

## Pavimentos flexíveis – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio

**Autor:** Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

**Processo:** 50607.000138/2009-02

**Origem:** Revisão da Norma DNER - ME 061/94.

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de / / .**

*Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.*

**Palavras-chave:**

Pavimento, Bacia de deformação, Viga Benkelman

**Nº total de páginas**

7

### Resumo

Este documento estabelece os procedimentos metodológicos para delinear a linha de influência longitudinal da bacia de deformação elástica do pavimento por meio da Viga Benkelman. Descreve a aparelhagem e os procedimentos para execução do ensaio. Quanto aos resultados, fornece as deflexões correspondentes aos diversos deslocamentos e o desenho da bacia de deformação.

### Abstract

This document presents the procedure for determination of the delineation of the longitudinal line of influence of elastic deflection basin of pavement by means of the Benkelman beam. It describes the apparatus, execution and conditions for obtaining results, giving also the correspondent deflections of the various points of dislocation and the design of the deflection basin.

### Sumário

Prefácio .....	1
1 Objetivo .....	1
2 Referências normativas .....	1
3 Definições .....	2
4 Aparelhagem .....	2
5 Execução de ensaio .....	2

6 Resultados .....	3
Anexo A (Normativo) Figura 1 .....	4
Anexo B (Normativo) Figura 2 .....	5
Anexo C (Normativo) Figura 3 .....	6
Índice geral .....	7

### Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DIREX, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a realização do ensaio para o delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO, cancela e substitui a Norma DNER-ME 061/94.

#### 1 Objetivo

Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis para o procedimento do delineamento da linha de influência longitudinal inerente à parcela transitória de deformação ocasionada pela carga de prova aplicada estaticamente à superfície de um pavimento - "Bacia de Deformação".

#### 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências

não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

- a) BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *DNER-ME 061/94*: delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.
- b) BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. *DNIT 001/2009-PRO*: elaboração e apresentação de normas do DNIT: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

### 3 Definições

Para os fins desta Norma, serão adotadas as seguintes definições:

#### 3.1 Viga Benkelman

Aparelho destinado a medir deflexões produzidas em um extensômetro acionado por uma alavanca interfixa, cuja relação entre os comprimentos dos braços é conhecida.

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

#### 3.2 Eixo de carga

Eixo do veículo de prova, que transmite ao pavimento o peso da carga de ensaio.

### 4 Aparelhagem

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) Viga Benkelman, com relação a/b de 2/1, 3/1 ou 4/1, conforme Anexo A - Figura 1;
- b) Caminhão, com 8,2 t de carga no eixo traseiro, igualmente distribuída entre as duas rodas duplas. A carga por eixo pode ser diferente da indicada, quando julgada conveniente, desde que seja a alteração devidamente justificada;

Nota: Pneus 1000 x 20 ou 900 x 20, com 12 lonas, do tipo com câmara, frisos na banda de rodagem e calibrados na pressão de 550 kPa (80 psi).

- c) calibrador, para medir a pressão dos pneus;
- d) régua de madeira, com 3,00 m de comprimento, graduada em centímetro, ao longo de todo o comprimento, ressaltadas as posições correspondentes a 125 mm, 250 mm, 400 mm e daí por diante, de duzentos em duzentos milímetros.

## 5 Execução do Ensaio

### 5.1 Localização das Estações de Ensaio

As estações de ensaio devem ser convenientemente marcadas e estar localizadas nas trilhas de roda. Desta maneira, a roda traseira dupla do veículo de prova deve situar-se a distância prefixada da borda do revestimento, de acordo com a Tabela a seguir.

**Tabela - Localização dos pontos**

Largura da Faixa de Tráfego	Distância à Borda do Revestimento
Unidade (m)	Unidade (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

### 5.2 Posicionamento do Caminhão

Centrar uma das rodas duplas do caminhão sobre a estação selecionada na trilha externa, conforme Tabela. O eixo de carga do caminhão deve ficar perpendicular ao eixo da pista de rolamento.

### 5.3 Posicionamento da viga Benkelman

5.3.1 Introduzir a ponta de prova da viga Benkelman no meio da roda dupla direita e colocá-la sobre o ponto selecionado.

5.3.2 Assegurar o perfeito posicionamento da ponta de prova da viga na vertical do eixo traseiro, por meio de um sistema de referência na viga e no caminhão, conforme Anexo B - Figura 2.

5.3.3 Assentar na superfície do pavimento, ao lado da cabina e em posição bem visível pelo motorista, a régua de madeira com 3,00 m de comprimento, descrita no item 4d. O veículo de prova deve apresentar uma referência que se desloque por cima das referências da régua de madeira. Antes do começo das medidas, a referência do caminhão deve coincidir com o início da régua.

5.3.4 Soltar a trava da viga Benkelman.

5.3.5 Ajustar o pé traseiro da viga, de modo que o extensômetro fique aproximadamente na metade de seu curso.

#### 5.4 Leitura Inicial

Ligar o vibrador e fazer a leitura inicial ( $L_0$ ) quando o extensômetro indicar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min, ou após decorridos 3 (três) minutos.

#### 5.5 Leituras Intermediárias

5.5.1 Deslocar o caminhão lentamente para frente até que a sua referência atinja as proximidades da primeira divisão ressaltada da régua de madeira. Com o caminhão parado e o vibrador ligado, efetuar a primeira leitura intermediária, isto é, a leitura quando o extensômetro indicar movimento igual ou inferior a 0,01 mm/min, ou após decorridos 3 (três) minutos, anotando também a distância correspondente ao deslocamento da referência do caminhão sobre a régua graduada com precisão de cm.

5.5.2 Proceder da mesma maneira para obter as outras leituras intermediárias, isto é, as leituras  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_5$  etc.

#### 5.6 Leitura Final

Deslocar o caminhão lentamente, pelo menos 10 metros para frente. Fazer a leitura final ( $L_f$ ), quando o extensômetro indicar movimento igual ou menor que 0,01 mm/min, ou após decorridos 3 (três) minutos.

**Nota:** Este ensaio também pode ser feito simultaneamente por intermédio de uma segunda viga Benkelman introduzida na roda dupla esquerda do caminhão de prova.

## 6 Resultados

### 6.1 Cálculos das Deflexões

Calcular a deflexão do pavimento nos pontos correspondentes aos diversos deslocamentos, pelas fórmulas:

$$D_0 = (L_0 - L_f) a / b$$

$$D_n = (L_n - L_f) a / b$$

Onde:

$D_0$  – Deflexão em centésimos de milímetros no ponto de prova inicial (flecha máxima da linha de influência longitudinal da bacia de deformação);

$D_n$  – Deflexão nos pontos correspondentes aos diversos deslocamentos do veículo;

$L_0$  – Leitura inicial em centésimos de milímetros;

$L_n$  – Leituras correspondentes aos diversos deslocamentos do veículo em centésimos de milímetros;

$L_f$  – Leitura final em centésimos de milímetros;

a e b - Dimensões dos braços da viga Benkelman, em centímetros.

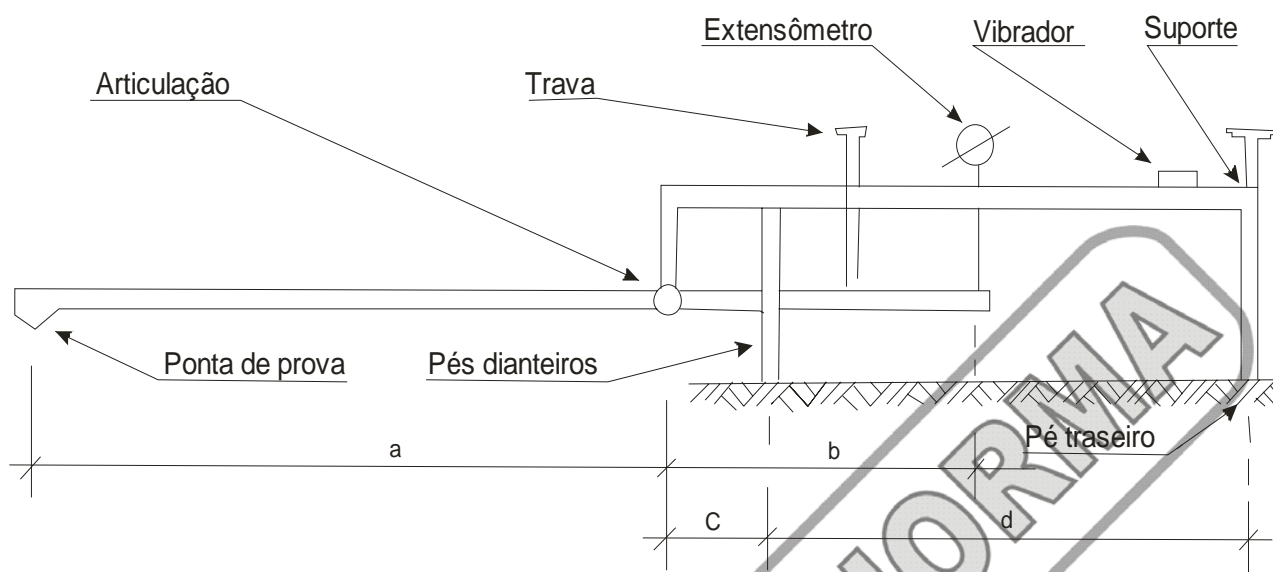
### 6.2 Desenho da Bacia de Deformação

6.2.1 A anotação dos resultados das medidas, o cálculo das deflexões e o desenho da linha de influência longitudinal inerente à parcela transitória de deformação ocasionada pela carga de prova

6.2.2 Aplicada à superfície do pavimento - bacia de deformação - podem ser efetuados por meio de formulário constante no Anexo C - Figura 3.

6.2.3 As escalas horizontal e vertical para um determinado serviço devem ser mantidas constantes, a fim de possibilitar a comparação entre os aspectos das diversas linhas de influência obtidas.

## Anexo A (Normativo)

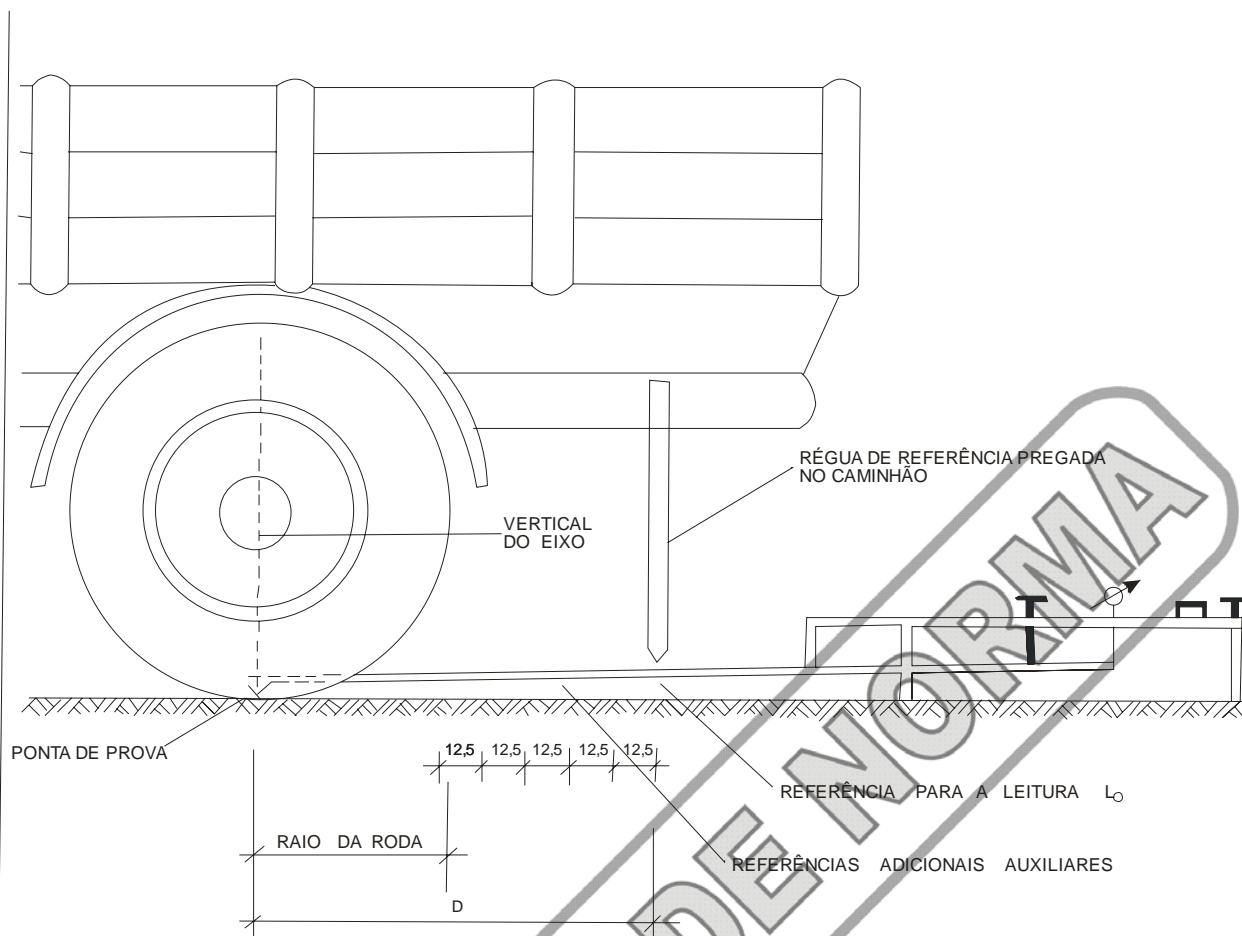


- Ⓐ - Distância entre a articulação e a ponta de prova
- Ⓑ - Distância entre o extensômetro e a articulação
- Ⓒ - Distância entre a articulação e os pés dianteiros
- Ⓓ - Distância entre os pés dianteiros e o pé traseiro

Nota : A distância a deve ser maior ou igual a 244 cm

Figura 1 - Esquema da viga benkelman

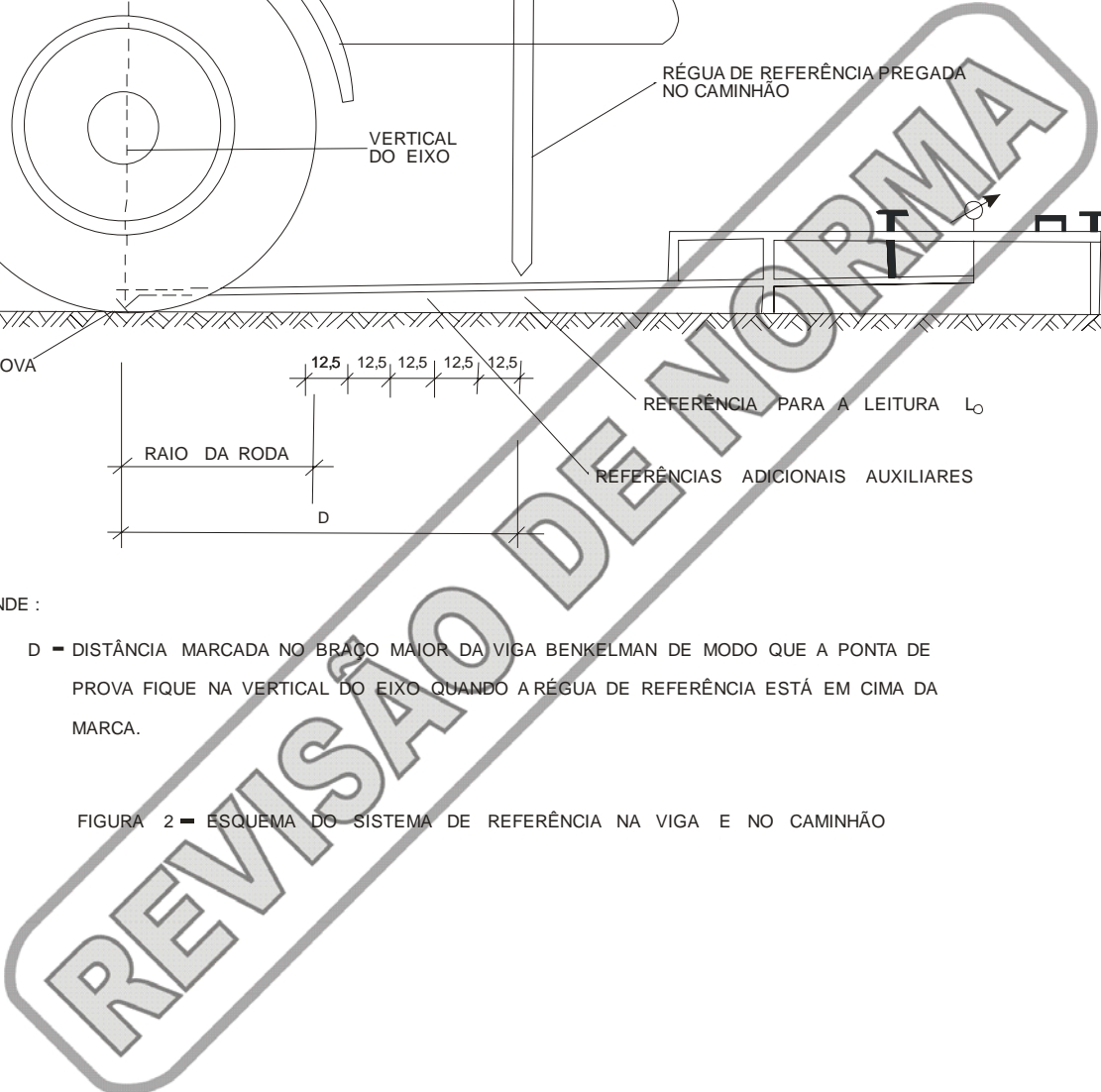
Anexo B (Normativo)



ONDE :

D - DISTÂNCIA MARCADA NO BRAÇO MAIOR DA VIGA BENKELMAN DE MODO QUE A PONTA DE PROVA FIQUE NA VERTICAL DO EIXO QUANDO A RÉGUA DE REFERÊNCIA ESTÁ EM CIMA DA MARCA.

FIGURA 2 - ESQUEMA DO SISTEMA DE REFERÊNCIA NA VIGA E NO CAMINHÃO



Anexo C (Normativo)

DNER - ME 061/94		
INTERESSADO	PROCEDÊNCIA	DATA
FINALIDADE	OPERADOR	VISTO

POSIÇÃO		LEITURA DO EXTENSÔMETRO	DIFERENÇAS Lf - Ln	DEFLEXÕES Do
Ln				
L <sub>0</sub>	0,00			
L <sub>1</sub>				
L <sub>2</sub>				
L <sub>3</sub>				
L <sub>4</sub>				
L <sub>5</sub>				
L <sub>6</sub>				
L <sub>7</sub>				
L <sub>8</sub>				
L <sub>9</sub>				
L <sub>10</sub>				
L <sub>11</sub>				
L <sub>12</sub>				
L <sub>f</sub>	-			

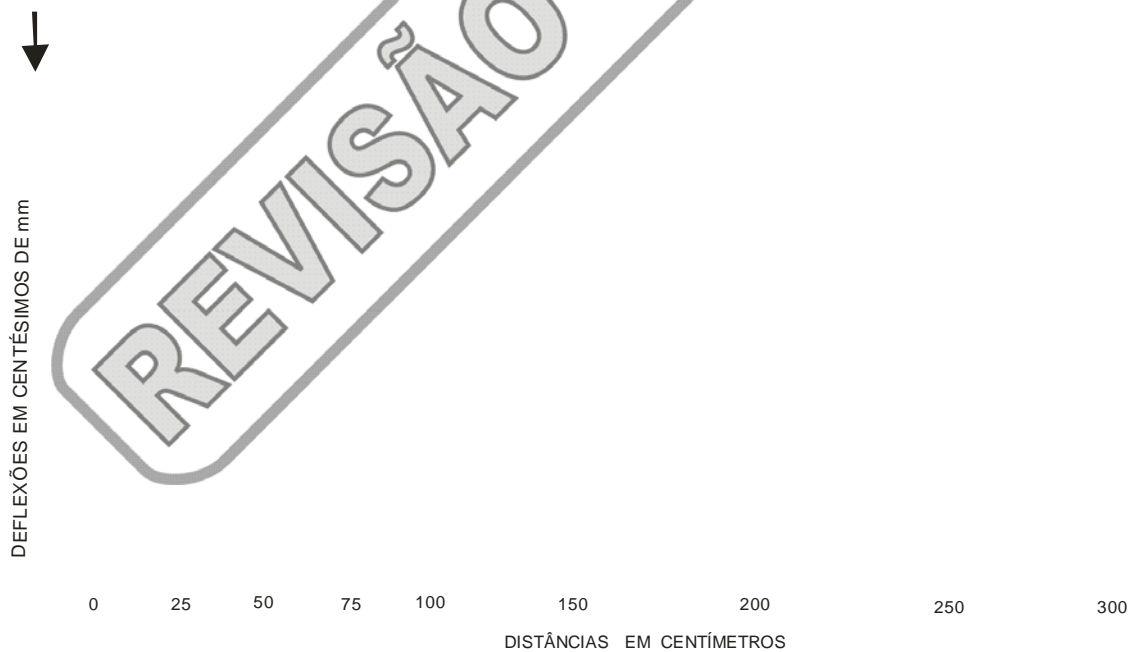


FIGURA 3 - BACIA DE DEFORMAÇÃO COM A VIGA BENKELMAN

**Índice geral**

Abstract		1	Localização das Estações		
Anexo A (Normativo) Figura 1		4	de Ensaio	5.1	2
Anexo B (Normativo) Figura 2		5	Objetivo	1	1
Anexo C (Normativo) Figura 3		6	Posicionamento da		
Aparelhagem	4	2	viga Benkelman	5.3	2
Cálculos das Deflexões	6.1		Posicionamento do		
Definições	3	2	Caminhão	5.2	2
Desenho da			Prefácio		1
Bacia de Deformação	6.2	3	Referências normativas	2	1
Eixo de carga	3.2	2	Resultados	6	3
Execução do Ensaio	5	2	Resumo		1
Índice geral		7	Sumário		1
Leitura Final	5.5	2	Viga Benkelman	3.1	1
Leituras Intermediárias	5.4	2			

REVISÃO DE NORMA