

# DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES PELA VIGA BENKELMAN

**C D T - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

**Março de 2015**



**DESIGNAÇÃO - ARTERIS ME- 024-94**

# Método Padrão para Ensaio de Deflexões Recuperáveis pela Viga Benkelman

Designação ARTERIS ME 024 – 94



---

## 1. ESCOPO

1.1 Este método de ensaio, que é uma norma técnica, tem como objetivo a determinação de deflexões recuperáveis em pavimentos rodoviários com aplicação da viga Benkelman, visando ao conhecimento da capacidade estrutural do pavimento. Prescreve como medir e calcular as deflexões, apresenta o esquema da viga, da carga aplicada e o posicionamento dos equipamentos para medição.

---

## 2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

### 2.1 Padrões DNER

DNER PRO 175-94 Aferição da viga Benkelman.

DNER-ME024-87 Determinação das deflexões no pavimento pela viga benkelman.

---

## 3. TERMINOLOGIA

### 3.1 Definições:

3.1.1 Viga Benkelman – aparelho destinado a medir deflexões no pavimento.

3.1.2 Eixo de carga – eixo do veículo de prova que transmite ao pavimento o peso da carga de ensaio.

3.1.2 Trilha Interna e Externa – Faixa do pavimento que suporta normalmente as rodas diretas dos veículos que por ela transitam.

---

## 4. APARELHAGEM

4.1 A aparelhagem é constituída do seguinte:

4.2 Viga Benkelman, constituída por um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa, formando dois braços cujos comprimentos “a” e “b” obedeçam as relações de 2/1, 3/1 ou 4/1, conforme figura 1 em anexo. A

extremidade do braço maior contém a ponta de prova da viga. A extremidade do braço menor aciona o extensômetro com precisão de 0,01mm. Possui um vibrador destinado a evitar eventuais inibições do ponteiro do extensômetro e dispõe de uma trava de proteção a ser utilizada na ocasião de transporte.

4.3 Caminhão com 8,2 tf de carga no eixo traseiro, simetricamente distribuída em relação as rodas. Pode ser usada carga diferente por eixo da indicada, quando julgada conveniente. O eixo traseiro é simples e com roda dupla.

4.4 Pneus com dimensões 1000x20 ou 900x20, com 12 lonas, tipo “com câmara” e com frisos na faixa de rodagem, calibrados a pressão de 0,56 MPa (5,6 Kgf/cm<sup>2</sup> ou 80 lb/pol<sup>2</sup>).

4.4 Calibrador para medir a pressão dos pneus.

---

## 5. EXECUÇÃO DO ENSAIO

5.1 A viga para ser executada deve ser previamente aferida, conforme DNER-PRO 175/94 (ver 2.1).

5.2 A locação dos pontos do pavimento em que deve ser medidas as deflexões devem ser convenientemente marcados e estarem a uma distância prefixada da borda do revestimento, de acordo com a tabela a seguir:

Tabela - localização dos pontos	
Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

### 5.3 Posicionamento do caminhão

Um dos conjuntos de rodas duplas traseiras do caminhão deve ser centrado sobre o ponto selecionado na trilha de roda a ser medida, conforme indicado no item 5.2. O eixo de carga deve ficar perpendicular ao eixo da pista de rolamento.

### 5.4 Posicionamento da viga benkelman

5.4.1 A ponta de prova da viga Benkelman deve ser posicionada entre os pneus de roda dupla.

5.4.2 O perfeito posicionamento da viga, na vertical do eixo traseiro, deve ser assegurado por meio de um sistema de referência, conforme figura 2 em anexo.

5.4.3 A trava da viga deve ser liberada.

5.4.4 O pé traseiro deve ser ajustado de modo que o extensômetro fique aproximadamente ao meio do curso.

#### 5.5 Leitura inicial

Após acionar o vibrador, quando o extensômetro indicar um movimento  $\leq 0,01$  mm/min ou decorridos 3 minutos, faz-se a leitura inicial ( $L_0$ ).

#### 5.6 Leitura final

O caminhão deve-se deslocar lentamente para a frente, numa distância de no mínimo 10 metros entre o ponto inicial, quando o extensômetro indicar um movimento  $\leq 0,01$  mm/min ou decorridos 3 minutos após o caminhão sair da posição inicial, faz-se a leitura final ( $L_f$ ).

#### 5.7 Raio de curvatura

Para determinar o raio de curvatura da bacia de deformação, faz-se uma leitura adicional, deslocando o eixo do caminhão 25 cm para a frente da leitura inicial ( $L_0$ ).

#### 5.8 Transporte da viga

Desligado o vibrador, a parte móvel da viga deve ser travada, para ser transportada para um novo ponto.

---

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Calculo das deflexões

6.1.1 A deflexão do pavimento no ponto de prova é calculada por meio da formula:

$$D_o = (L_o - L_f) a/b$$

Onde:

$D_o$  = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

$L_o$  = leitura inicial, em centésimos de milímetro;

$L_f$  = leitura final, em centésimos de milímetro;

a e b = dimensões da Viga Benkelman; figura 1 em anexo;

6.1.2 Raio de curvatura da bacia de deformação no ponto de prova é calculado por meio da formula:

$$R = \frac{6250}{2(D_o - D_{25})}$$

Onde:

R= raio de curvatura em metros;

D<sub>0</sub> = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

D<sub>25</sub> = deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimo de milímetro;

6.1.3 calcula-se a média das deflexões:

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

Onde:

$\bar{X}$  = deflexão média aritmética

$\sum Xi$  = somatória das deflexões

n = quantidade de leituras

6.1.4 calcula-se o desvio padrão:

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

d= desvio padrão

$\sum (Xi - \bar{X})^2$  = diferença das deflexões em relação a média aritmética

n = quantidade de leituras

6.1.5 Calcula-se a deflexão característica:

$$Dc = \bar{X} + Kd$$

Onde:

Dc = deflexão característica

$\bar{X}$  = deflexão média aritmética

K = coeficiente multiplicador em função do números de amostras

d = desvio padrão

6.1.6 Exemplo

Exemplo		
$L_s$	$L_f$	X
500	469	62
500	459	82
500	459	82
500	462	76
500	460	80
500	461	78
500	461	78
500	459	82
500	460	80
500	460	80
500	450	100
500	440	120
500	465	70
500	466	68
500	477	46
500	460	80
500	461	78
500	480	40
500	465	70
500	464	72
500	459	82
<b>N =</b>		<b>21</b>
<b><math>\bar{X}</math> =</b>		<b>76,5</b>
<b><math>\sigma_x</math> =</b>		<b>16,2</b>
<b>K =</b>		<b>1,01</b>
<b><math>D_c</math> =</b>		<b>92,9</b>

Coeficiente Multiplicador	
N	K
4	3,00
5	1,55
6	1,41
7	1,36
8	1,31
9	1,25
10	1,21
11	1,20
12	1,16
13	1,13
14	1,11
15	1,10
16	1,08
17	1,06
18	1,05
19	1,04
20	1,02
21	1,01
22	1,00
23	1,00
24	1,00
25	1,00
26	1,00
27	1,00
28	1,00
29	1,00
30	1,00

## 6.2 Aceitação do segmento:

6.2.1 O segmento será aceito se a deflexão característica for  $\leq$  deflexão máxima admissível.

## 6.3 Anexos:

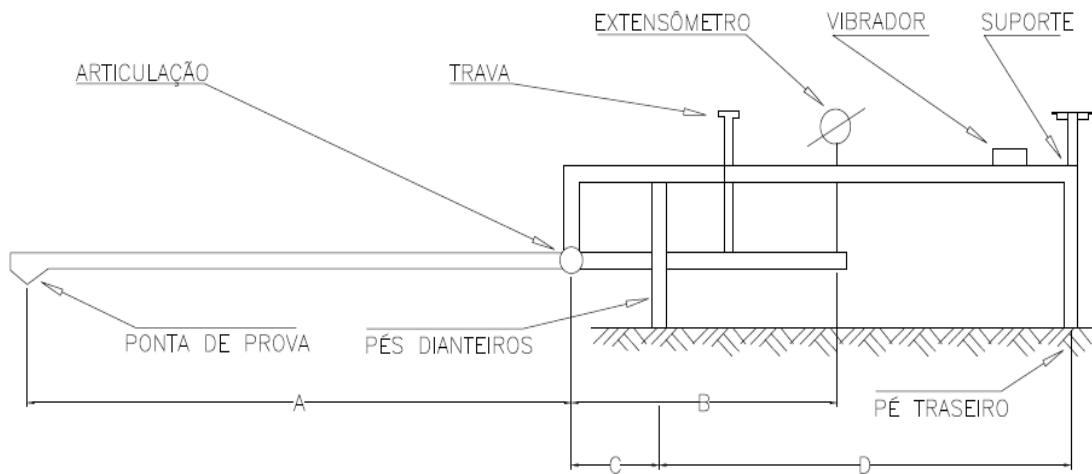


Fig. 1 Esquema da Viga Benkelman

- A= distância entre a articulação e a ponta de prova
- B = distância entre o extensômetro e a articulação
- C = distância entre a articulação e o pé dianteiros
- D = distância entre a articulação e o pé traseiro

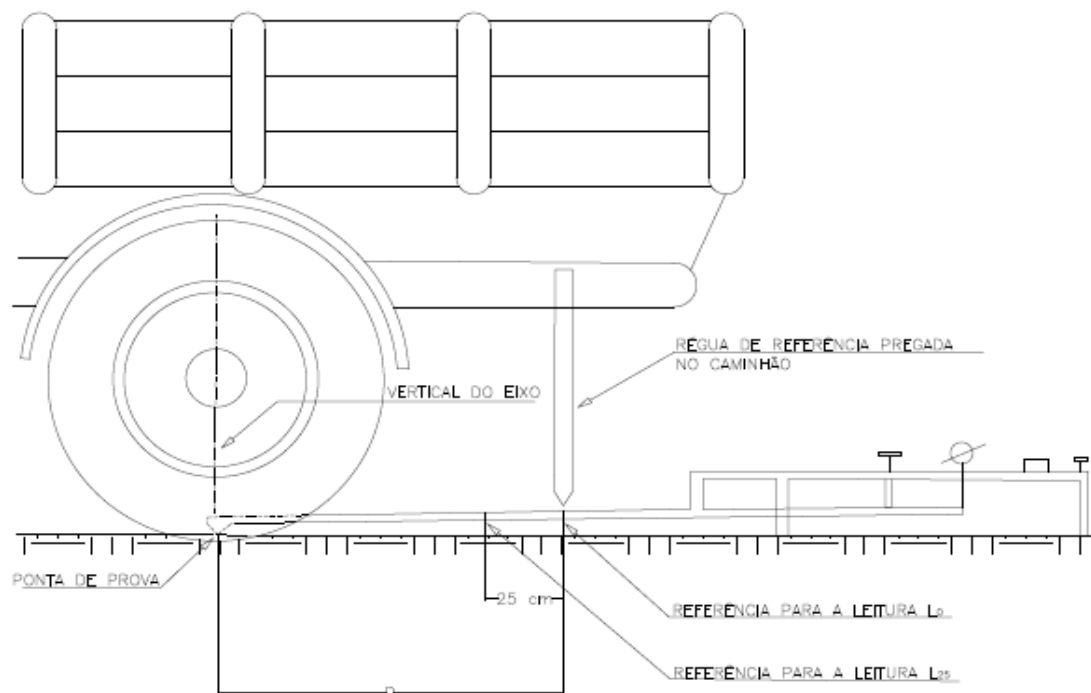


Fig. 2 Eixo Padrão

D= Distância marcada sobre o braço maior da viga Benkelman de forma que, ao se fazer coincidir a referência para a leitura  $L_0$ , com a ponta da régua de referência, a ponta de prova estará colocada na vertical do eixo do caminhão.