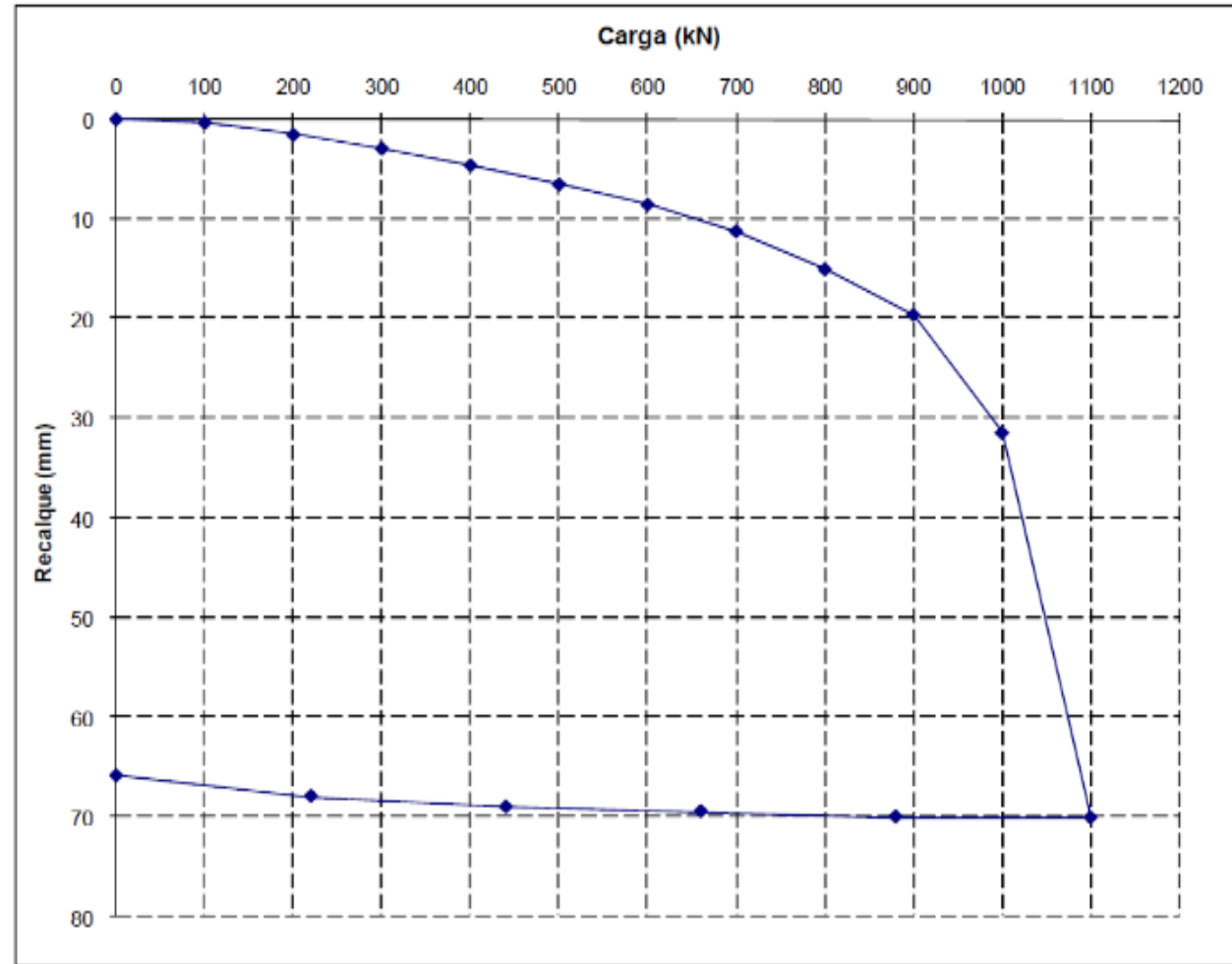


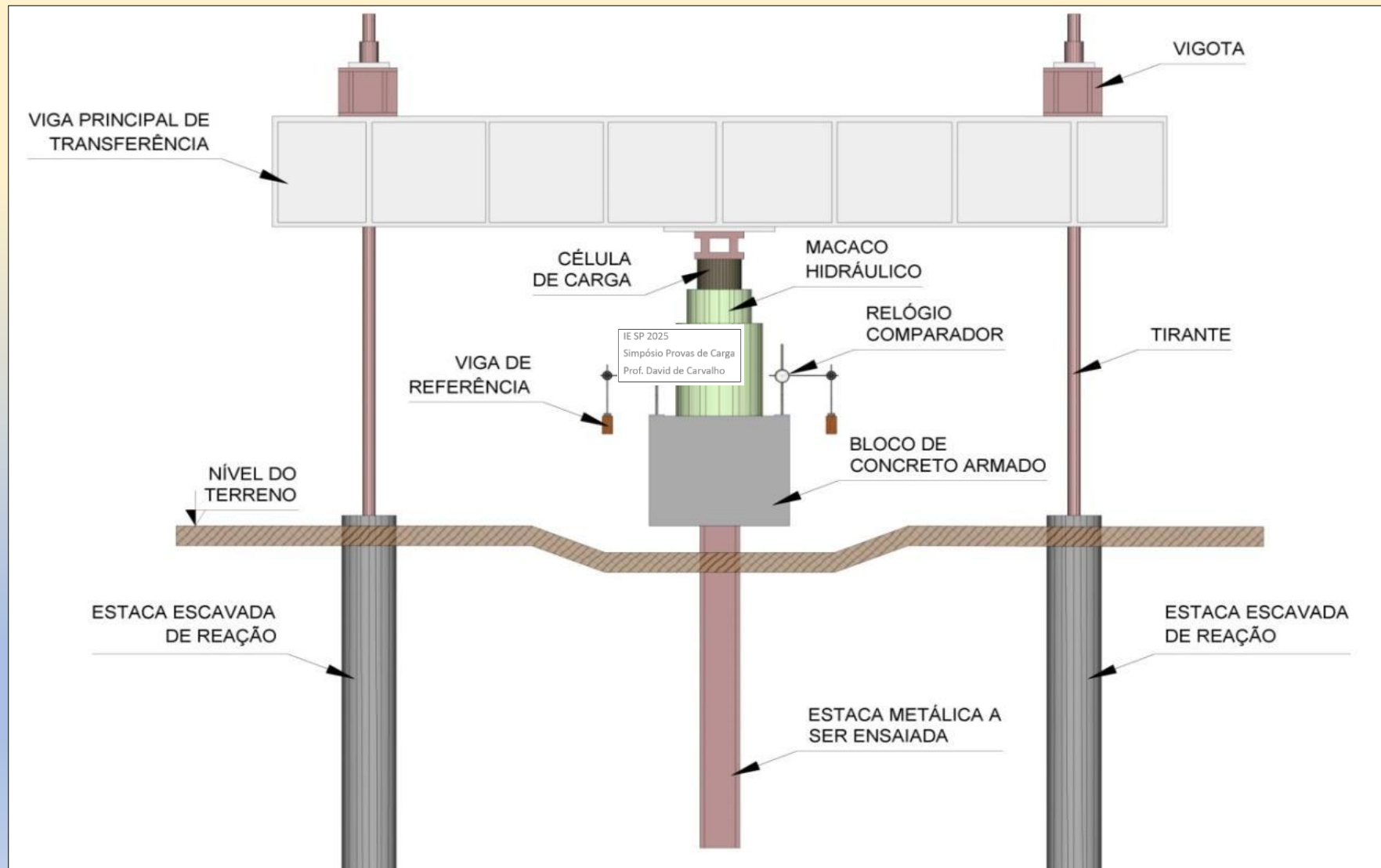
# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Figura 4.3 – Curva carga-recalque – EH2



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento





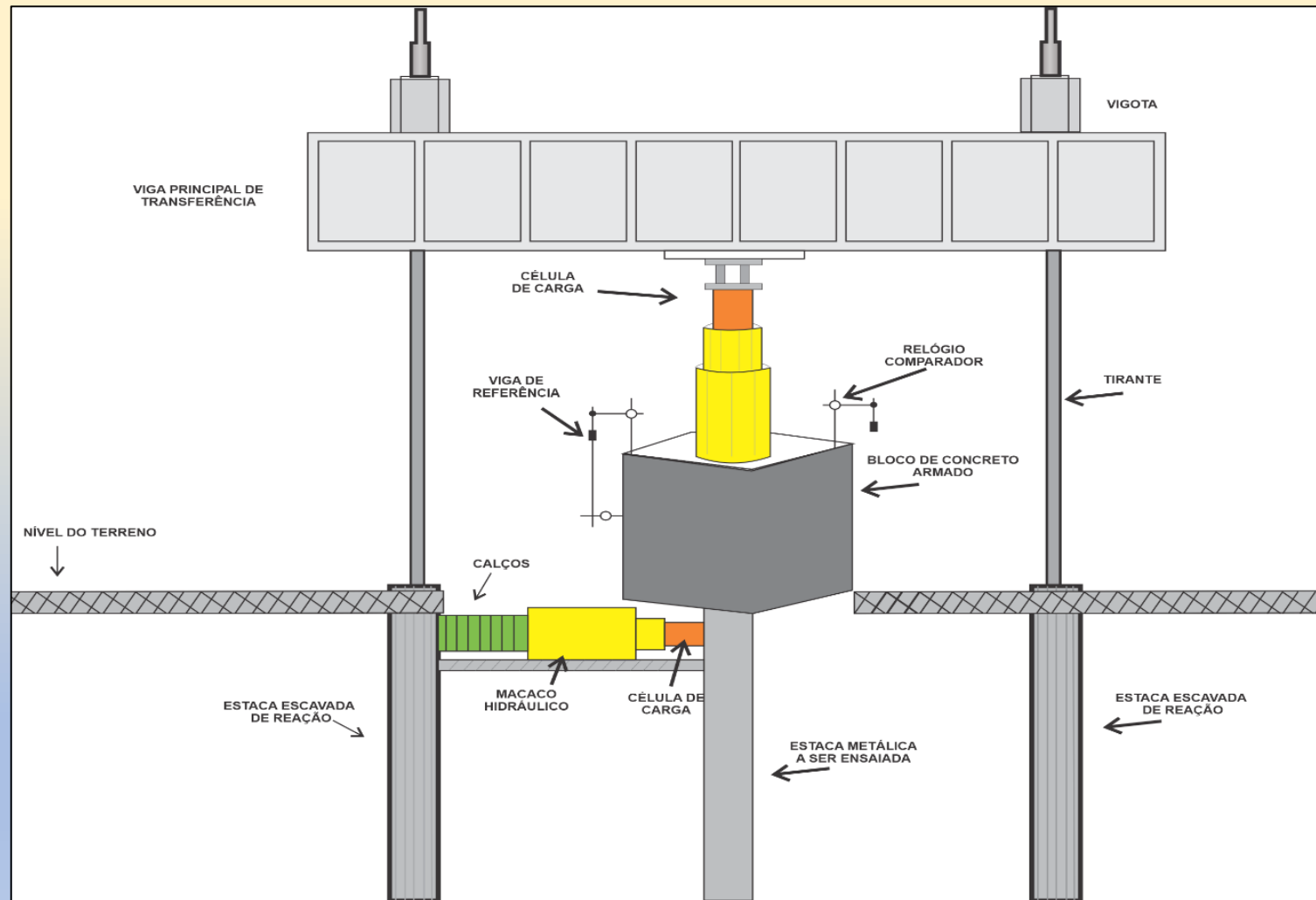
# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



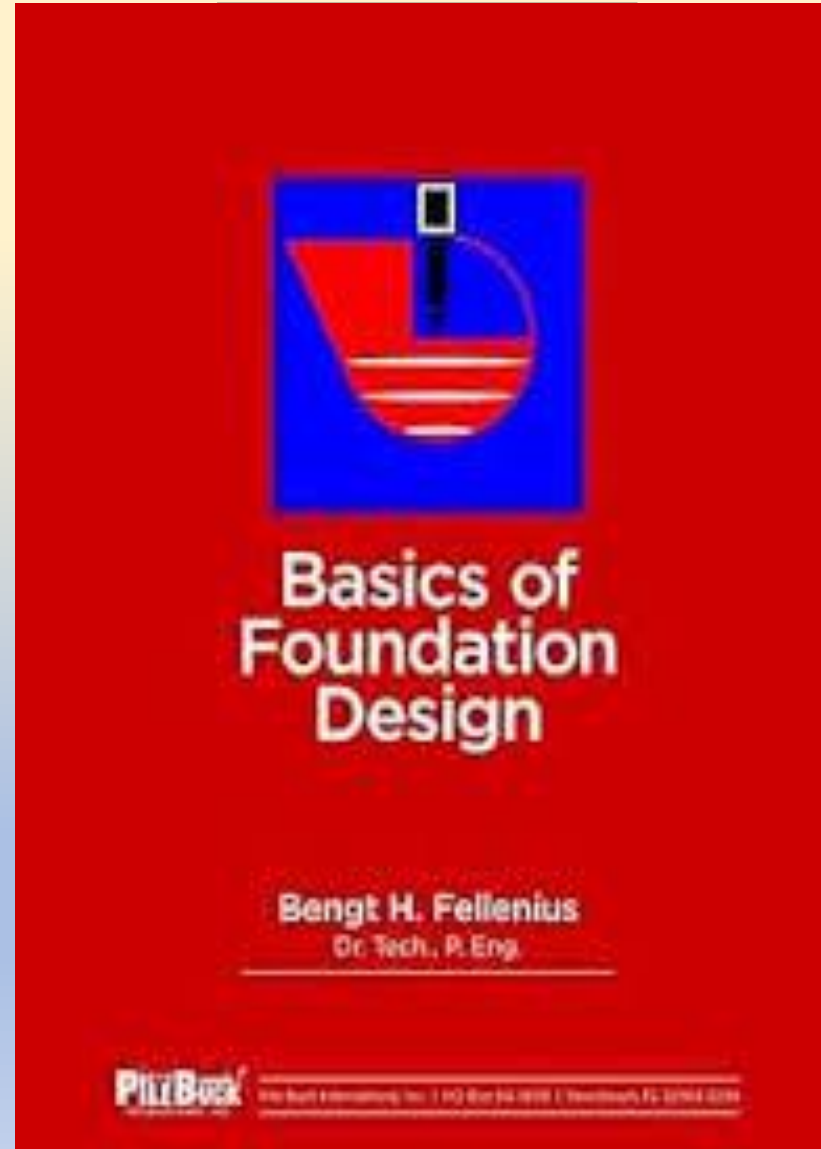
## CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

### Tipos de Carregamento

- “A interpretação da curva carga x deslocamento **deve ser baseada em alguma regra matemática** e gerar um valor de carga de ruptura repetível, que seja independente de relações de escala, julgamentos e capacidade de visão de um interprete individual.
- Existem métodos gráficos que dependem do julgamento individual e da escala do gráfico. Mudando-se a escala e a forma de análise, o valor da capacidade de carga também muda.
- A **interpretação** de uma prova de carga **pode ser influenciada por muitos fatores**, mas a maneira de desenhar não deve ser uma delas.
- Sem uma definição adequada, a interpretação torna-se um empreendimento sem sentido”.

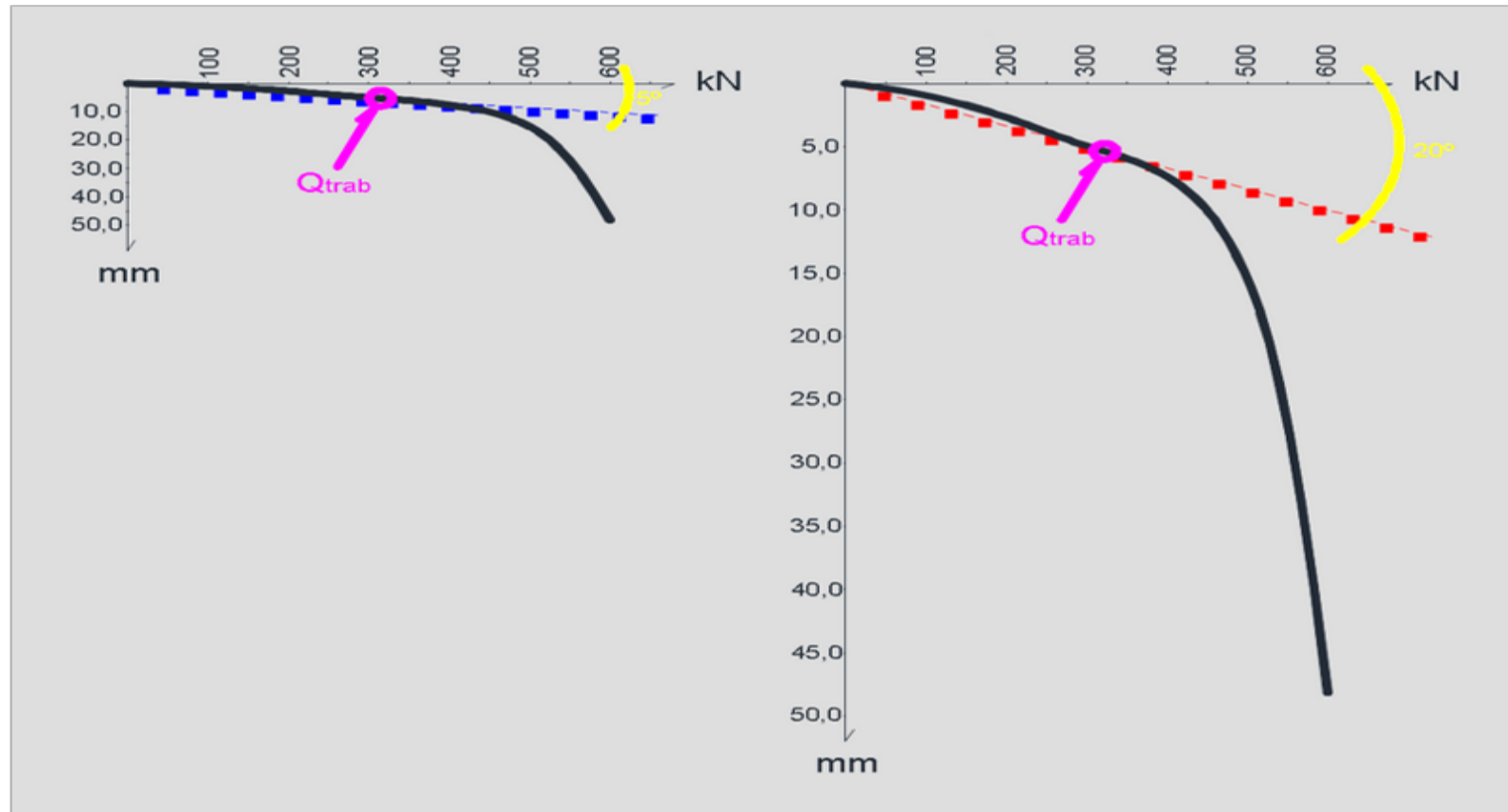
# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

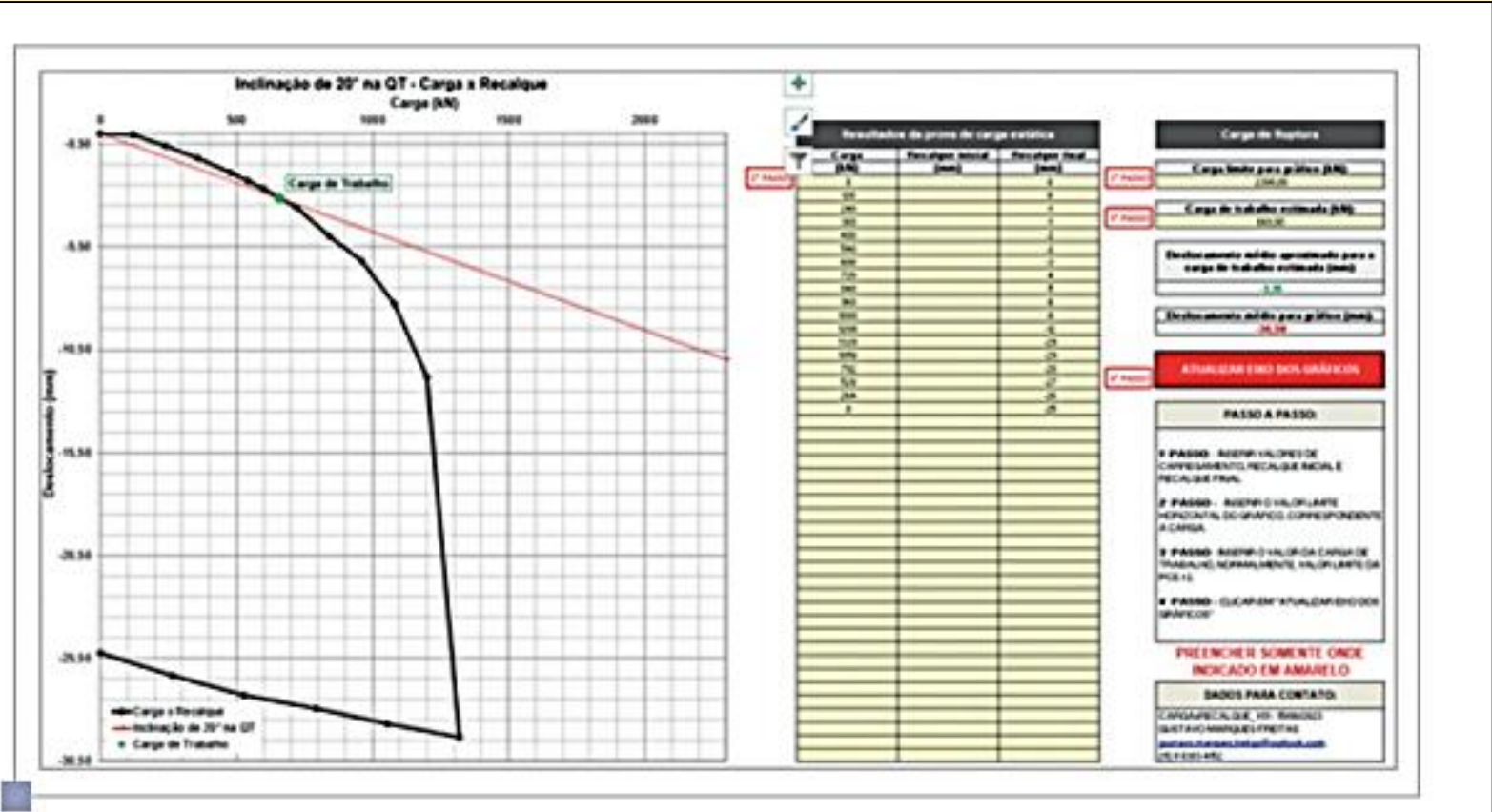


Mesma curva carga x deslocamento em escalas diferentes. A) inclinação de  $5^\circ$  na carga de trabalho. B) inclinação de 20% na carga de trabalho, como preconiza a Norma.



## CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

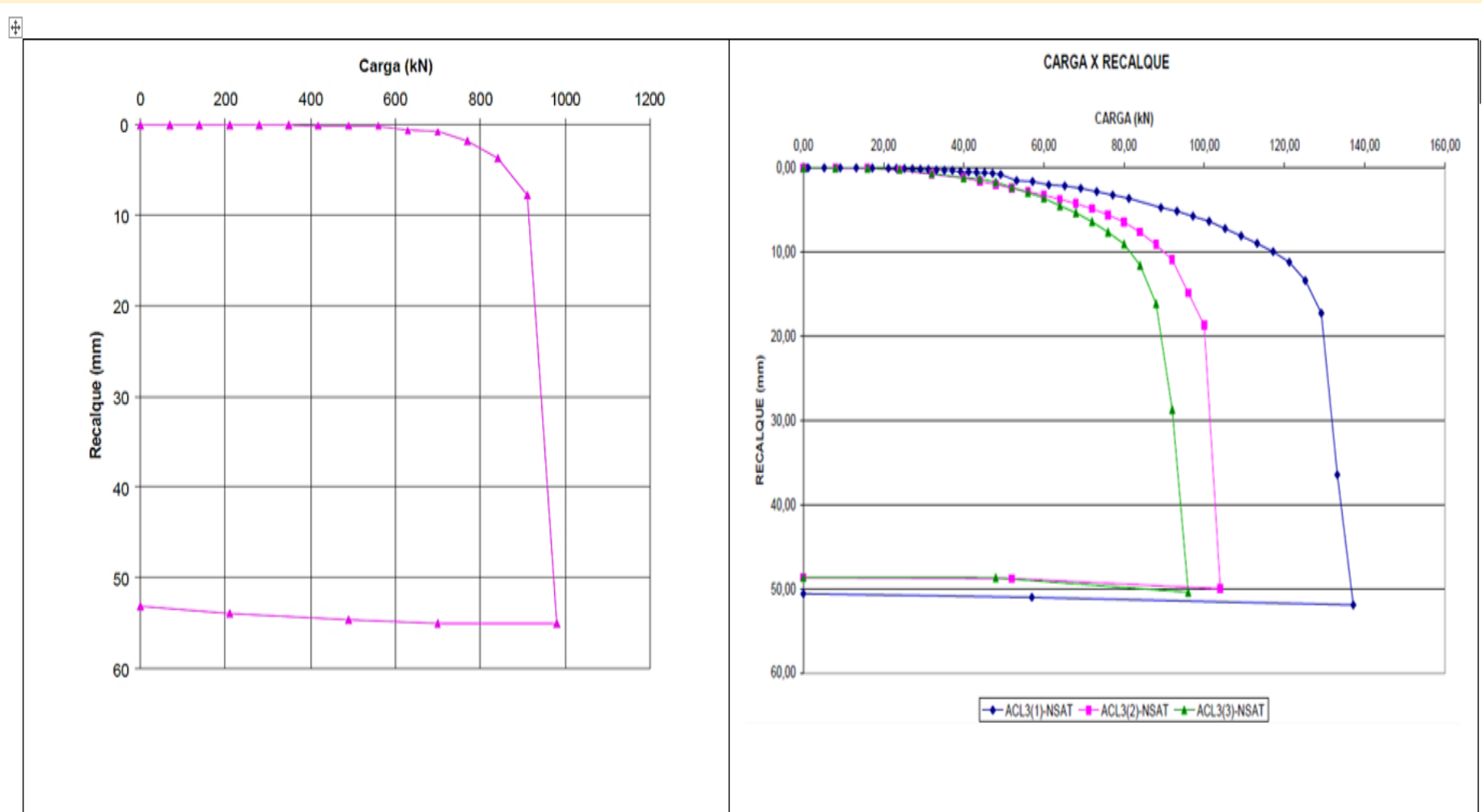
### Tipos de Carregamento



**Figura V.3C** — Curva carga x deslocamento com inclinação de  $20^\circ$ , obtida utilizando-se planilha *Excel* (FREITAS, 2023) (Disponível na pasta “Planilhas.Excel no link do Drive deste livro - <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1Ne5RFbIroK0lt7n-Sa-fXkoT-eWxL98YZ>).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

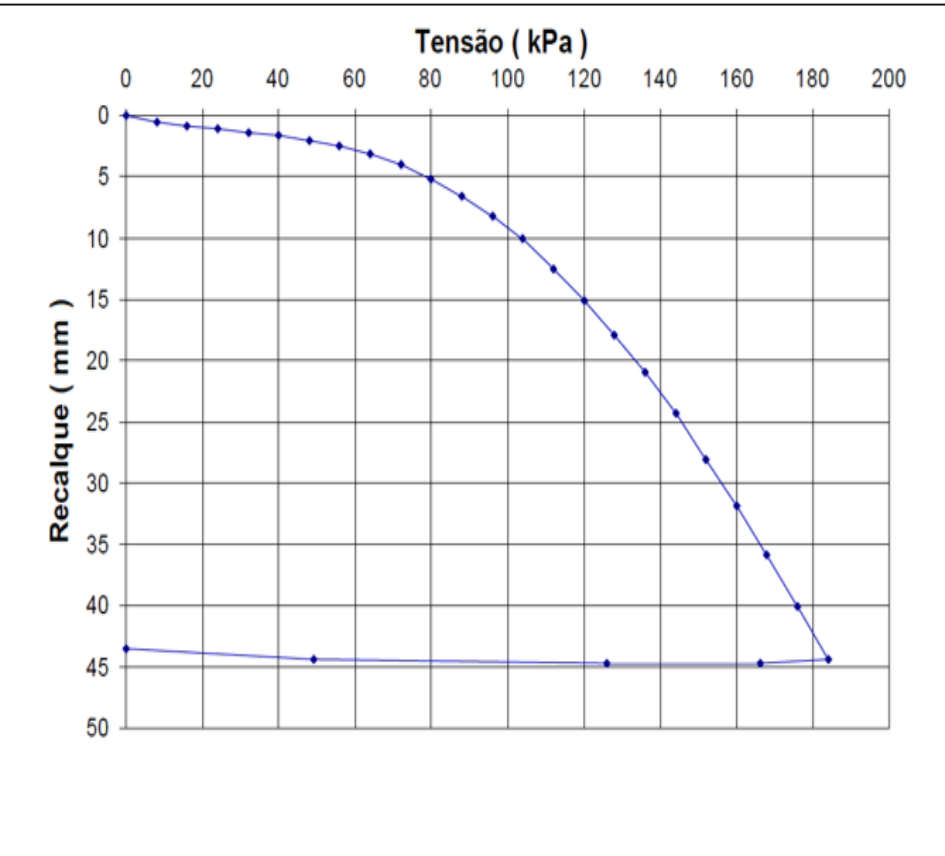
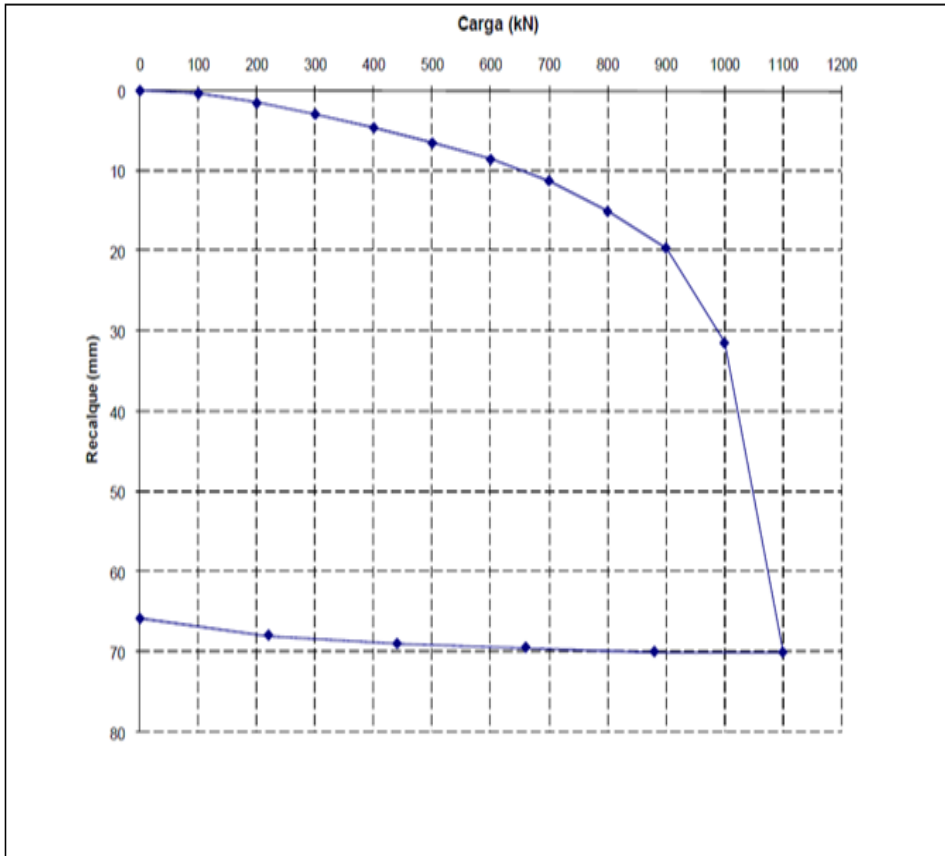
## Tipos de Carregamento



Ruptura nítida – A) Estaca Raiz – Campinas, SP (Nogueira, 2004). B) Estacas Apiloadas – Londrina, PR (Campos, 2005)

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



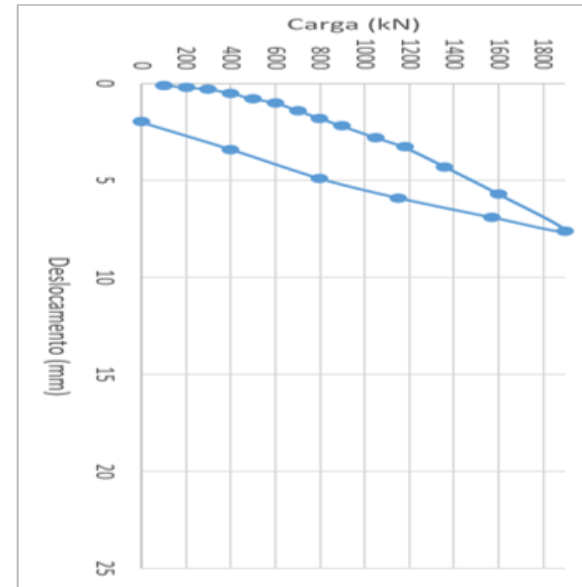
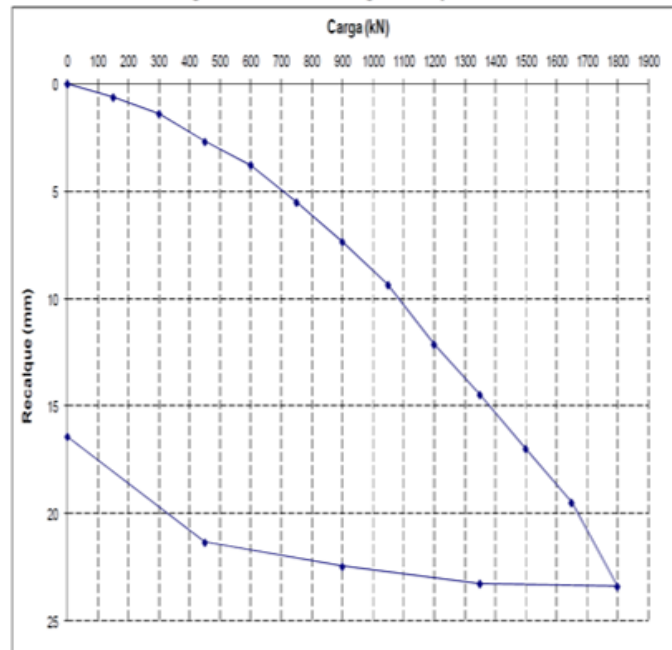
A) Ruptura física – Curva aberta tendendo a uma assíntota – Estaca Hélice Contínua (Alledi, 2013). B) Curva aberta – sem tendência a uma assíntota - Prova de carga em placa – São Carlos, SP (Macacari, 2001)

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

+

Figura 4.6 – Curva carga-recalque – EH5



A) Prova de carga em estaca hélice contínua ( $D=40\text{cm}$ ;  $L=16\text{m}$ ), com deslocamentos de  $24\text{mm}$ , onde não se caracteriza ruptura. Há a possibilidade de utilização de métodos de extrapolação da curva para previsão da carga de ruptura (Carla). B) – Prova de carga em estaca hélice contínua ( $D=40\text{cm}$ ;  $L=15\text{m}$ ), com pequenos deslocamentos ( $7,5\text{mm}$ ) onde não é possível prever por extrapolação a carga de ruptura. (Alledi, 2013).



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

- DESLOCAMENTOS MÍNIMOS NA PROVA DE CARGA

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

Figura 4.28 – Atrito lateral unitário médio ao longo do fuste em função do deslocamento médio – EH2

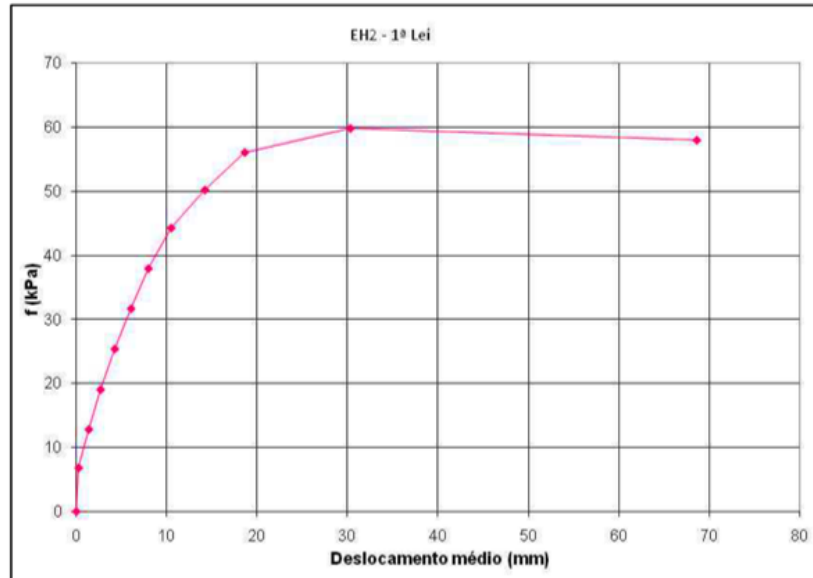
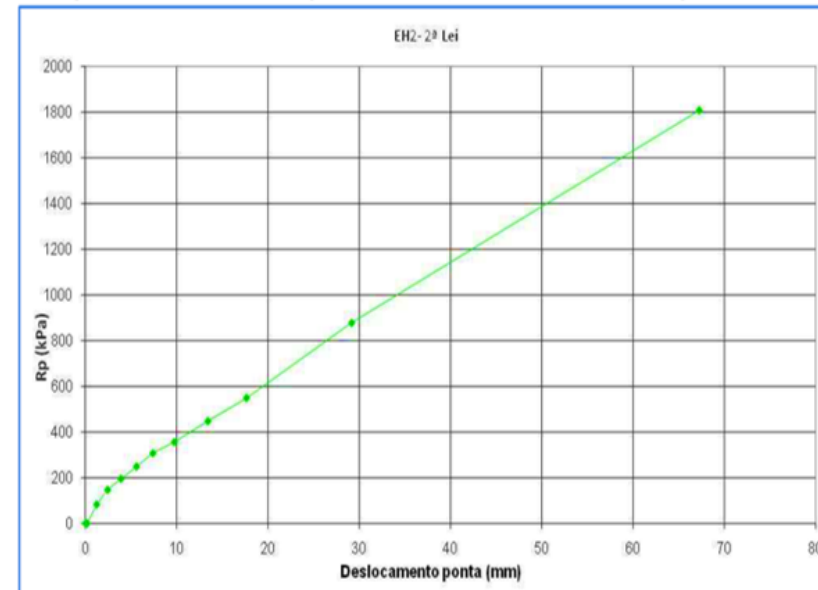


Figura 4.34 – Reação de ponta em função do deslocamento ponta – EH2



Mobilização de atrito lateral e de ponta em uma estaca hélice contínua instrumentada ( $D = 40\text{cm}$ ;  $L = 12\text{m}$ ) (Alledi, 2013).

Dados de Bibliografia:

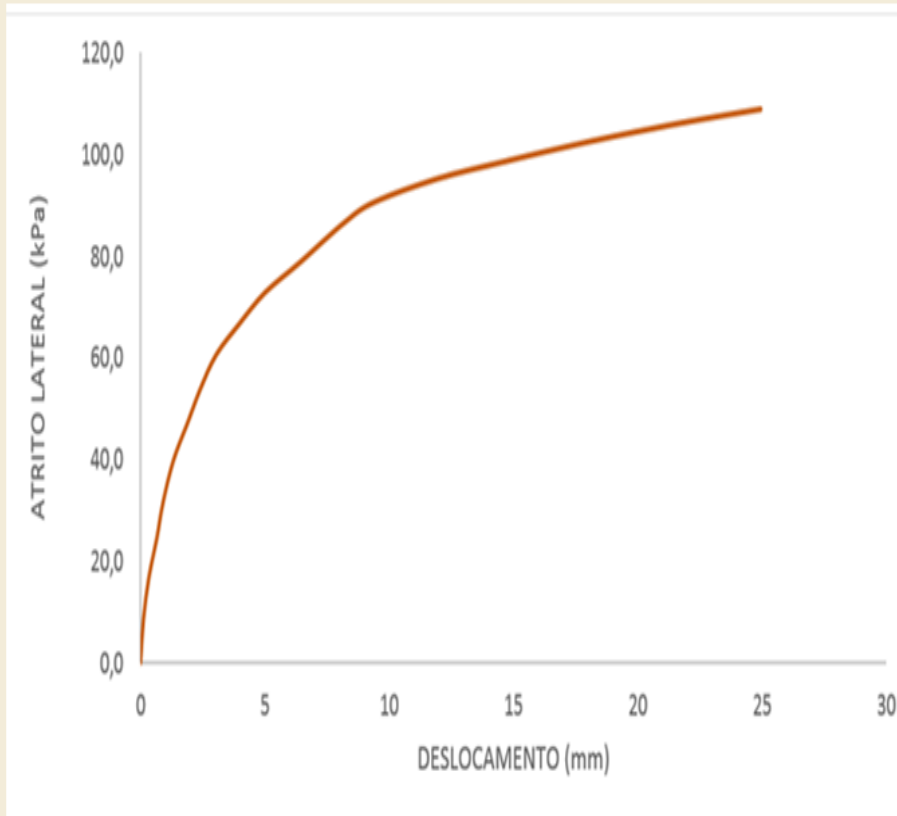
**Saturação do Atrito Lateral** → até 30 mm de deslocamento do fuste

**Saturação da Resistência de Ponta** → Estaca Cravada → deslocamento da ponta  $\geq 10\%$  do diâmetro

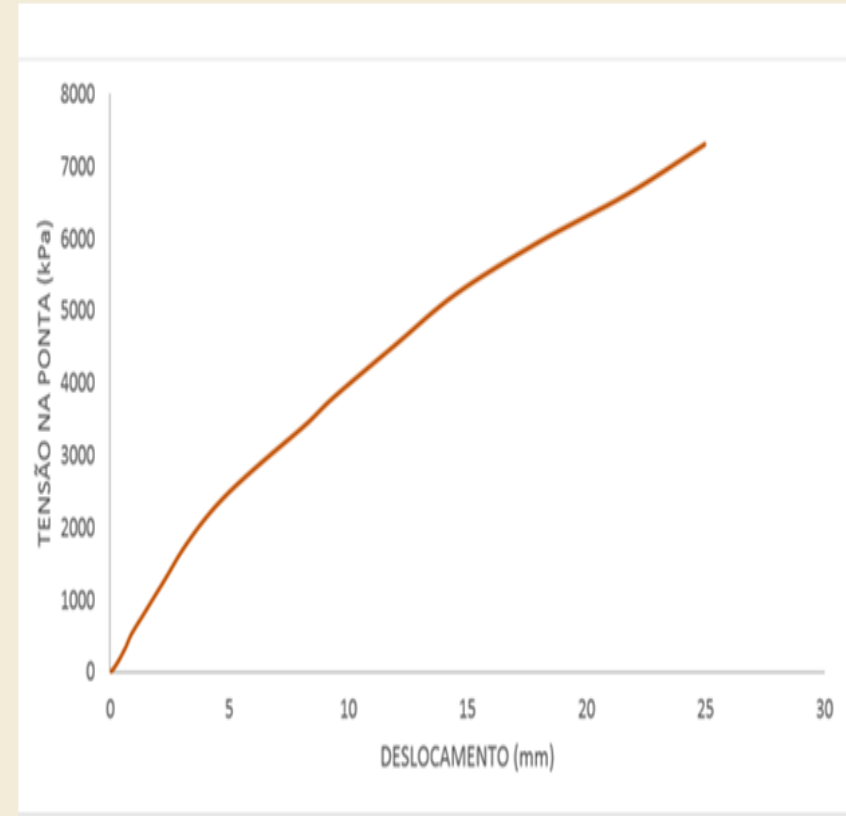
**Saturação da Resistência de Ponta** → Estaca Escavada → deslocamento da ponta  $\geq 30\%$  do diâmetro

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



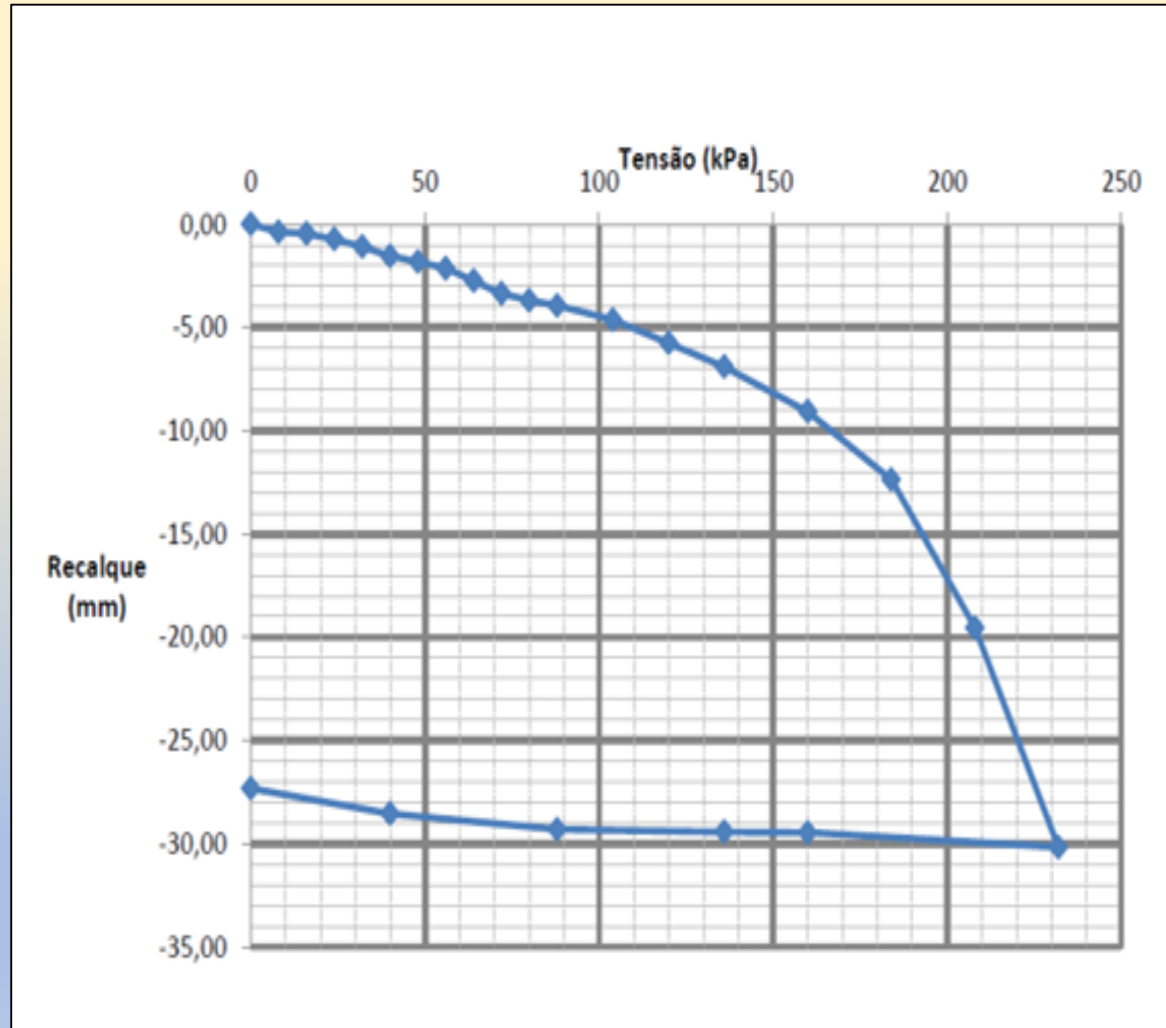
**Figura 4.22** – Parcela de atrito lateral médio em função do deslocamento médio – PCE-02



**Figura 4.26** – Parcela de resistência de ponta em função do deslocamento – PCE-02

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

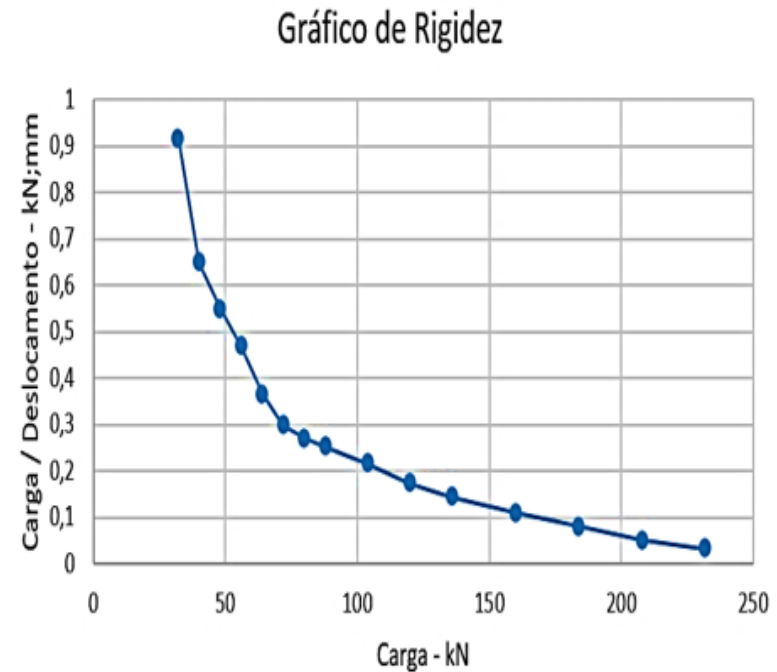
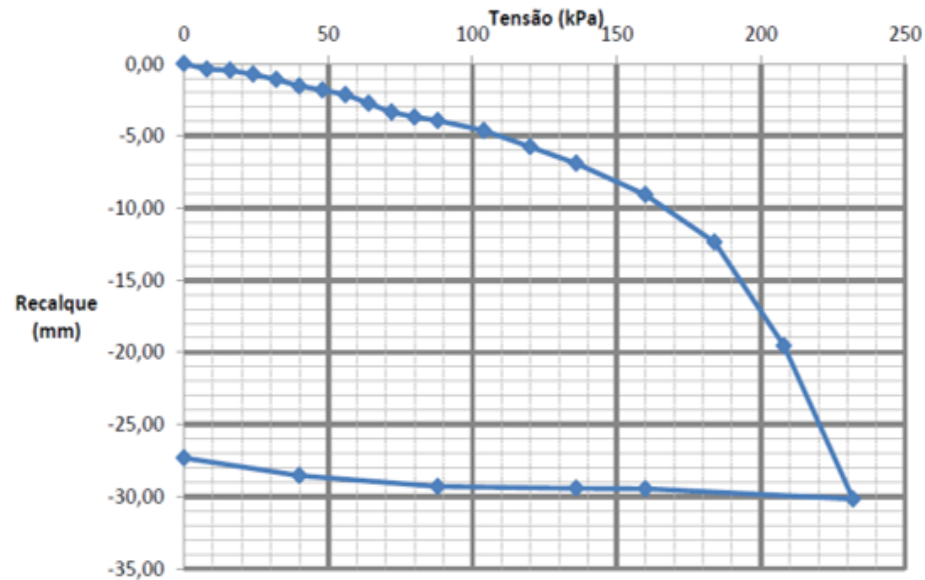
## Tipos de Carregamento





# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

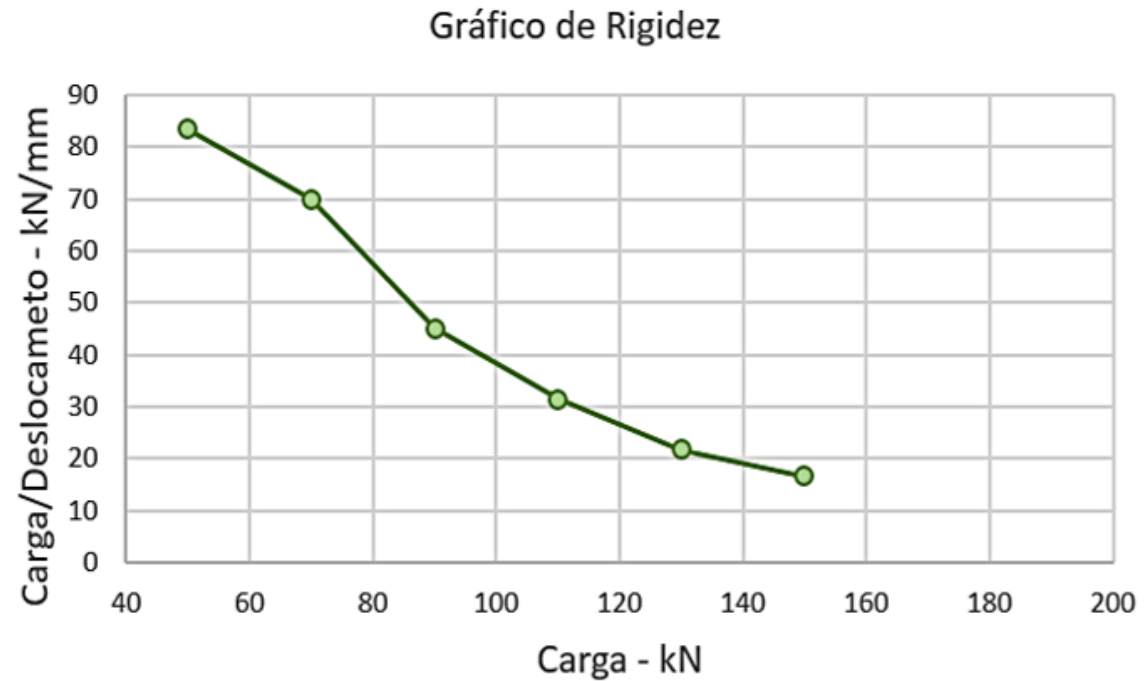
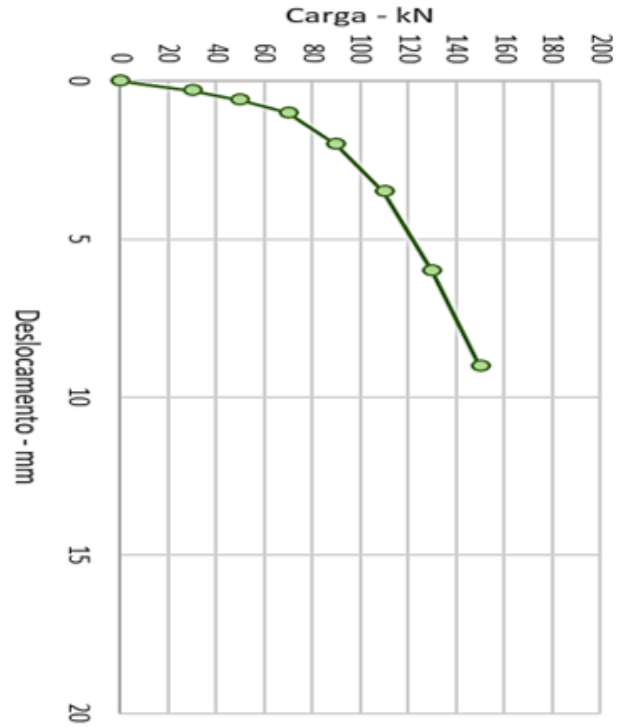
## Tipos de Carregamento



Ensaio em Placa – Campinas, SP. A) curva carga x recalque não indicando ruptura. B) Curva de rigidez indicando tendência a rigidez nula (Fonte Jr, 2016).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

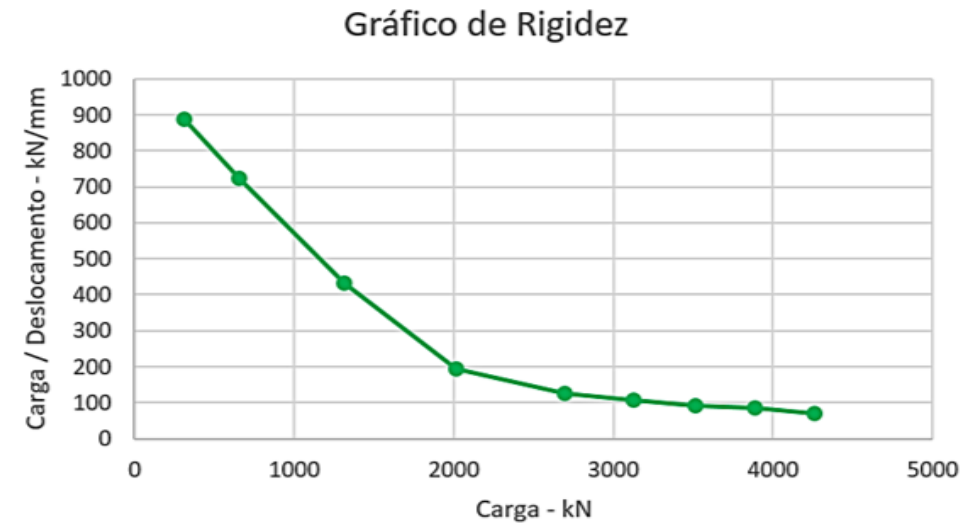
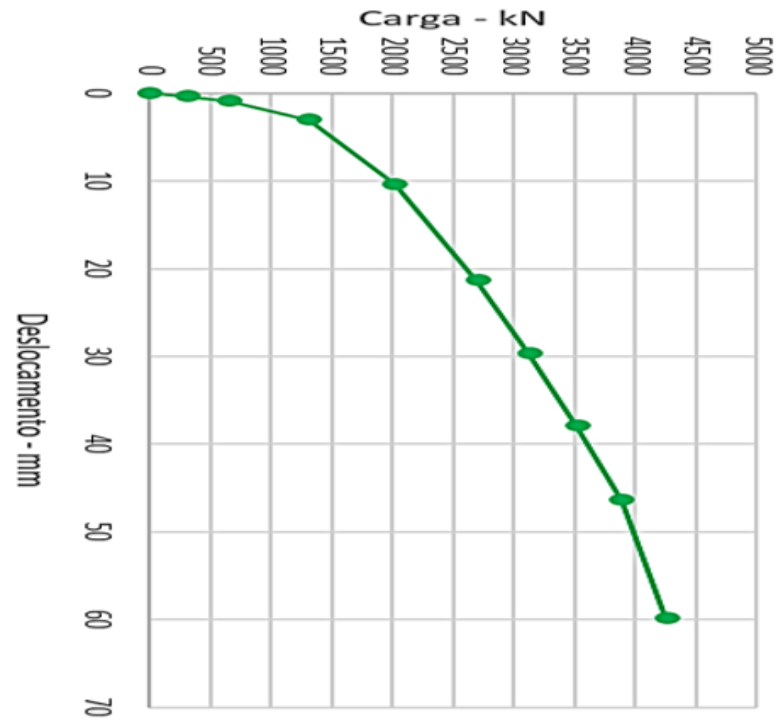
## Tipos de Carregamento



Prova de carga com deslocamento de 9mm. Não é possível observar, visualmente, nenhuma tendência que indique a carga de ruptura. Estaca escavada, D= 20cm; L = 5m. Ilha Solteira, SP.

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

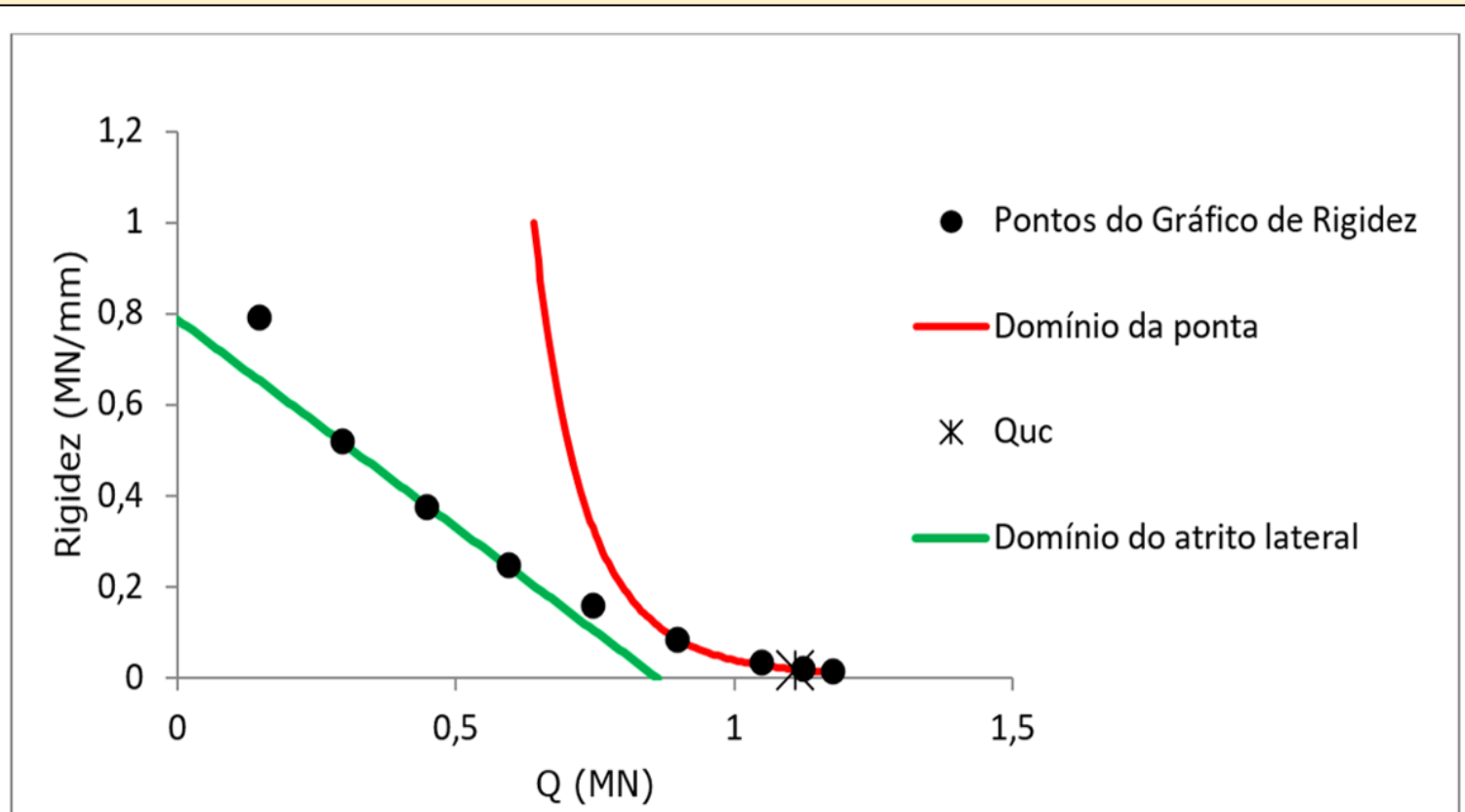
## Tipos de Carregamento



Ensaio em Estação – D=1,0m; L=20m – Araguari-SC (Nienov,2016). A) Curva carga x recalque não indicando ruptura. B) Curva de rigidez indicando ainda necessidade de certo deslocamento para se aproximar de rigidez nula.

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

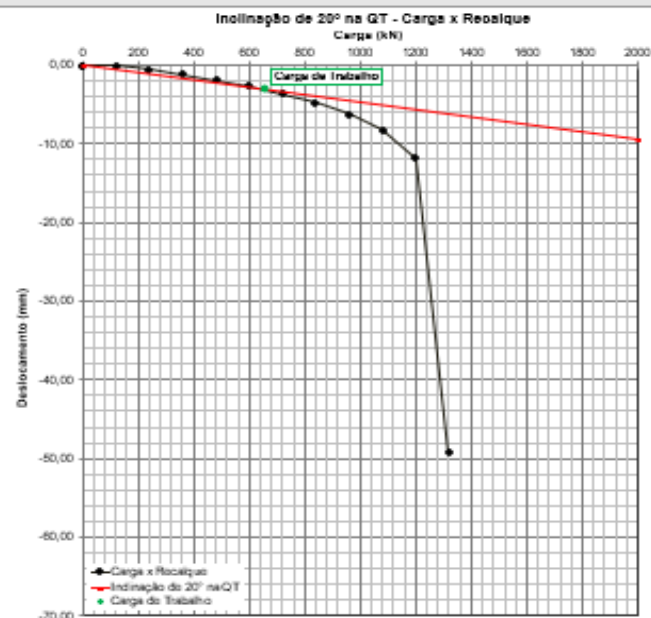


Décourt – **Método de Rigidez**.  $Q/d$  (MN x mm) x  $Q$  (MN).  $Q_{uc}$  ( $Q_{RC}$ ) Carga última convencionalizada ou carga de ruptura convencionalizada. Domínio de ponta e atrito lateral.



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



**RESULTADOS DA PROVA DE CARGA ESTATICA**

- Os dados da carga foram os seguintes no formato seguinte.  
- Os dados de deflexão foram os seguintes no formato seguinte.  
- Rigidez = Carga / Deslocamento

Carga (kN)	Deslocamento (mm)	Rigidez (kN/mm)
0	0,00	0,00
128	-0,05	2560,00
256	-0,10	2560,00
384	-0,15	2560,00
512	-0,20	2560,00
640	-0,25	2560,00
768	-0,30	2560,00
896	-0,35	2560,00
1024	-0,40	2560,00
1152	-0,45	2560,00
1280	-0,50	2560,00
1408	-0,55	2560,00
1536	-0,60	2560,00
1664	-0,65	2560,00
1792	-0,70	2560,00
1920	-0,75	2560,00
2048	-0,80	2560,00
2176	-0,85	2560,00
2304	-0,90	2560,00
2432	-0,95	2560,00
2560	-1,00	2560,00

**CARGA DE REPTURA**

Carga máxima suportada (kN): 2560,00

Carga de ruptura (kN): 2560,00

Deslocamento máximo suportado (mm): -1,00

Deslocamento de ruptura (mm): -1,00

**ATUALIZAR END. DOS GRÁFICOS**

**PASSO A PASSO:**

- 1º PASSO - IDENTIFICAR O COMPORTAMENTO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO.
- 2º PASSO - IDENTIFICAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO.
- 3º PASSO - IDENTIFICAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO.
- 4º PASSO - IDENTIFICAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO, SELECIONAR O TIPO DE DEFORMAÇÃO.

**ORIENTAÇÕES**

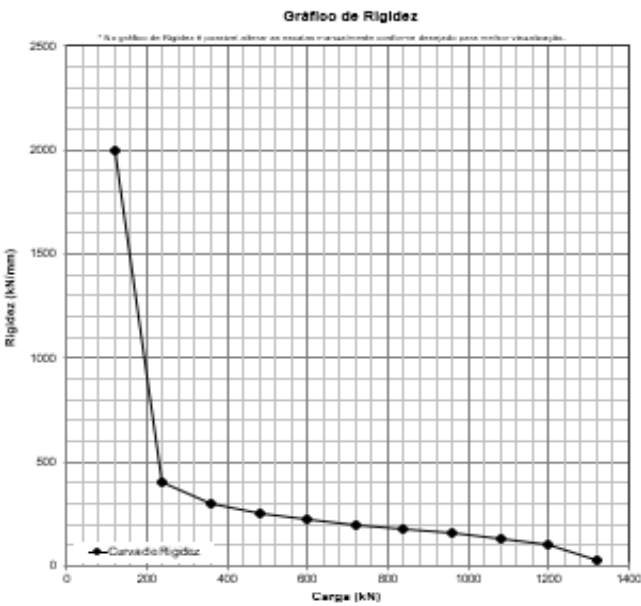
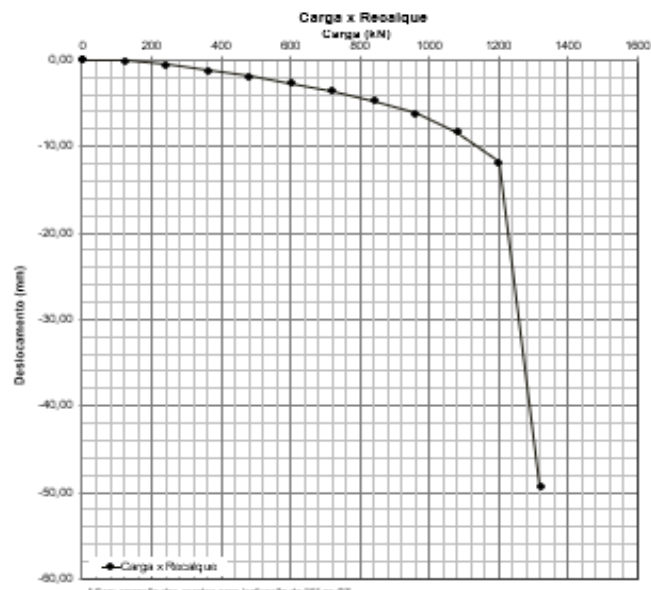
1º É PRECISO ATENÇÃO A ORIENTAÇÃO DA CARGA E A ORIENTAÇÃO DA CARGA E A ORIENTAÇÃO DA CARGA.

**DADOS PARA CONTATO:**

RESPONSÁVEL: [Nome do Responsável]

E-MAIL: [E-mail]

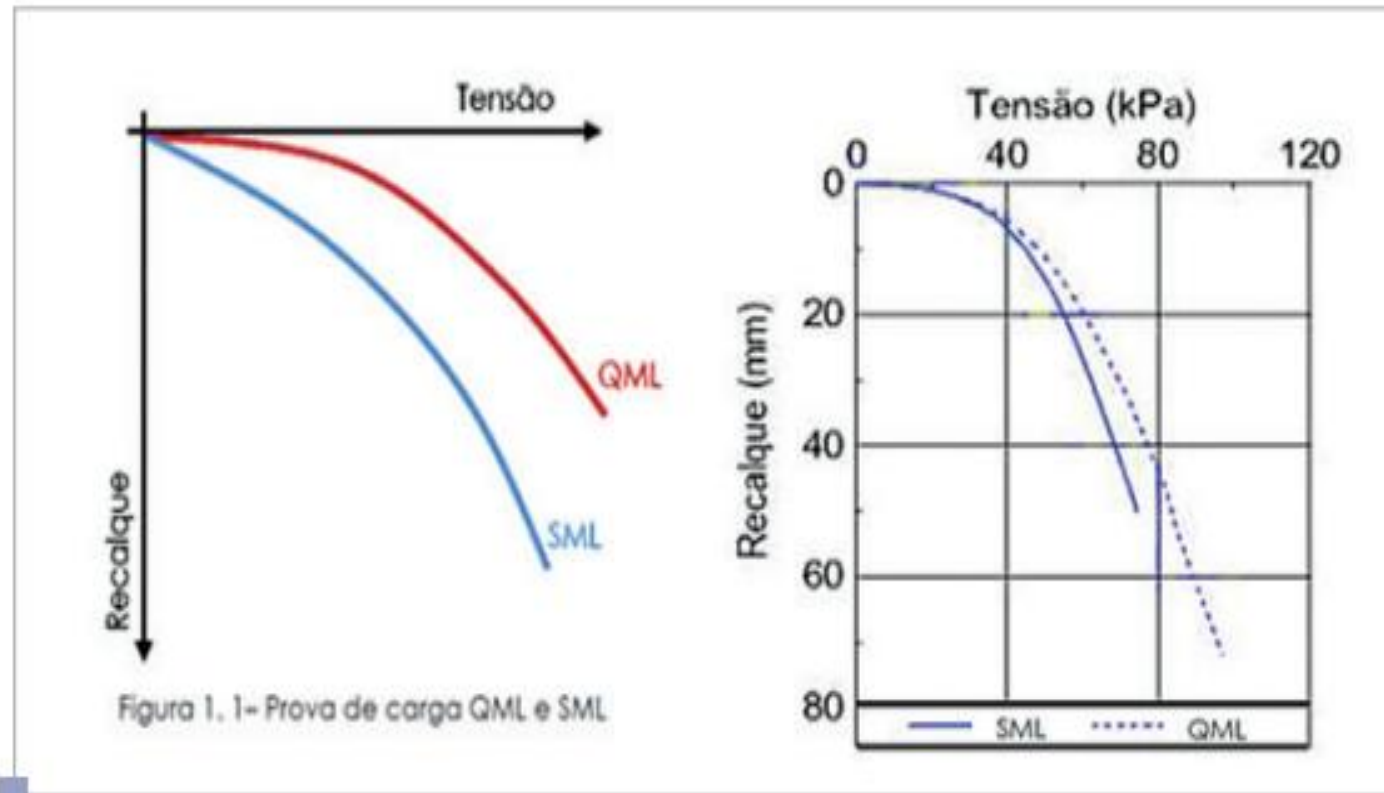
TELEFONE: [Telefone]



\* Sem correção das escalas para inclinação de 20° na QT  
\*\* Neste gráfico é possível obter os dados manuscritos conforme desejado para melhor visualização.

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

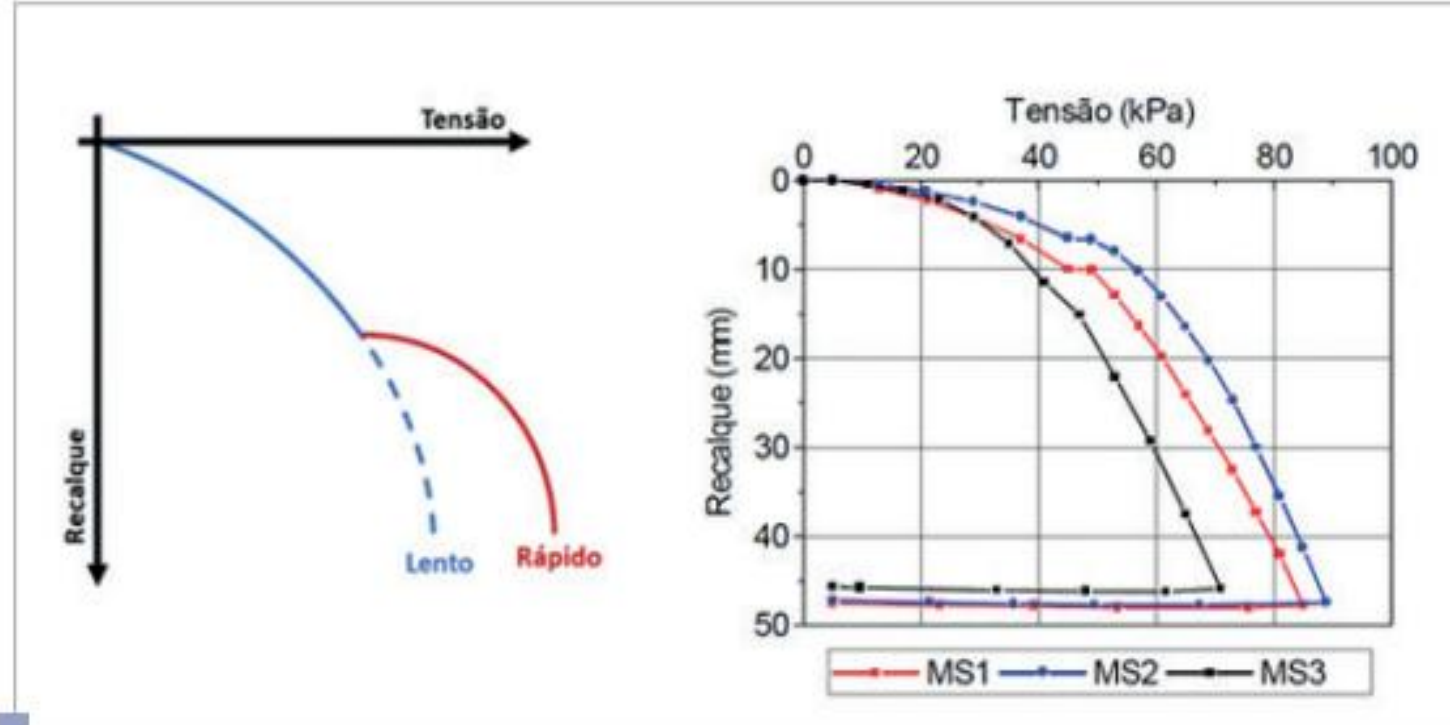
## Tipos de Carregamento



**Figura V.6A** — Provas de carga lenta (SML) e rápida (QML). Prova de carga em placa. São Carlos, SP (COSTA, 1999).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



**Figura V.6B** — Prova de carga com carregamento misto. Descontinuidade da curva a partir do carregamento rápido. Prova de carga com carregamento misto em placa (COSTA, 1999).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

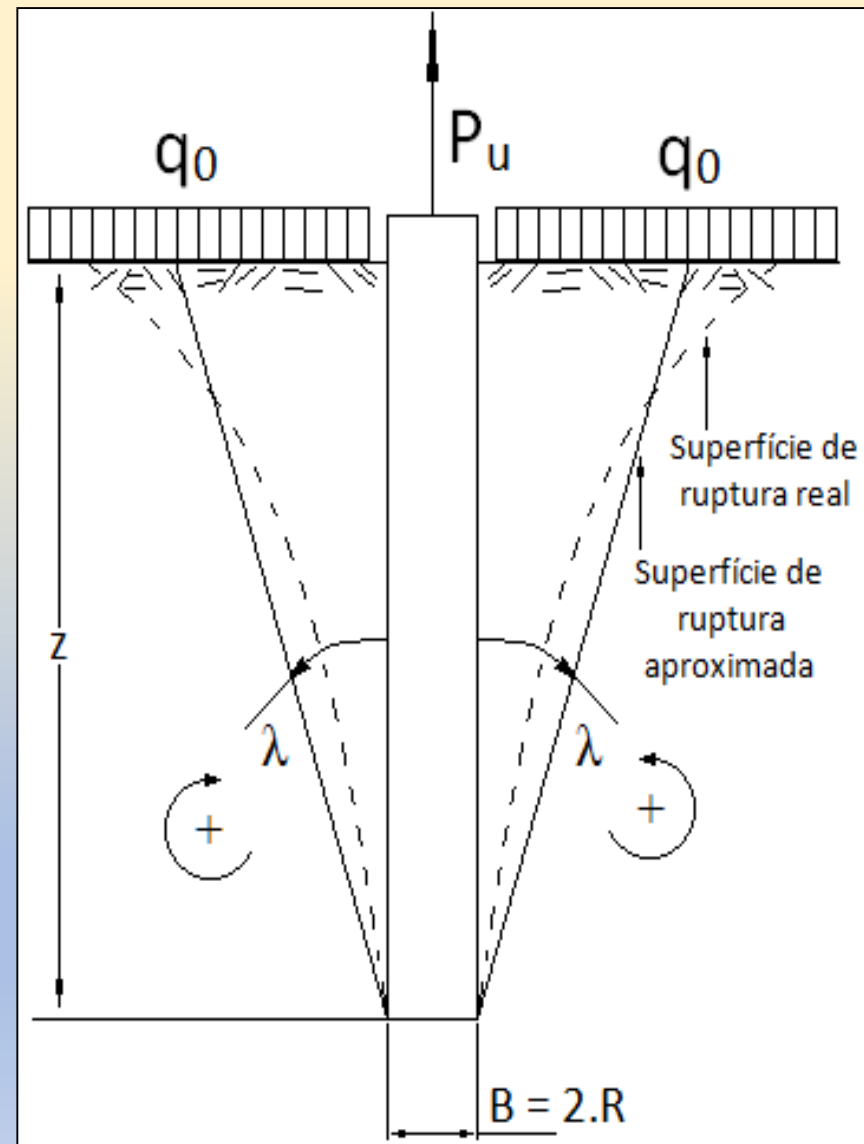
## Tipos de Carregamento





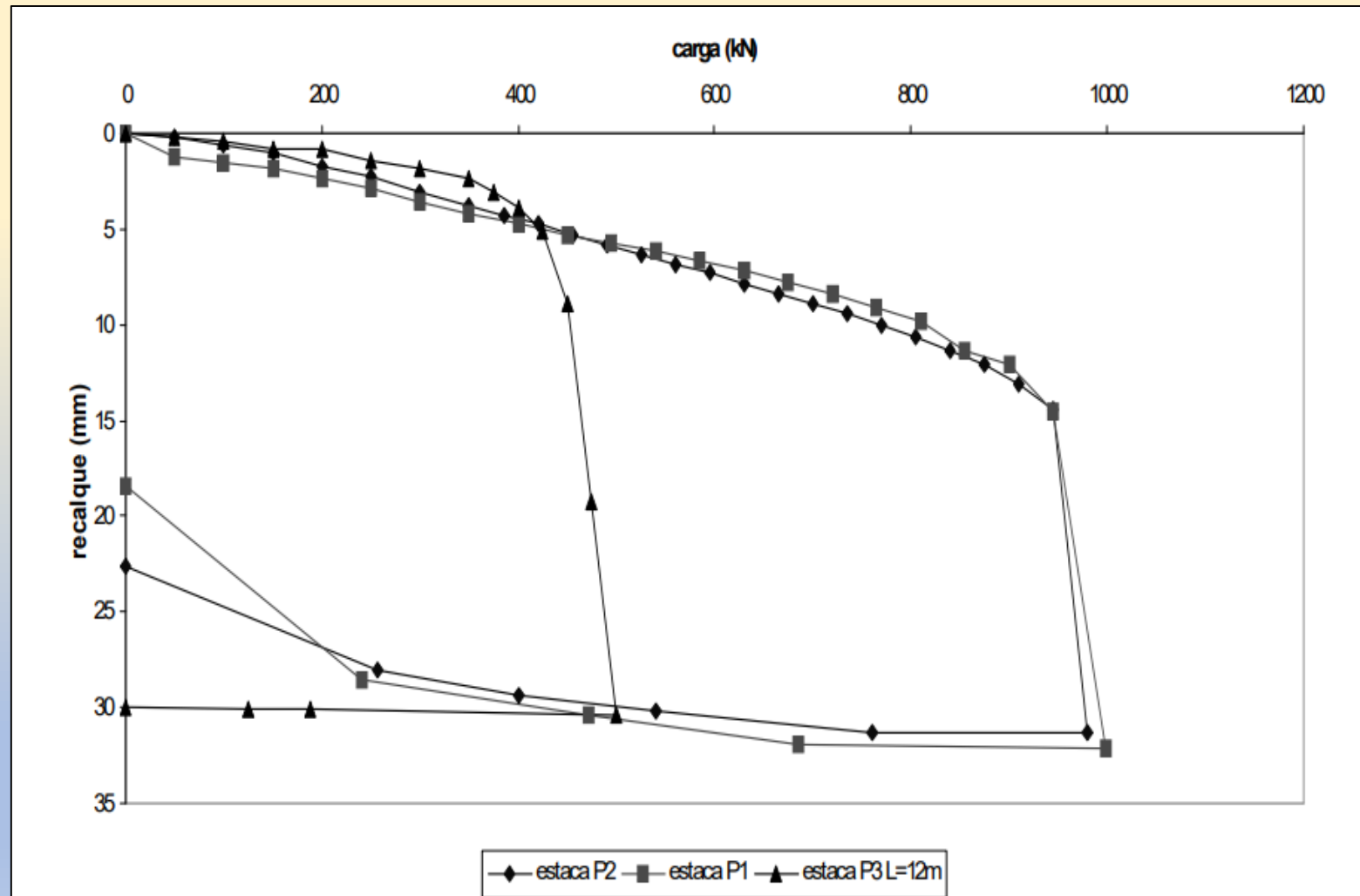
# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



## CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

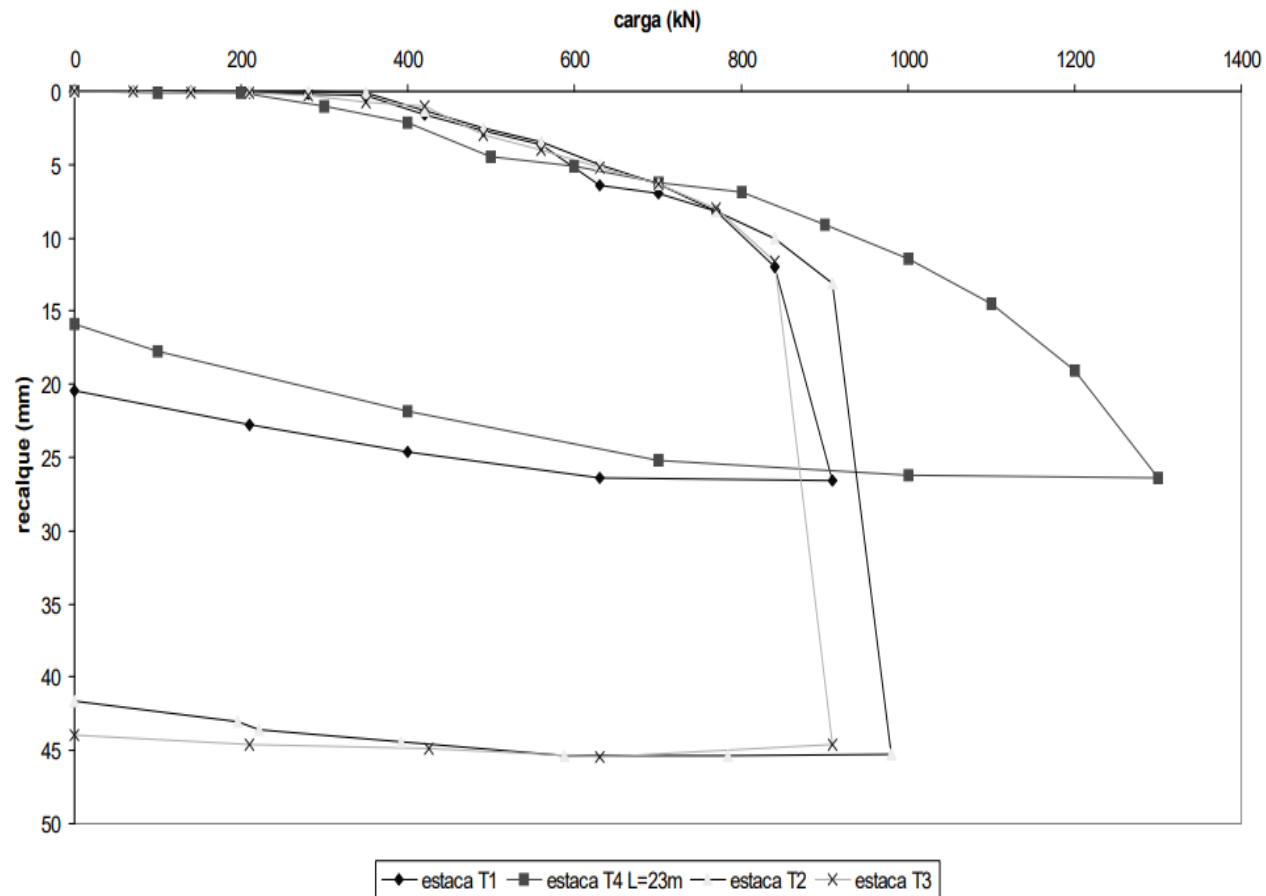
### Tipos de Carregamento



**Figura 3.14.** Curvas carga x deslocamento obtidas para as estacas metálicas perfil I.

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



**Figura 3.15.** Curvas carga x deslocamento obtidas para estacas raiz.

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

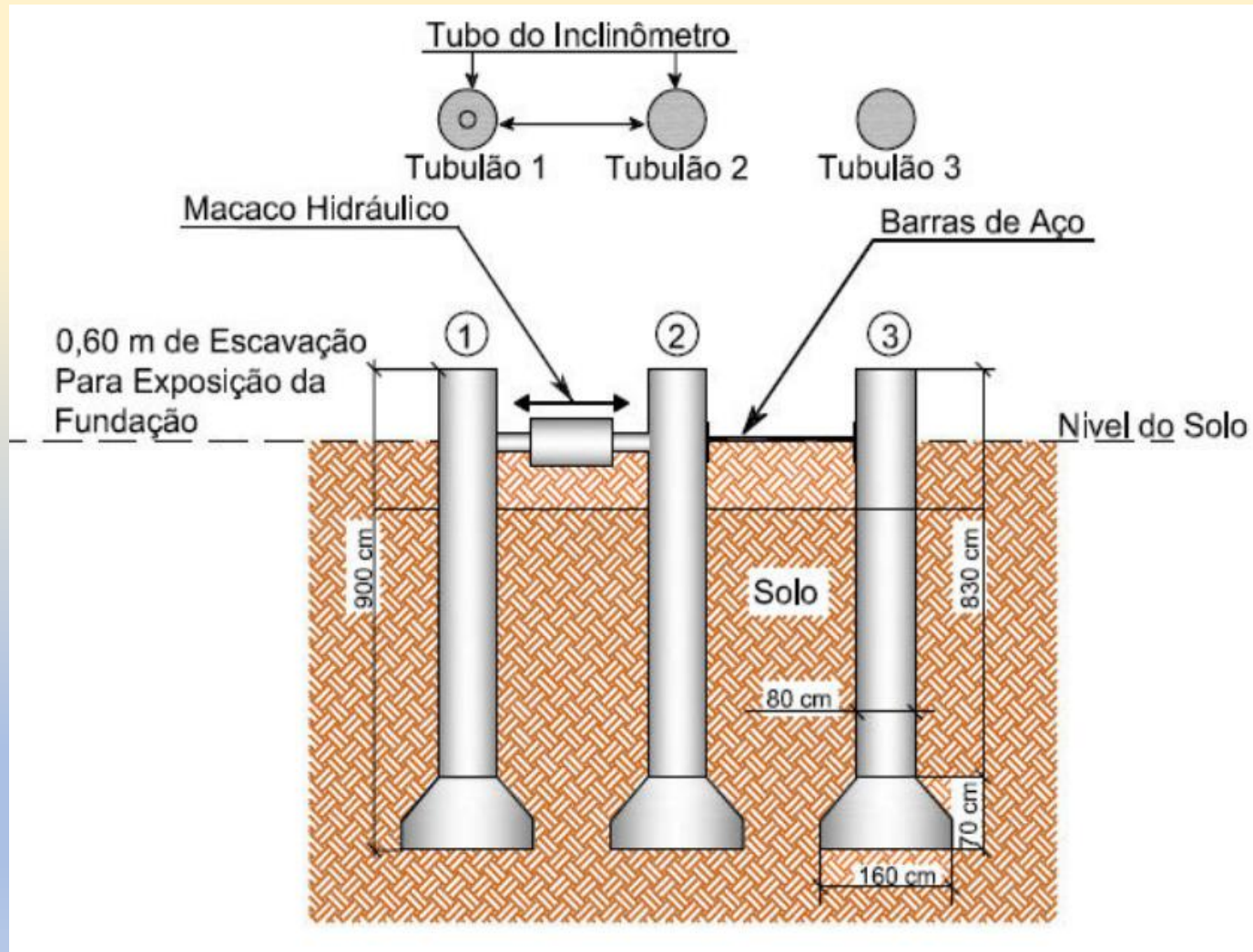
## Tipos de Carregamento





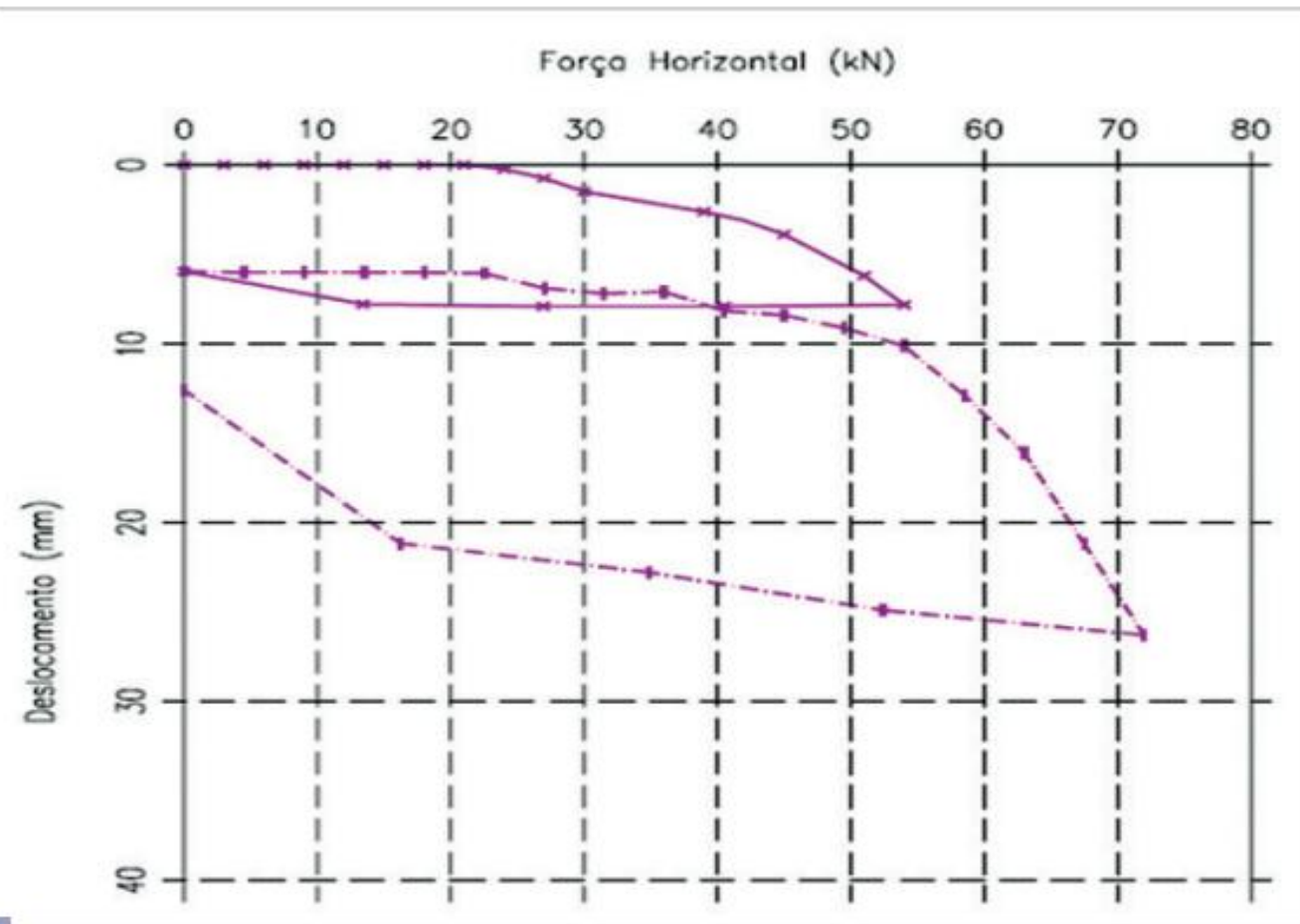
# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

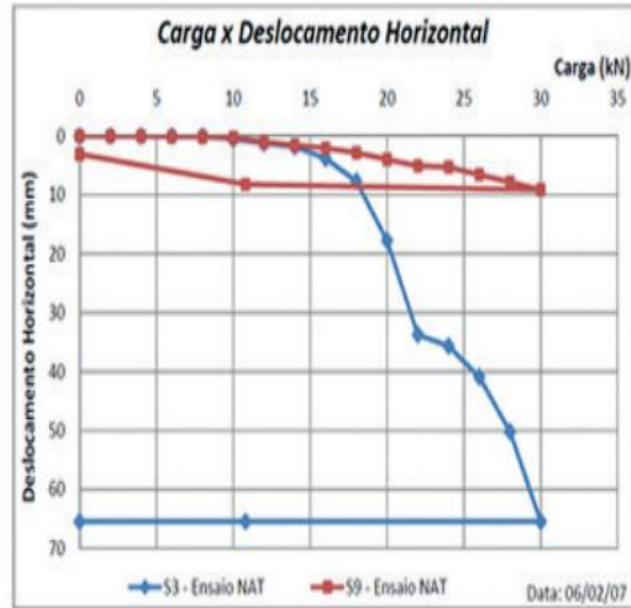
## Tipos de Carregamento



**Figura V.24B** — PC Horizontal – Estaca escavada –  $D = 40 \text{ cm}$  –  $L = 12 \text{ m}$  – Unicamp (ZAMMATARO, 2007).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



**Figura V.25** — PC Horizontal – Estaca Strauss –  $D = 32 \text{ cm}$  –  $L = 12 \text{ m}$  – Londrina/PR – A) Descontinuidade da curva, indicando ruptura do elemento estrutural. B) Ruptura a 70 cm de profundidade. (ALMEIDA, 2008).



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

- Momento fletor máximo (ocorre na profundidade de  $z = 1,32 T$ ).

$$M_{\text{máx}} = 0,79 HT$$

em que:

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{\eta_h}}$$

As linhas de estado ao longo da estaca estão indicadas na Fig. 4.13. Por essas linhas de estado, verifica-se que, para se considerar a estaca do tipo longa, a mesma deverá ter um comprimento  $l \geq 4T$ . (Para aplicação, ver 1º Exercício.)

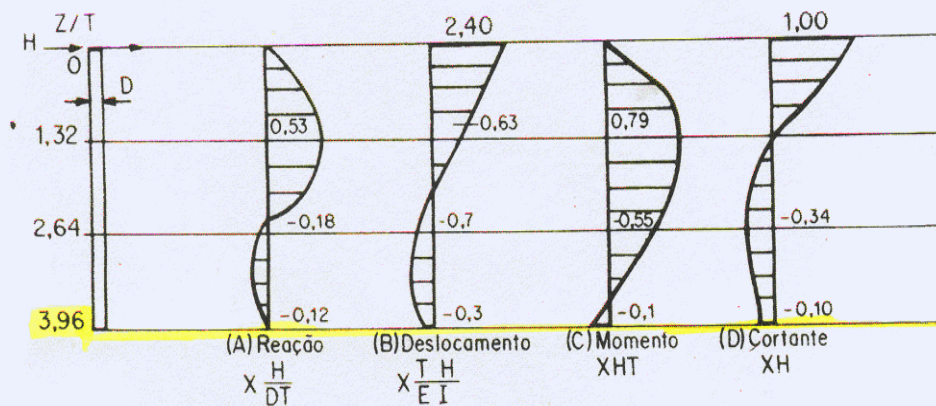
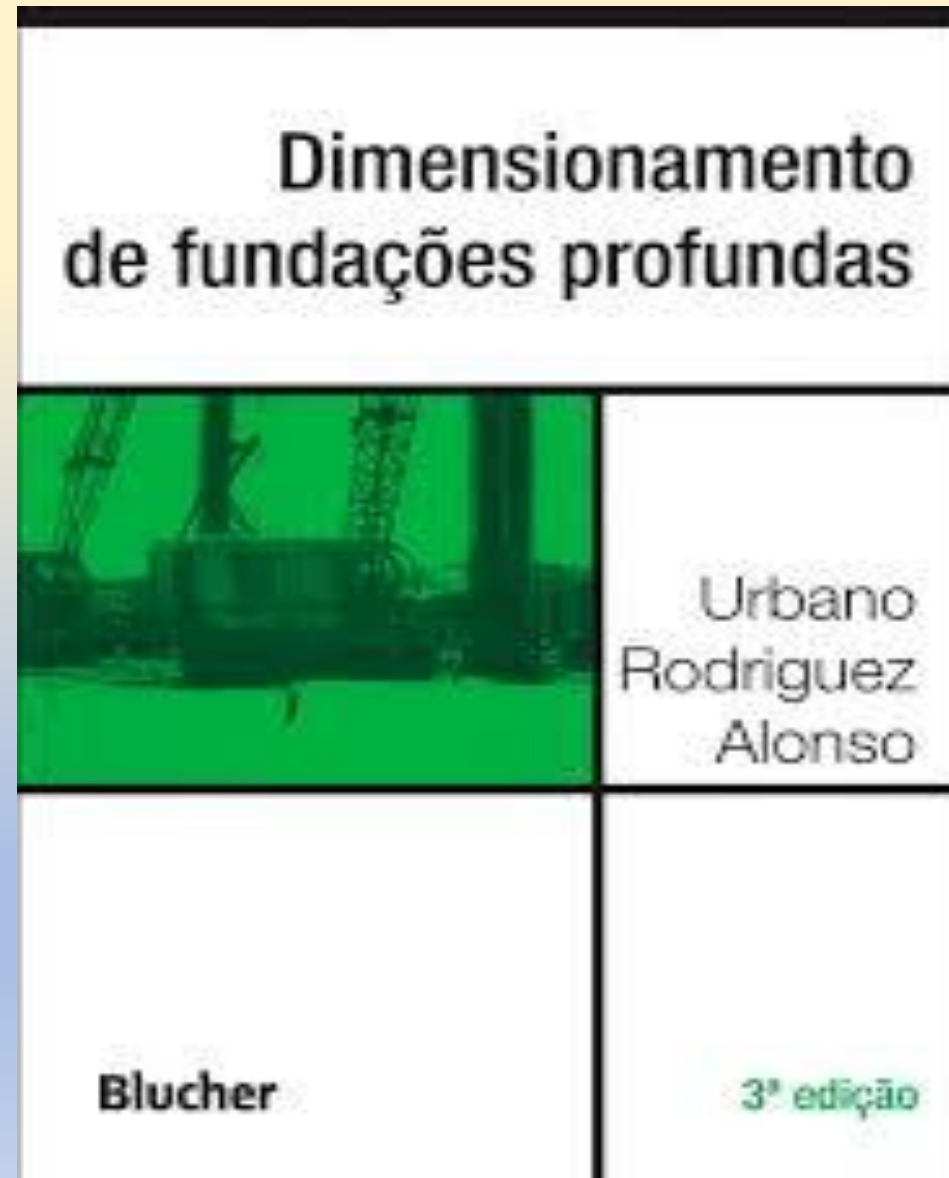


Figura 4.13 - Linhas de estado propostas por Miche

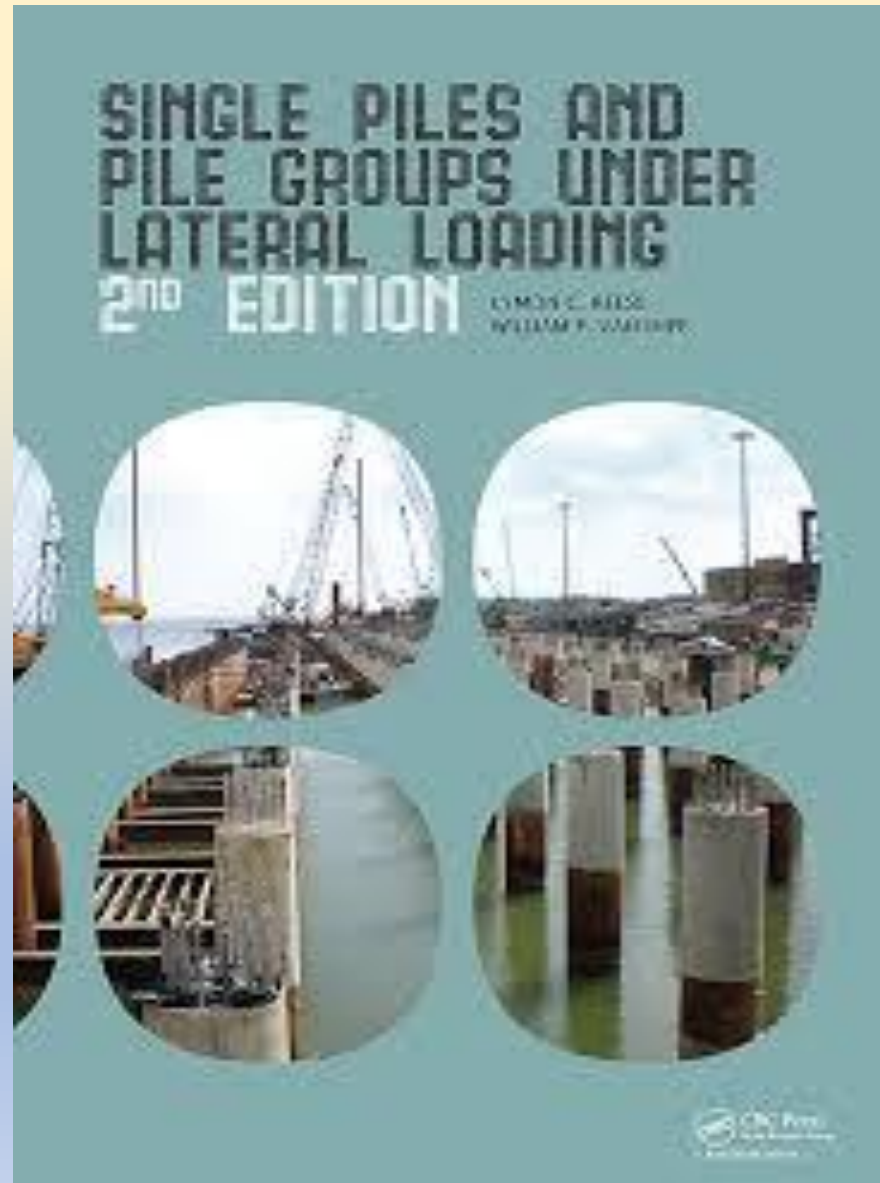
# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento





## CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

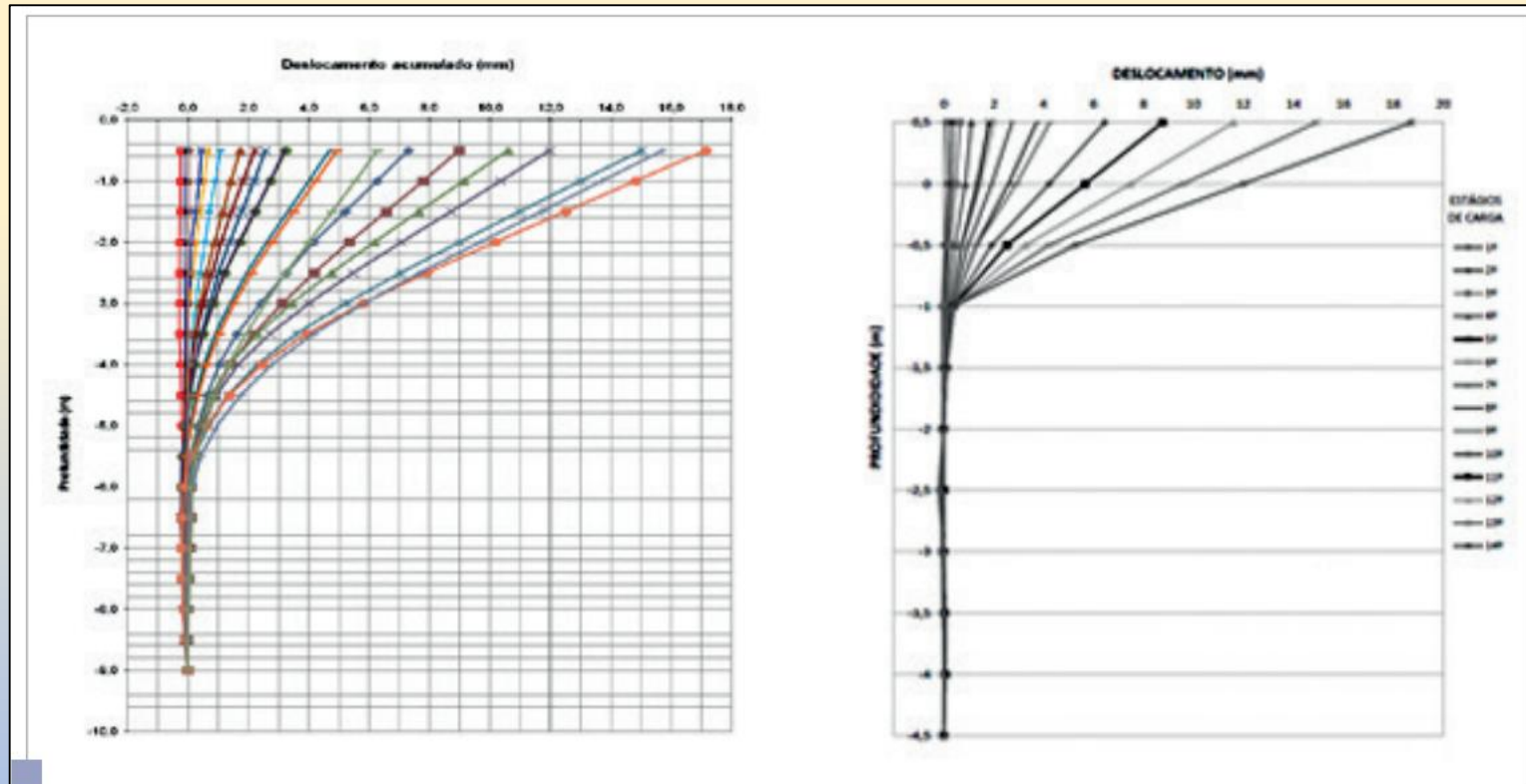
### Tipos de Carregamento



**Figura V.30** — Relativo à Figura V.29. Inclínômetro. Tubo guia para inclínômetro instalado na estaca antes da concretagem (MARZOLA, 2016).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

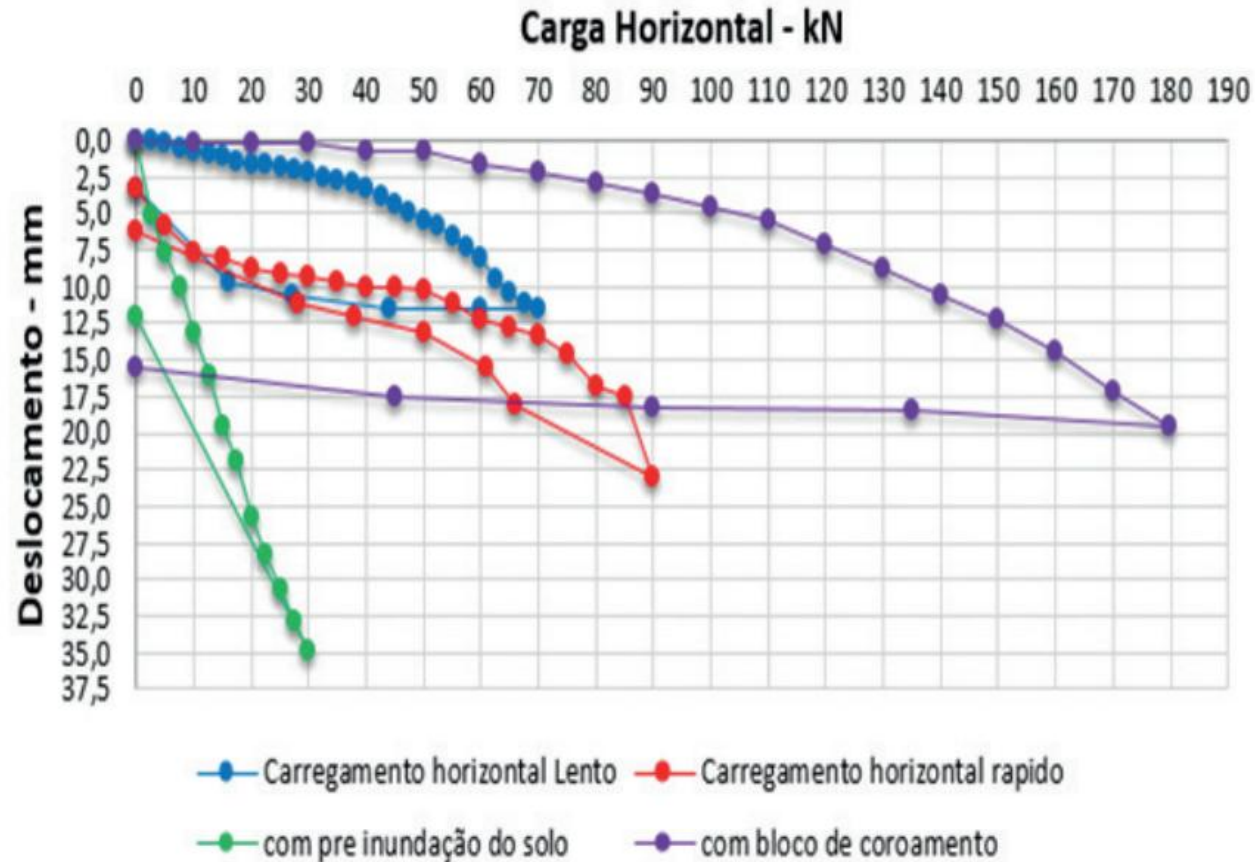
## Tipos de Carregamento



**Figura V.29** — Deslocamentos horizontais em profundidade, obtidos com utilização de inclinômetro. A) Tubulão, D = 80 cm, 9 m de profundidade (KASSOUF, 2012). B) Estaca escavada, D = 30 cm, 5 m de profundidade (MARZOLA, 2016). Campinas/ SP. Argila siltosa. Porosidade média: 63%.  $SPT_{MÉDIO} = 4$  (até 5 m).

# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento

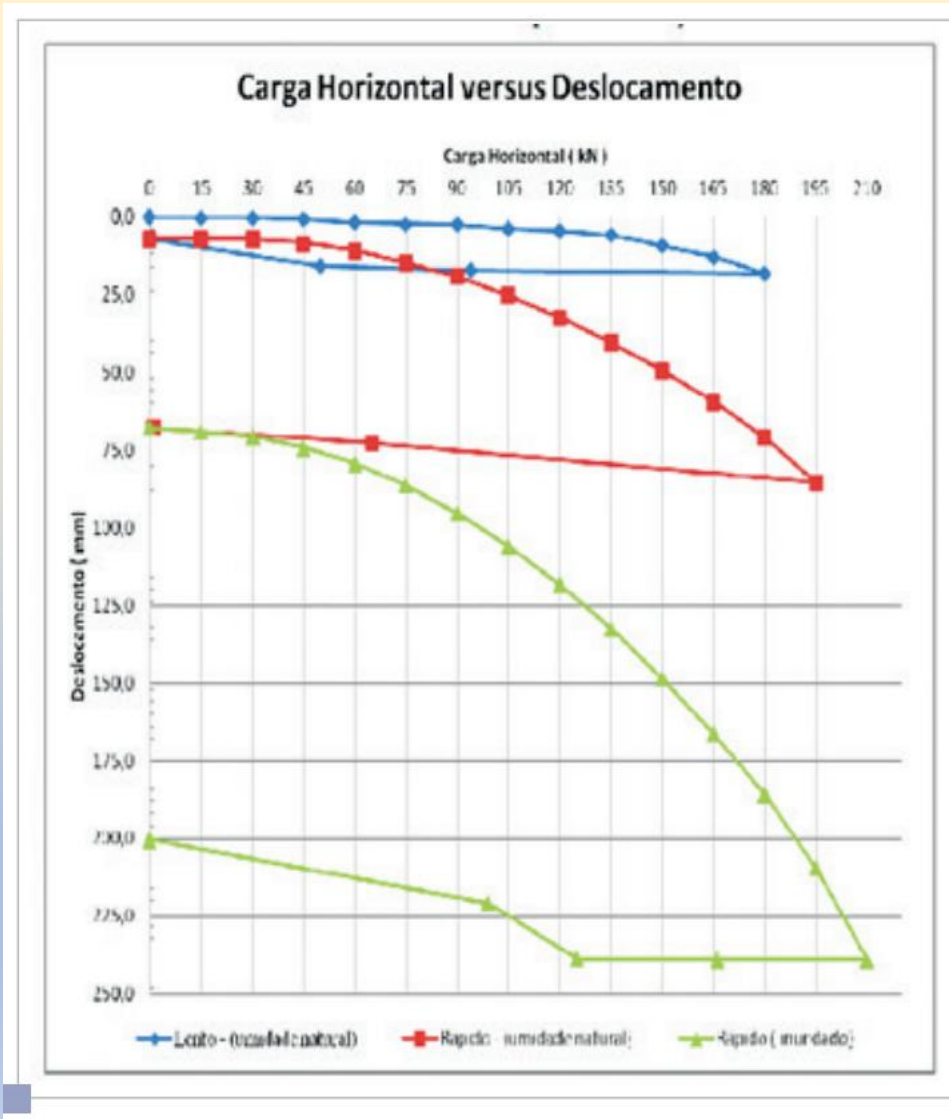


**Figura V.36** — Provas de carga horizontal realizadas em perfil met lico (I, com 12 m de comprimento, bitola W 250 x 32,7 mm x kg/m). Campinas/SP.  $SPT_{MÉDIO} = 4$ , até 6m (SILVA, 2016).



# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

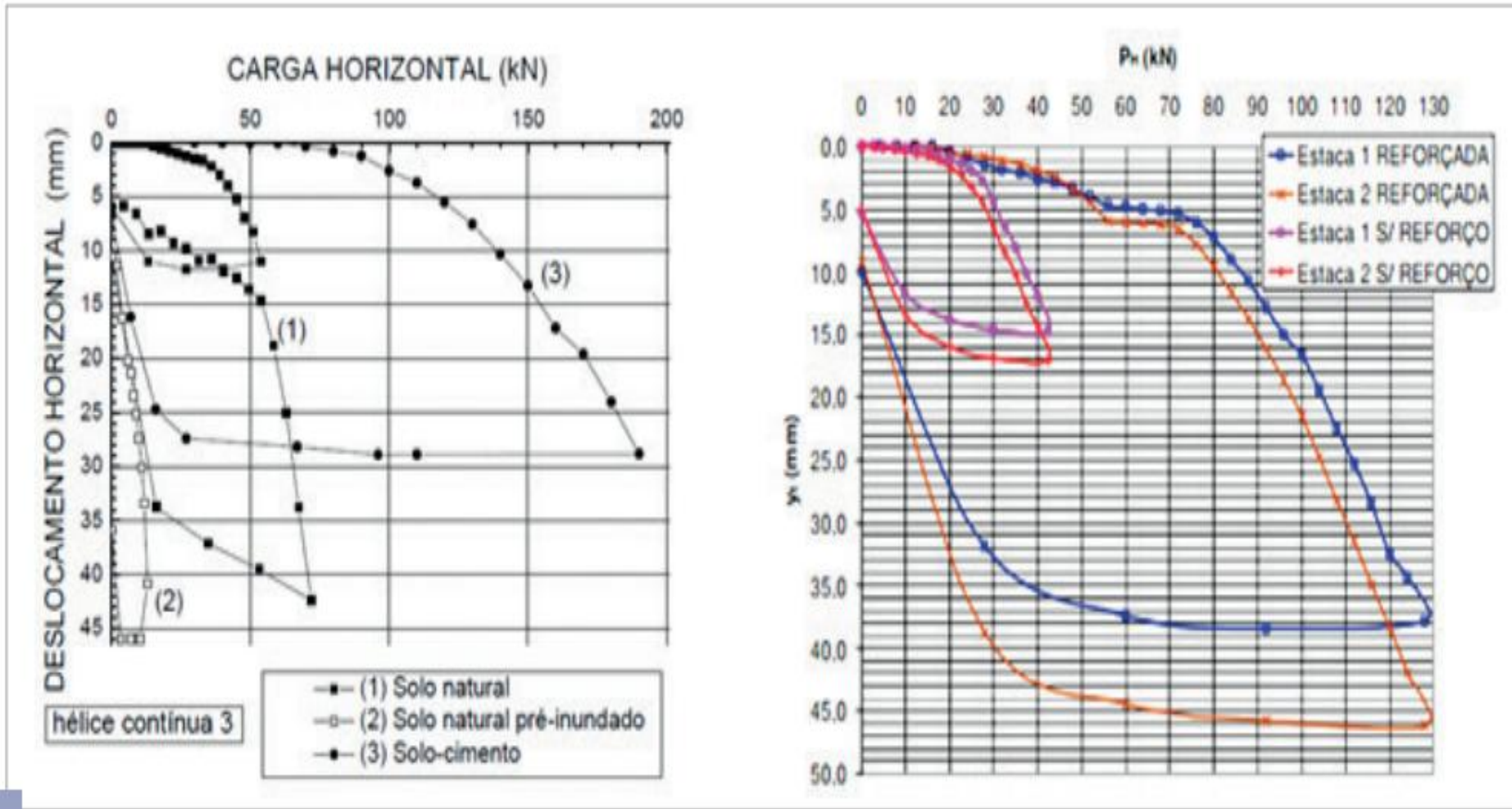
## Tipos de Carregamento





# CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

## Tipos de Carregamento



## CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122

A NBR 6122 convencionada como carga de ruptura aquela que corresponde, na curva carga x deslocamento, Figura VI.6.4.1, ao recalque obtido pela expressão:

$$\Delta_r = \frac{P_r \times L}{A \times E} + \frac{D}{30}$$

Onde:

$\Delta_r$  é o recalque de ruptura convencional;

$P_r$  é a carga de ruptura convencional ou convencionada;

L é o comprimento da estaca;

A é a área da seção transversal da estaca (estrutural);

E é o módulo de elasticidade do material da estaca;

D é o diâmetro do círculo circunscrito à seção transversal da estaca ou, no caso de barrete, o diâmetro de círculo de área equivalente ao da seção transversal da estaca.

## CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122

A NBR 6122 convencionou como carga de ruptura aquela que corresponde, na curva carga x deslocamento, Figura VI.6.4.1, ao recalque obtido pela expressão:

$$\Delta_r = \frac{P_r \times L}{A \times E} + \frac{D}{30}$$

Onde:

$\Delta_r$  é o recalque de ruptura convencional;

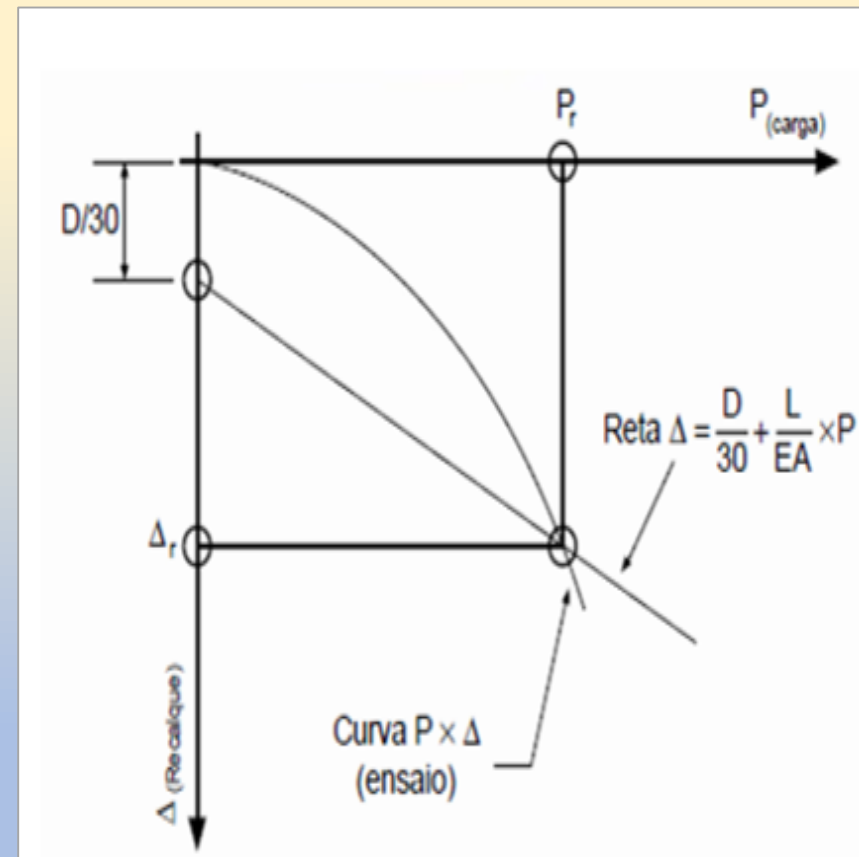
$P_r$  é a carga de ruptura convencional ou convencionalizada;

L é o comprimento da estaca;

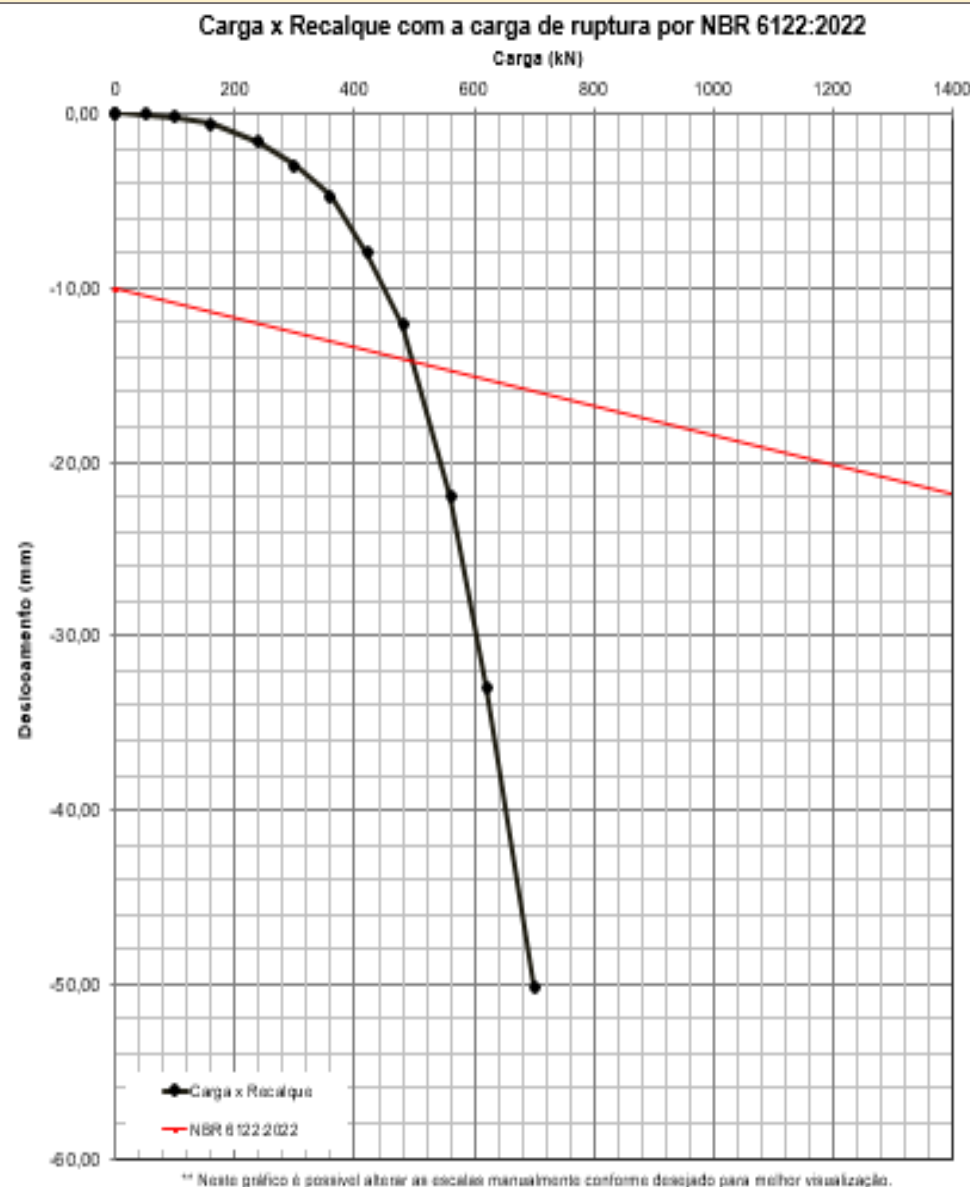
A é a área da seção transversal da estaca (estrutural);

E é o módulo de elasticidade do material da estaca;

D é o diâmetro do círculo circunscrito à seção transversal da estaca ou, no caso de barrete, o diâmetro de círculo de área equivalente ao da seção transversal da estaca.



## CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122

[illegible]

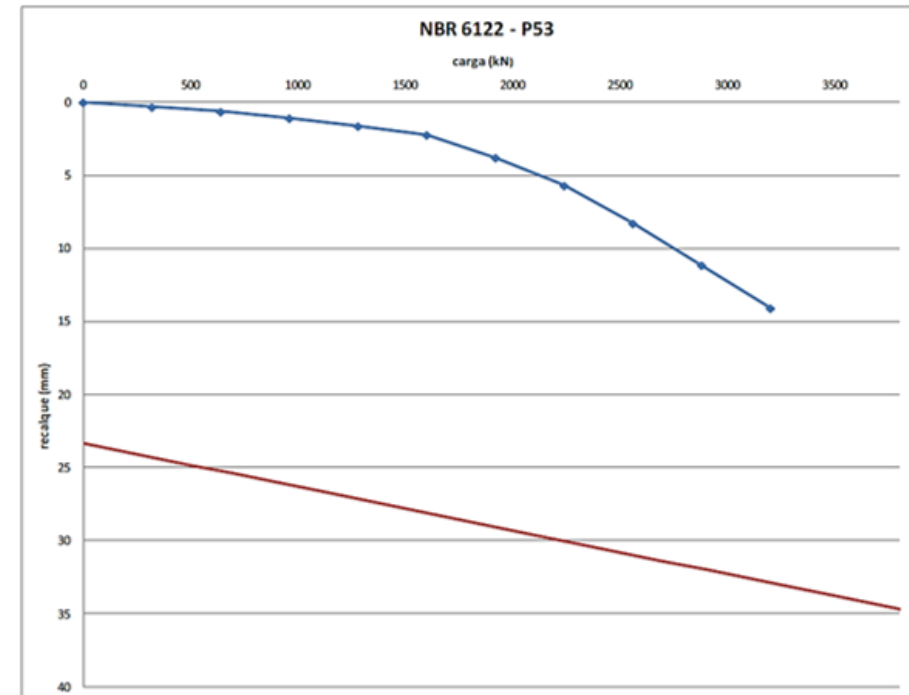
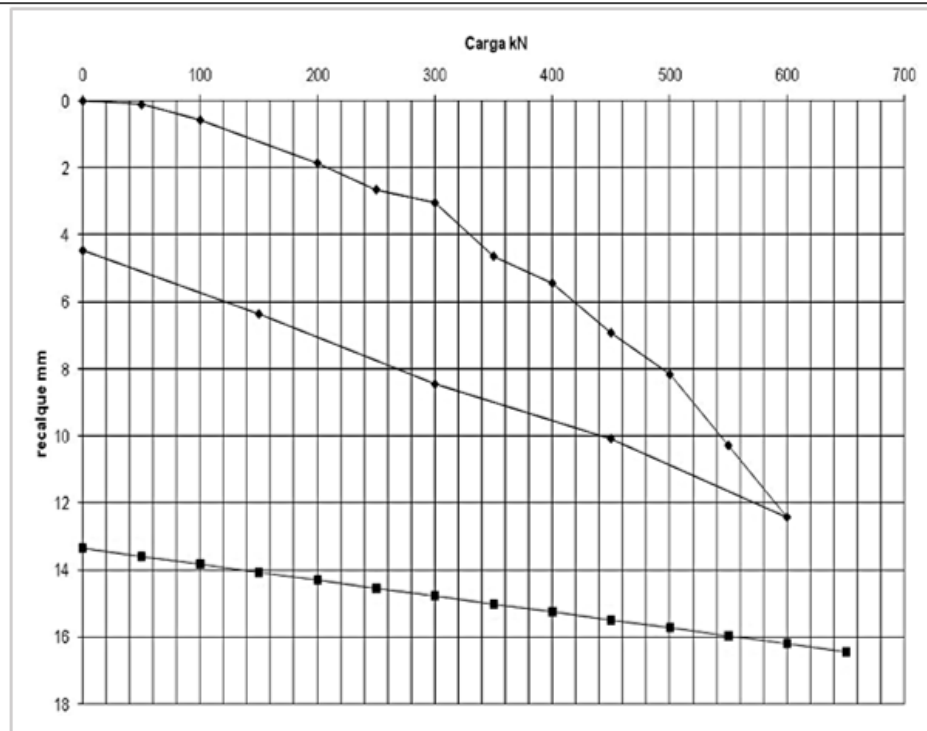
DADOS DA ESTACA / MDE 5422-2R22	
Diâmetro $\phi$ Lado da vulana - D [mm]	30,00
Comprimento da vulana - L [m]	12,00
Geometria da vulana	Circular
Área da vulana - A [mm <sup>2</sup> ]	70686
D / 30 [mm]	10,00
Coeficiente de variação da unidade da vulana - $\sigma_{\text{rel}} / \mu_{\text{rel}}$	20
Coeficiente de variação da unidade da vulana - $\sigma_{\text{rel}} / \mu_{\text{rel}}$	497

<b>ORIENTAÇÕES</b>	
1- UTILIZAR AS UNIDADES CONFORME INDICADO.	
2- PREENCHER SOMENTE ONDE ESTÁ EM AMARELO.	

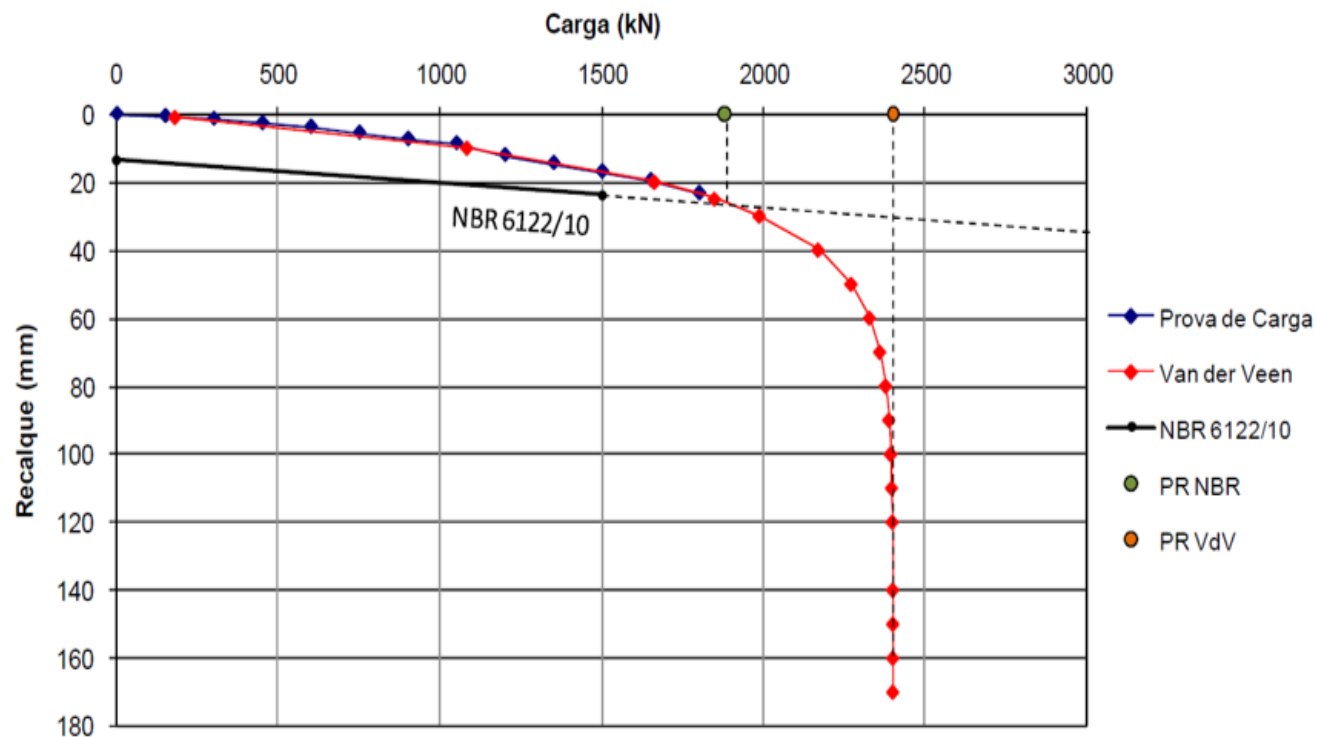
<b>DADOS PARA CONTATO:</b>	
RESPONSÁVEL:	GUSTAVO MARQUES FREITAS
E-MAIL:	<a href="mailto:gustavo.marques.freitas@cellink.com">gustavo.marques.freitas@cellink.com</a>
Link de:	<a href="https://br.linkedin.com/in/gustavo-marques-268784224">https://br.linkedin.com/in/gustavo-marques-268784224</a>

## CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122



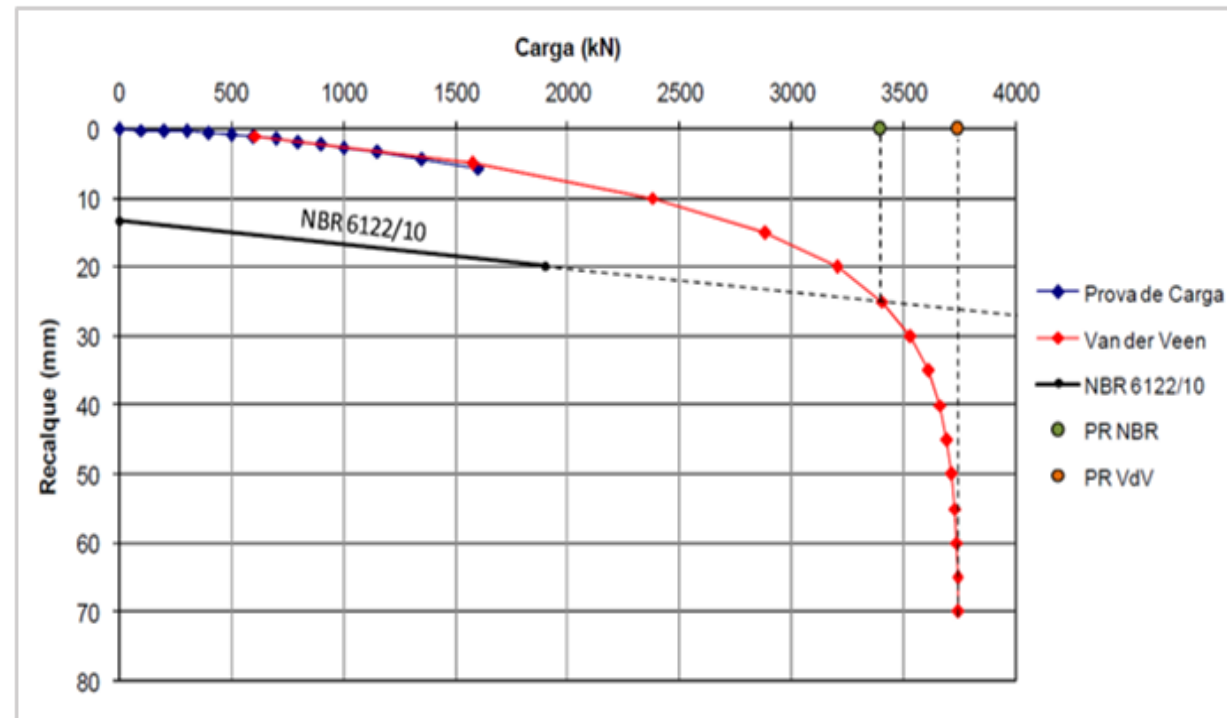
Situações em que não é possível a aplicação do método da NBR 6122 para convencionar a carga de ruptura. A) Estaca Hélice Contínua. D= 40cm; L= 12m. Campinas, SP. (Paschoalin Filho, 2008). B) Estaca Hélice Contínua. D= 70cm; L= 24m. Rio de Janeiro - RJ (Souza, 2018).

## CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122 – Com auxílio de Extrapolação da Curva por Van der Veen



Utilização de método de extrapolação para possibilitar a utilização do método da NBR 6122. Observe que na prova de carga os deslocamentos passaram de 20mm. Estaca Hélice Contínua. D= 40cm; L= 16m. Vitoria, ES. (Adaptado de Alledi, 2013).

## CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122 – Com auxílio de Extrapolação da Curva por Van der Veen

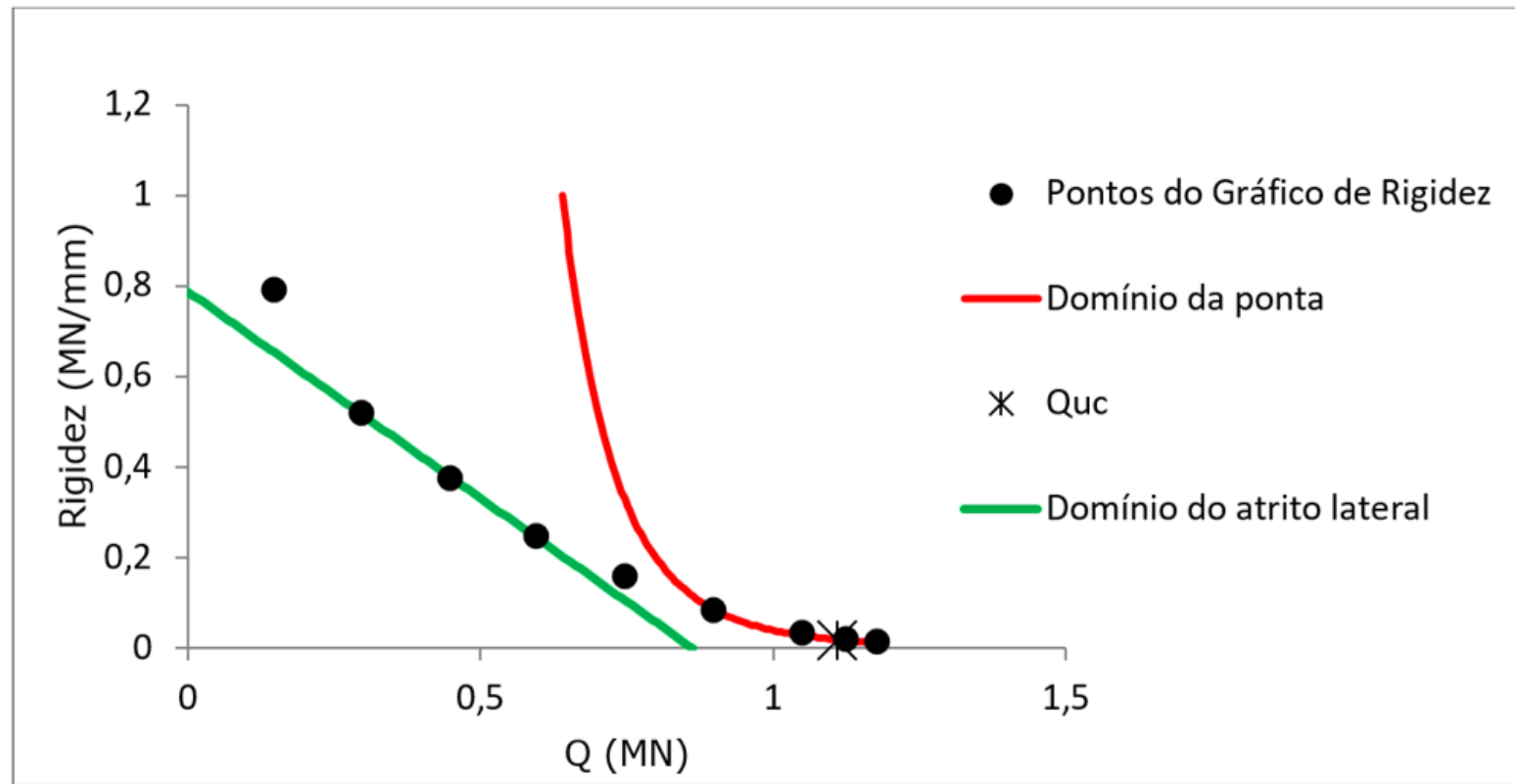


O erro pode ser grande neste caso, quando se utiliza de método de extrapolação para possibilitar a utilização do método da NBR 6122. Observe que na prova de carga os deslocamentos são da ordem de 6mm, o que impossibilita qualquer tipo de extrapolação com confiança. Estaca Hélice Contínua. D= 40cm; L= 15m. Vitória, ES. (Adaptado de Alledi, 2013).



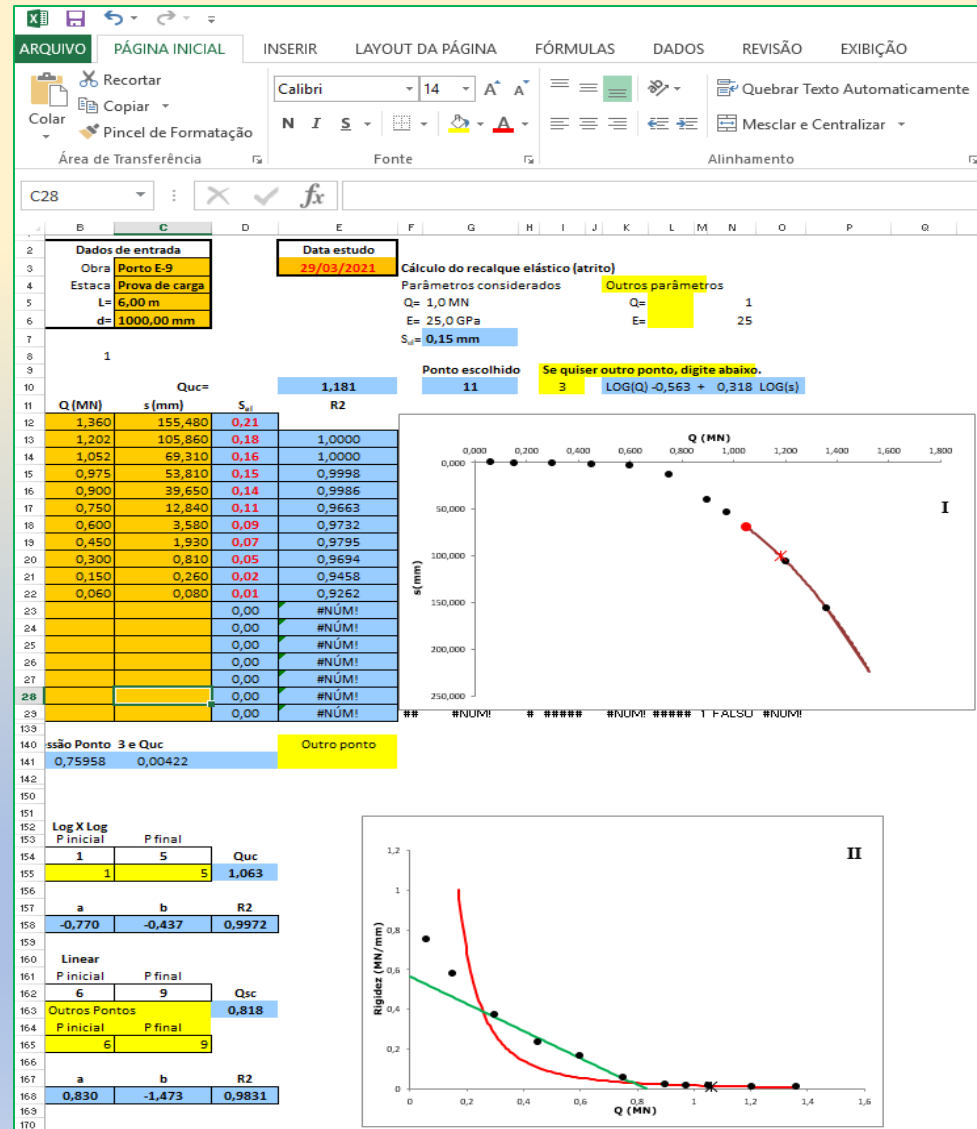
## MÉTODO DA RIGIDEZ DE DÉCOURT

Utiliza o termo “domínio”, pois mesmo a carga sendo, em determinado nível de carga, quase totalmente de atrito, sempre haverá uma parcela, pequena que seja, de ponta. O mesmo para a carga na ponta.



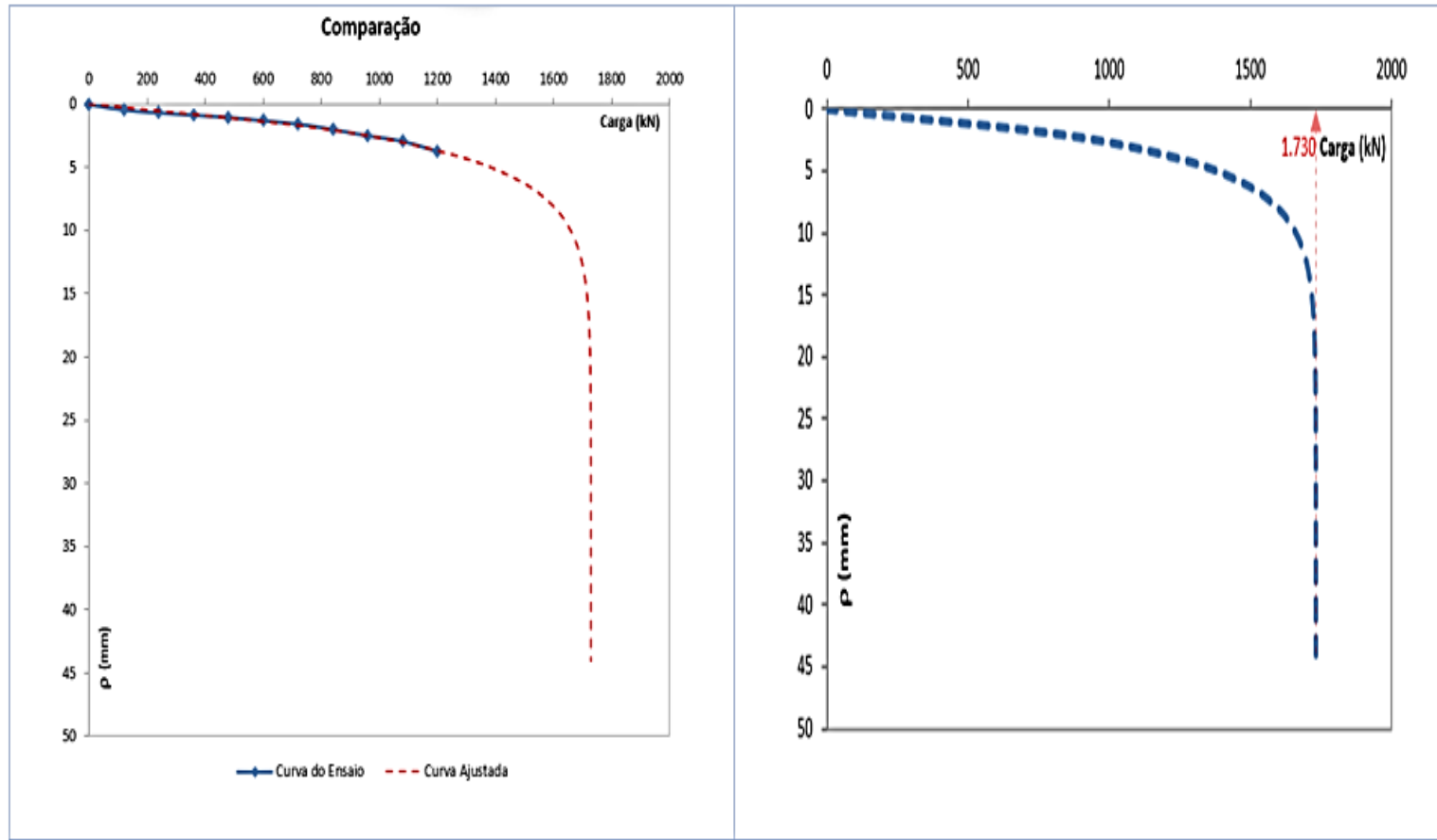
Décourt – **Método de Rigidez**.  $Q/d$  (MN x mm) x  $Q$  (MN). Q<sub>uc</sub> (Q<sub>RC</sub>) Carga última convencionalizada ou carga de ruptura convencionalizada. Domínio de ponta e atrito lateral.

# MÉTODO DA RIGIDEZ DE DÉCOURT – Programa Computacional

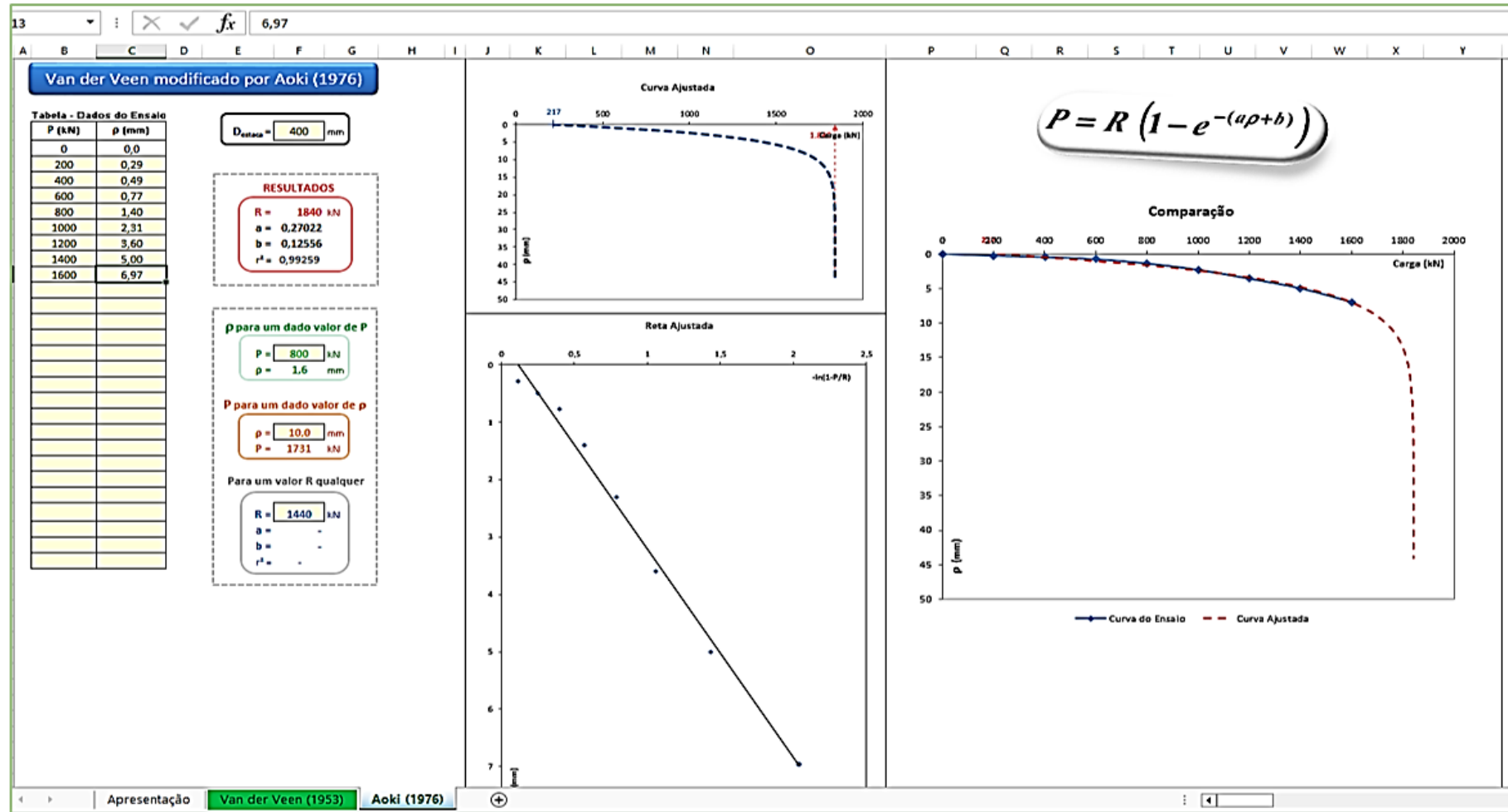


# MÉTODO DE VAN DER VEEN

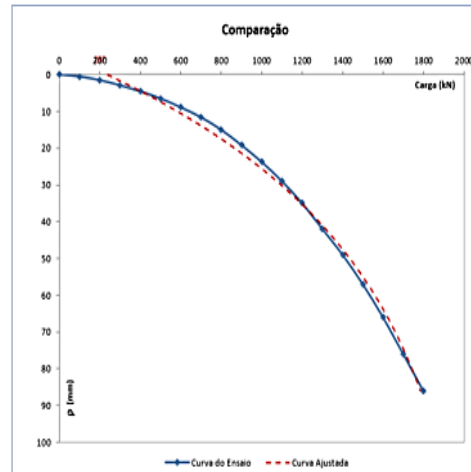
Van der Veen, em seu trabalho “The bearing capacity of a pile”, publicado na “III<sup>rd</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering”, em 1953, apresenta equação exponencial para a curva carga x deslocamento.



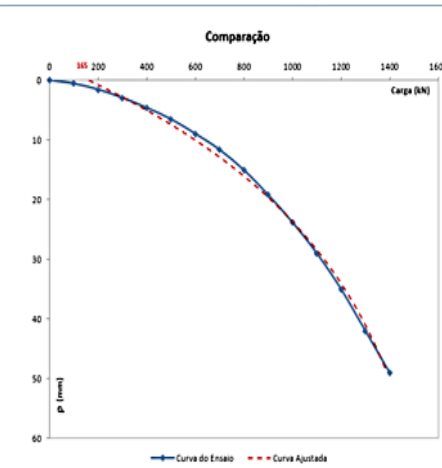
A) Curva da prova de carga e curva de Van der Veen. B) Curva de Van der Veen – Carga de Ruptura.



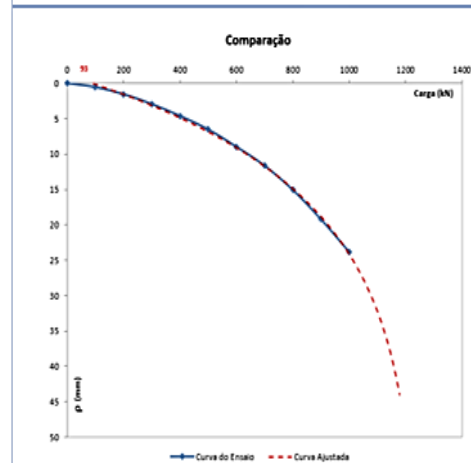
Exemplo da utilização da planilha de Schiavon (2013)



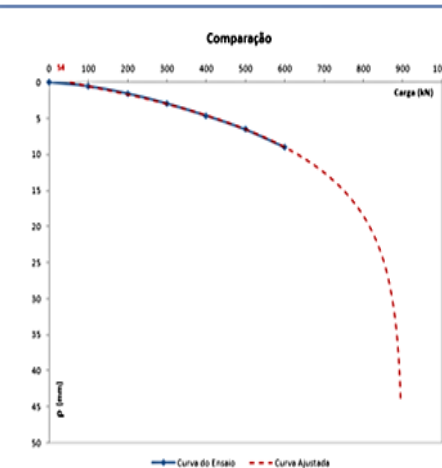
Todos Pontos – Carga máxima ensaio  
 $1800\text{kN} - Q_{RVV} = 2100\text{kN}$



Pontos até 70% da carga máxima  
 $Q_{RVV} = 1670\text{kN}$



Pontos até 50% da carga máxima  
 $Q_{RVV} = 1250\text{kN}$



Pontos até 30% da carga máxima  
 $Q_{RVV} = 900\text{ kN}$

Aplicação do método de Van der Veen para um estação, utilizando-se pontos relativos a uma % da carga máxima.



## ENSINANDO PROVA DE CARGA ESTÁTICA EM FUNDAÇÕES

Realização | Interpretação | Projeto | Resultados

PROF. DAVID DE CARVALHO | PROF. PAULO J. R. ALBUQUERQUE



DAVID DE CARVALHO

[david@unicamp.br](mailto:david@unicamp.br)

[nrsp@abms.com.br](mailto:nrsp@abms.com.br)