB} é o da ordenada h_c da linha em questão, correspondente à abscissa igual ao valor do IT levado em conta para efeito de projeto, isto é, IT_p .

- c) Cálculo da espessura de pedregulho, H_{CB} , equivalente à espessura de concreto betuminoso constituinte da camada de rolamento.

A espessura em questão deve ser calculada através do produto:

$$H_{CB} = h_{CB} \times f_{CB}$$

- d) Avaliação da deflexão admissível sobre a superfície do reforço, d_{adm} .

O valor de d_{adm} , levando-se em conta as premissas de constituição do reforço, depende exclusivamente da espessura prefixada para a camada de concreto betuminoso e do parâmetro de tráfego, IT_p .

O valor de d_{adm} , nessas circunstâncias, deve ser determinado mediante utilização do nomograma 1.

- e) Determinação do nível de deflexão desejado sobre a superfície do reforço, d_h .

Por razões óbvias, admite-se que:

$$d_h = d_{adm}$$

- f) Cálculo da redução porcentual da deflexão requerida, Δ (%):

$$\Delta (\%) = \frac{d_o - d_h}{d_o} \times 100$$

- g) Avaliação da espessura total do reforço requerido, H , expressa em termos de pedregulho. O valor de H deve ser determinado através do nomograma 5 (ver Apêndice A), em função do valor de Δ (%) previamente calculado.

- h) Cálculo da espessura requerida para a camada subjacente à de rolamento, H_i , expressa em termos de pedregulho.

Evidentemente:

$$H_i = H - H_{CB}$$

Sendo: $H > H_{CB}$

- i) Cálculo da espessura real requerida para a camada subjacente à de rolamento, h_i :

A avaliação de h_i deve ser feita de acordo com a fórmula:

$$h_i = \frac{H_i}{f_i}$$

Onde f_i representa o fator de equivalência do material selecionado para a camada subjacente à de rolamento com relação ao pedregulho.

Os fatores de equivalência estrutural dos materiais mobilizados podem ser inferidos a partir do quadro e dos diagramas correspondentes às figuras 2, 3 e 4, incluídas no Apêndice A.

7 PALAVRAS-CHAVE

Deflexão, Deformação, Pavimento, Recalque.

GEOLOGIA LITOLÓGIAS UNIDADE	SUBLEITO	ESPESURA EQUIVALENTE	PAVIMENTO EXISTENTE		OCORRÊNCIA DE ÁGUA FREÁTICA	DEFLEXÕES RECUPERÁVEIS 0,01 mm	R	E	INVENTÁRIO	
			DEMAIS CAMADAS DO PAVIMENTO	TIPO					FC-2 e/ou FC-3	ALP e/ou ATP
			REVESTIMENTO	CONFIGURAÇÃO DA TERRAPLENAGEM	ESTACÕES			FLECHAS NAS TRILHAS DE RODA		
			h _a	LE	LE			P	AC e/ou AR	
			h _b	LD	LD			R		

FIGURA 1

DNER-PRO 10-79
Pág. 23/31

MT	DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM	D E P
BR.	Trecho:	Ass. no Loc. Feito
AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO EXISTENTE		

Fatores de Equivalência Estrutural com Referência ao Pedregulho

O Fator de Equivalência Estrutural, com relação ao pedregulho, de um dado material, é definido pela relação:

$$f = \frac{H}{h}$$

Onde:

h - Espessura real do material considerado;

H - Espessura do pedregulho equivalente, ou seja, a espessura de pedregulho capaz de proporcionar uma distribuição de carga e um efeito sobre a superfície subjacente, idênticos aos suscitados pela ação de placa desenvolvida pela espessura "h" do material considerado.

MATERIAL (Revestimento ou Base)	FATOR DE EQUIVALÊNCIA (f)
MACADAME HIDRÁULICO	1,10
SOLO-CIMENTO ($RCS_{7 \text{ dias}} \geq 21 \text{ kg/cm}^2$)	1,10
TRATAMENTO SUPERFICIAL	1,10
MACADAME BETUMINOSO POR PENETRAÇÃO	1,20
PRÉ-MISTURADO A FRIO ABERTO ($\% V_V > 8\%$)	1,33
PRÉ-MISTURADO A QUENTE ABERTO ($\% V_V > 8\%$)	1,35
PRÉ-MISTURADO A FRIO SEMI-DENSO ($5\% < \% V_V \leq 8\%$)	1,36
AREIA-ASFALTO A QUENTE ($\% V_V \leq 8\%$)	1,42
PRÉ-MISTURADO A QUENTE SEMI-DENSO ($5\% < \% V_V \leq 8\%$)	1,58
CONCRETO BETUMINOSO ($\% V_V \leq 5\%$)	1,70

$RCS_{7 \text{ dias}}$ - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES AOS 7 DIAS

$\% V_V$ - PORCENTAGEM DE VAZIOS

FATORES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL PARA BASES GRANULARES

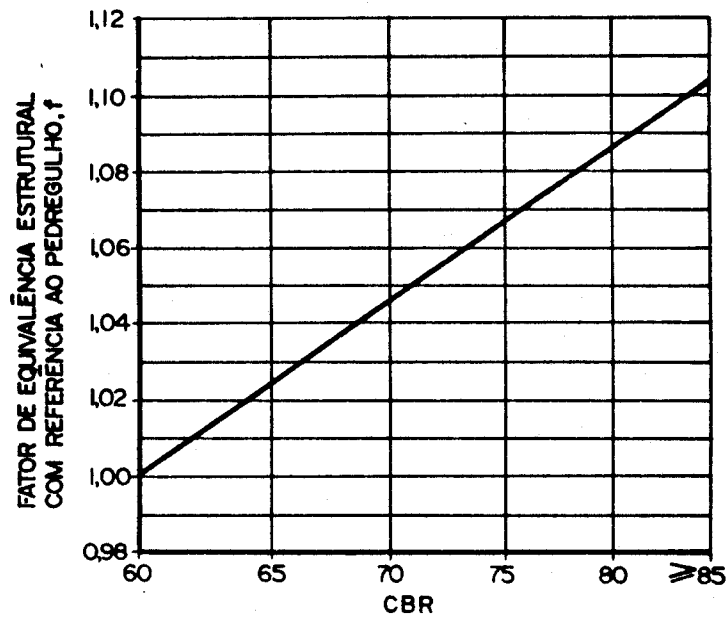


FIGURA 2

FATORES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL PARA SUB-BASES GRANULARES E REFORÇOS DO SUBLEITO

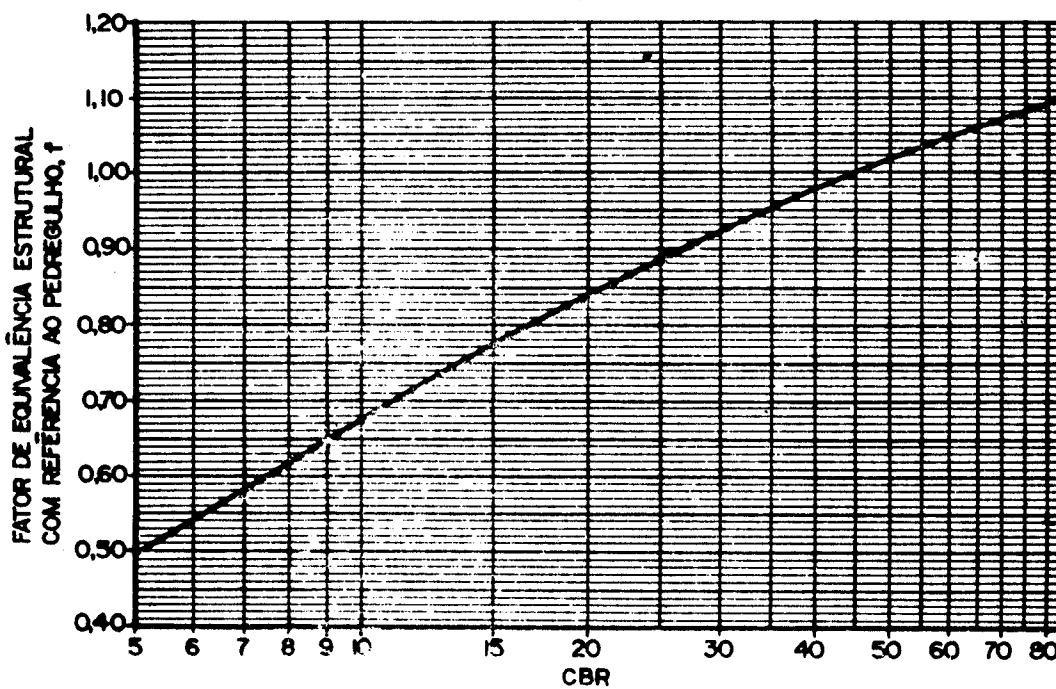


FIGURA 3

FATORES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL PARA BASES GRANULARES TRATADAS COM CIMENTO

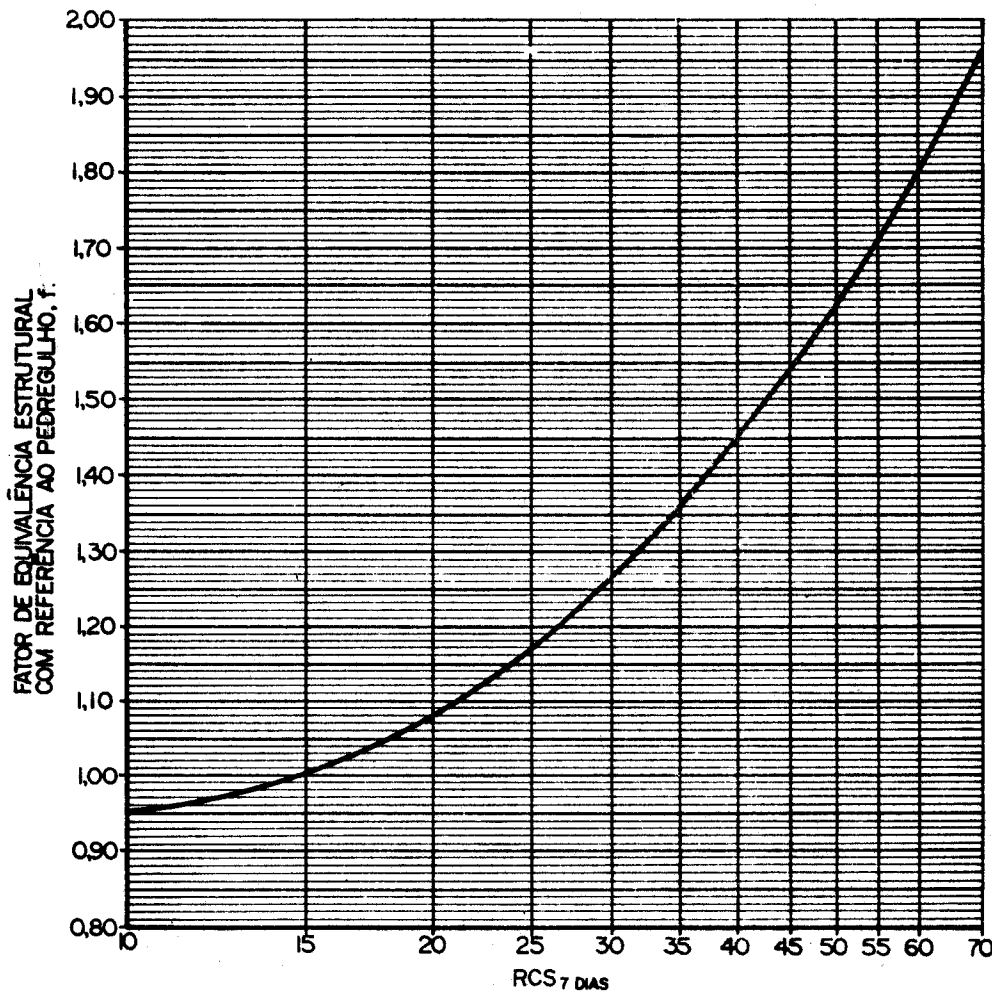
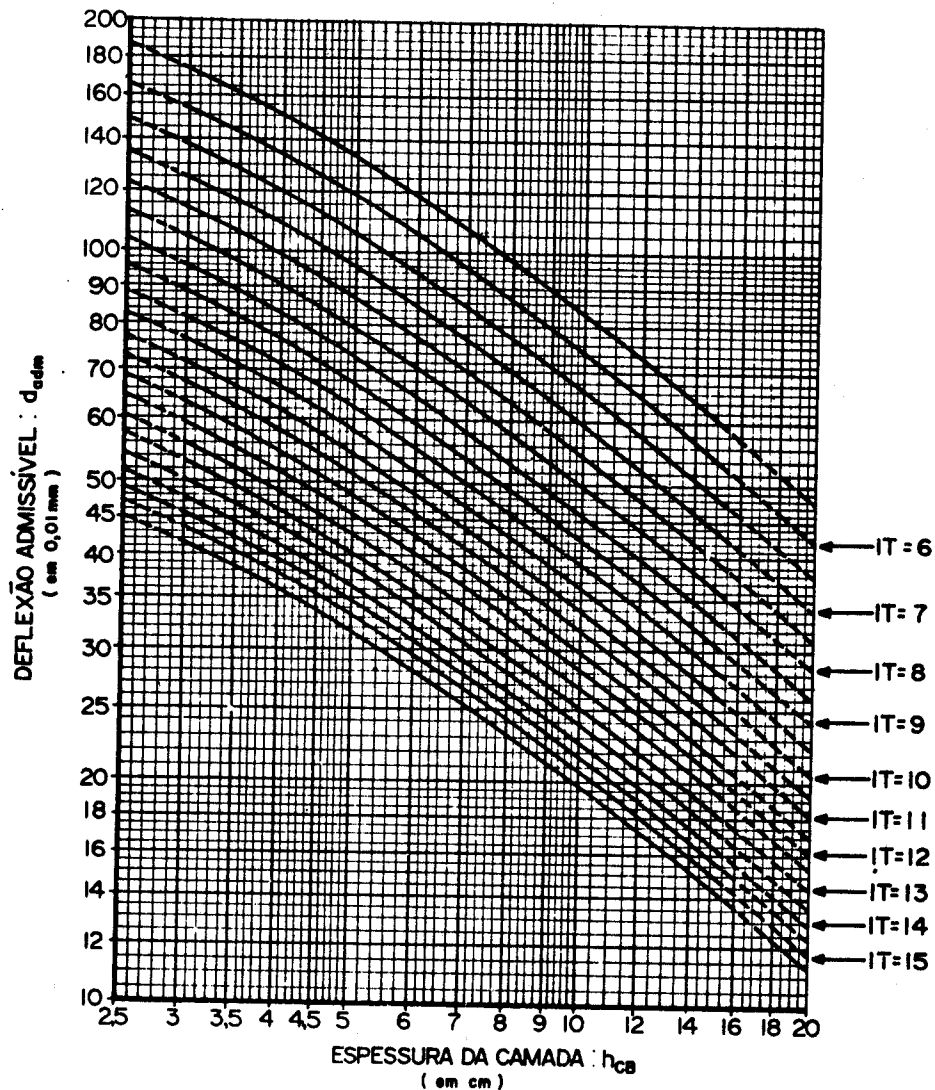


FIGURA 4

NOMOGRAMA 1

VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO ADMISSÍVEL
EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA
CRÍTICA E DA INTENSIDADE DO TRÁFEGO
(COM BASE NO NOMOGRAMA " B " DA CDH — TEST METHOD NO CALIF. 356-A)

MATERIAL : CONCRETO BETUMINOSO



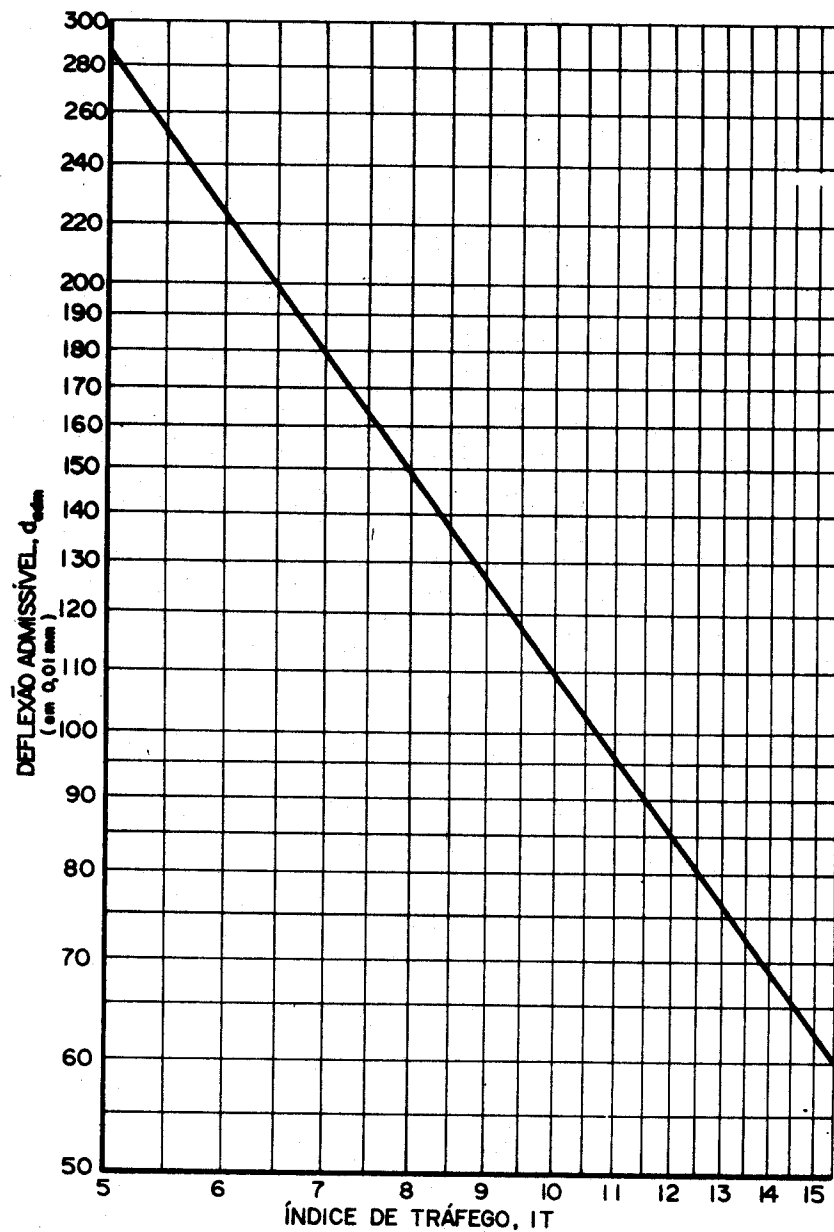
OBSERVAÇÕES:

- 1— A CAMADA DE CONCRETO BETUMINOSO É A CAMADA SUPERIOR DA ESTRUTURA.
- 2— AS DEFLEXÕES ADMISSÍVEIS SE REFEREM À CARGA DE EIXO DE 6,80 ton (15 kips), E SÃO CONSIDERADAS NA SUPERFÍCIE DA CAMADA DE CONCRETO BETUMINOSO.
- 3— A CAMADA DE CONCRETO BETUMINOSO É A CRÍTICA NO QUE CONCERNE À FLEXIBILIDADE.
- 4— AS EXTREMIDADES TRACEJADAS DAS CURVAS RESULTARAM DE EXTRAPOLAÇÃO.

NOMOGRAMA 2

**VARIAÇÃO DA DEFLEXÃO ADMISSÍVEL
EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE
DO TRÁFEGO**

MATERIAL: TRATAMENTO SUPERFICIAL



OBSERVAÇÕES:

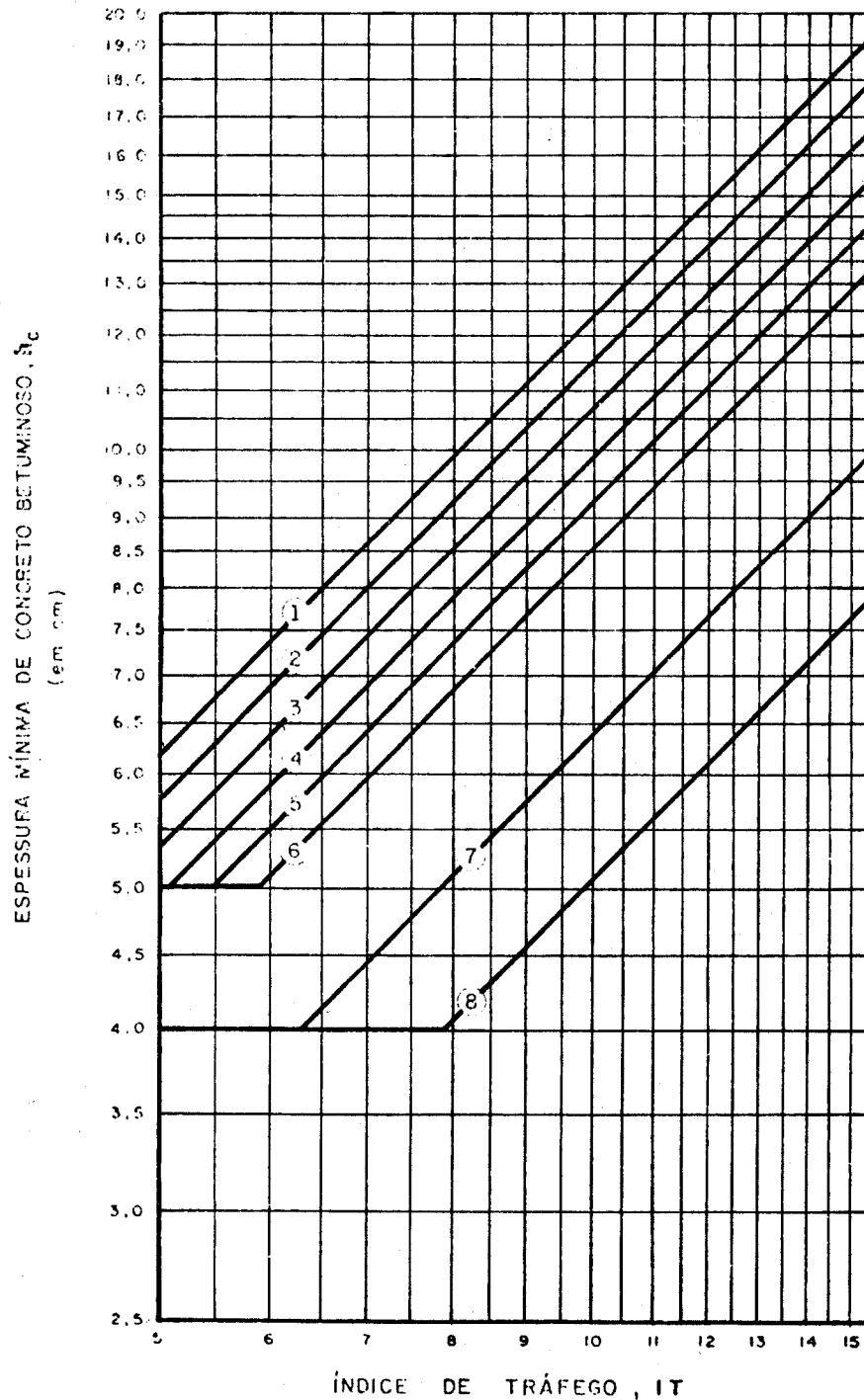
- 1 - A CAMADA DE TRATAMENTO SUPERFICIAL É A CAMADA SUPERIOR DA ESTRUTURA.
- 2 - AS DEFLEXÕES ADMISSÍVEIS SE REFEREM À CARGA DE EIXO DE 6,80 ton. (15 kips), E SÃO CONSIDERADAS NA SUPERFÍCIE DA CAMADA DE TRATAMENTO SUPERFICIAL.
- 3 - A CAMADA DE TRATAMENTO SUPERFICIAL É A CRÍTICA NO QUE CONCERNE A FLEXIBILIDADE.

NOMOGRAMA 3

DNER-PRO 10-79

Pág. 29/31

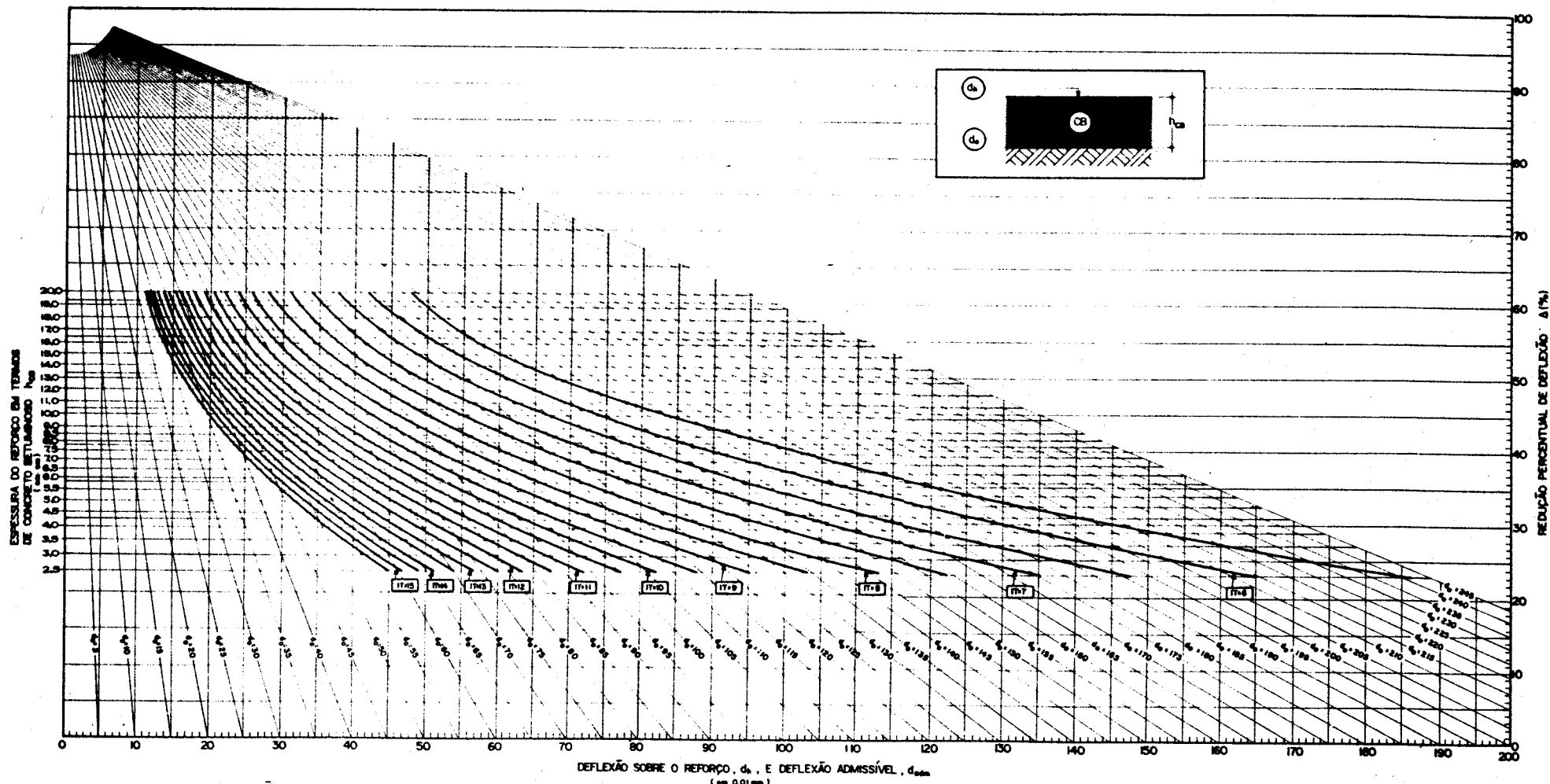
ESPESSURAS MÍNIMAS DE CONCRETO BETUMINOSO SUFICIENTES PARA A PROTEÇÃO DO MATERIAL SUBJACENTE CONTRA DEFORMAÇÕES PLÁSTICAS E/OU DEGRADAÇÃO GRANULOMÉTRICA



LINHA	MATERIAL SUBJACENTE
①	GRANULAR (CBR = 60%)
②	GRANULAR (CBR = 65%)
③	GRANULAR (CBR = 70%)
④	GRANULAR (CBR = 75%)
⑤	GRANULAR (CBR = 80%)
⑥	GRANULAR (CBR \geq 85%)
⑦	MACADAME BETUMINOSO POR PENETRAÇÃO
⑧	PRÉ-MISTURADO ABERTO

NOMOGRAMA 4
 CÁLCULO DO REFORÇO, SUPOSTO
 CONSTITUÍDO POR CONCRETO BETUMINOSO

$f_{ce} = 1,70$

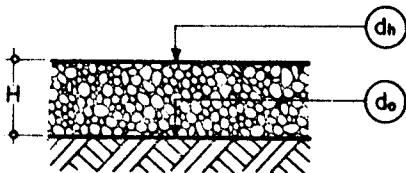
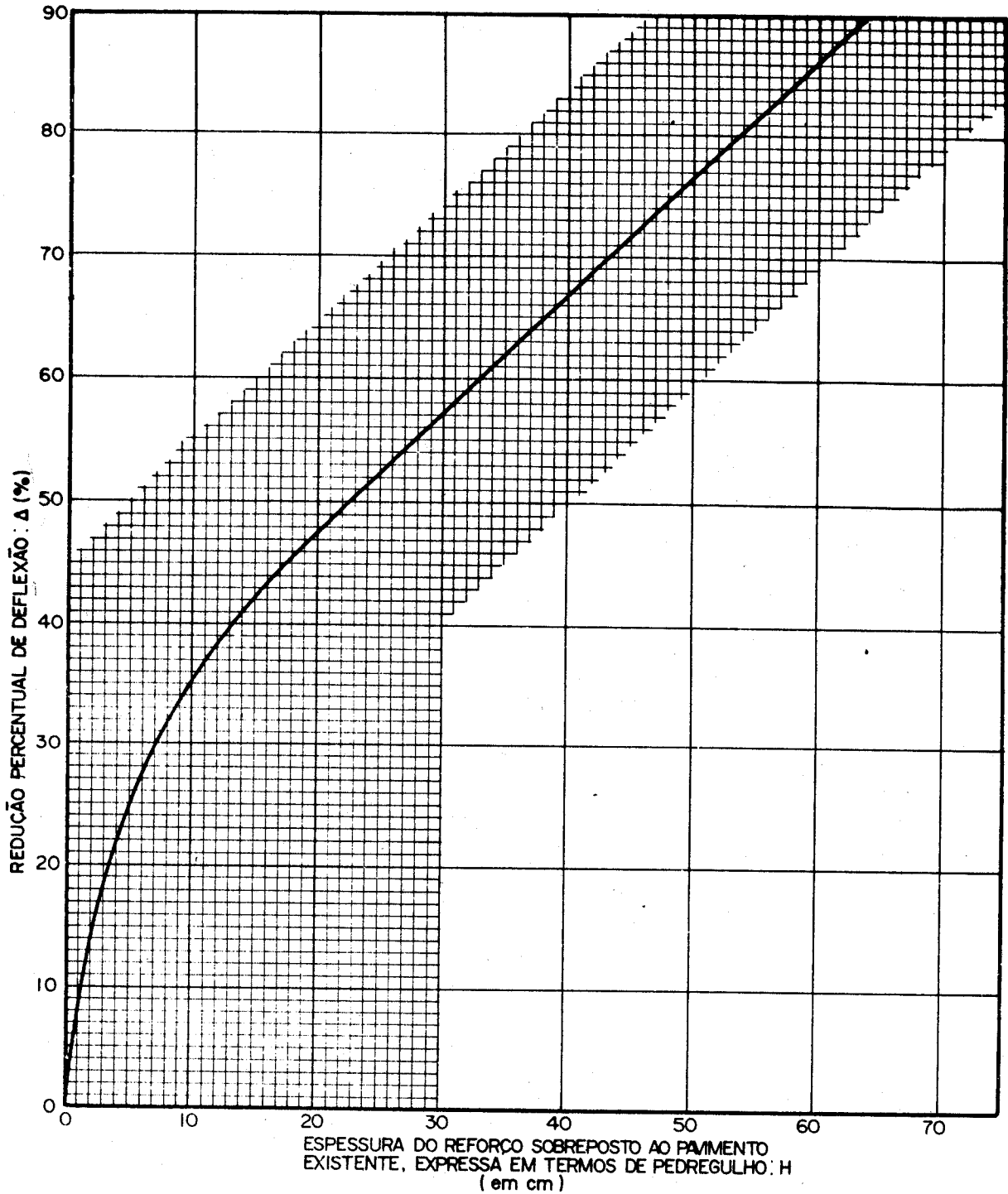


- OBSERVAÇÕES:
- 1 - AS DEFLExÕES d_s , d_n E d_{adm} SÃO REFERIDAS A CARGA DE EIXO DE 6,80 ton (15 kps)
 - 2 - $\Delta (\%) = \frac{d_s - d_n}{d_n} \times 100$
 - 3 - O FATOR DE EQUIVALÊNCIA DO CONCRETO BETUMINOSO COM RELAÇÃO AO PEDREGULHO É IGUAL A 1,70.

NOMOGRAMA 5

REDUÇÃO PERCENTUAL DE DEFLEXÃO

(SEGUNDO A CDH - TEST METHOD NO CALIF. 356-A)



d_o — NÍVEL DE DEFLEXÃO SOBRE A SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO EXISTENTE (DEFLEXÃO CARACTERÍSTICA).

d_h — NÍVEL DE DEFLEXÃO SOBRE A SUPERFÍCIE DO REFORÇO SOBREPÓSITO AO PAVIMENTO EXISTENTE.

H — ESPESSURA DO REFORÇO EXPRESSA EM TERMOS DE PEDREGULHO ("GRAVEL").

REDUÇÃO PERCENTUAL DE DEFLEXÃO

$$\Delta (\%) = \frac{d_o - d_h}{d_o} \times 100$$