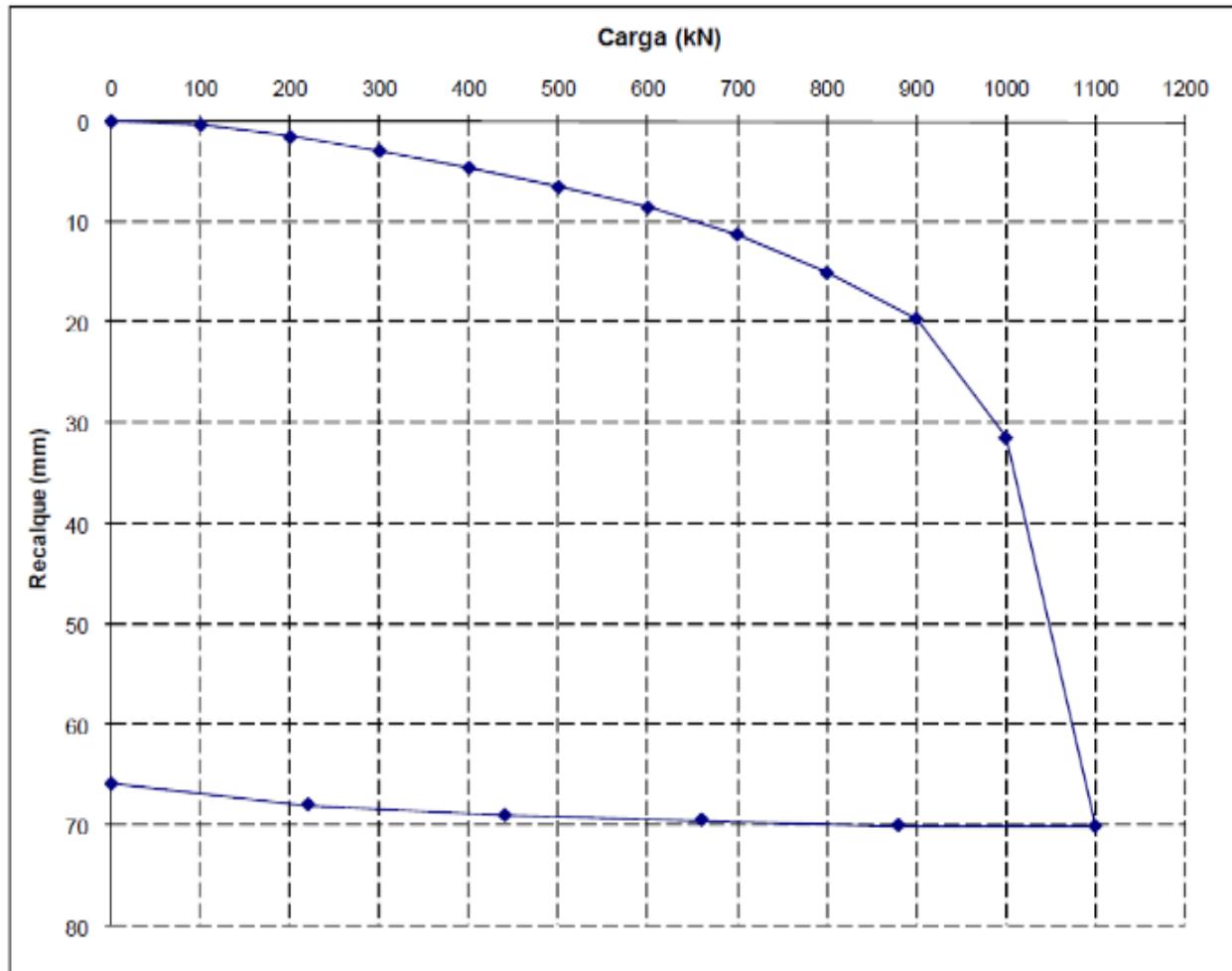


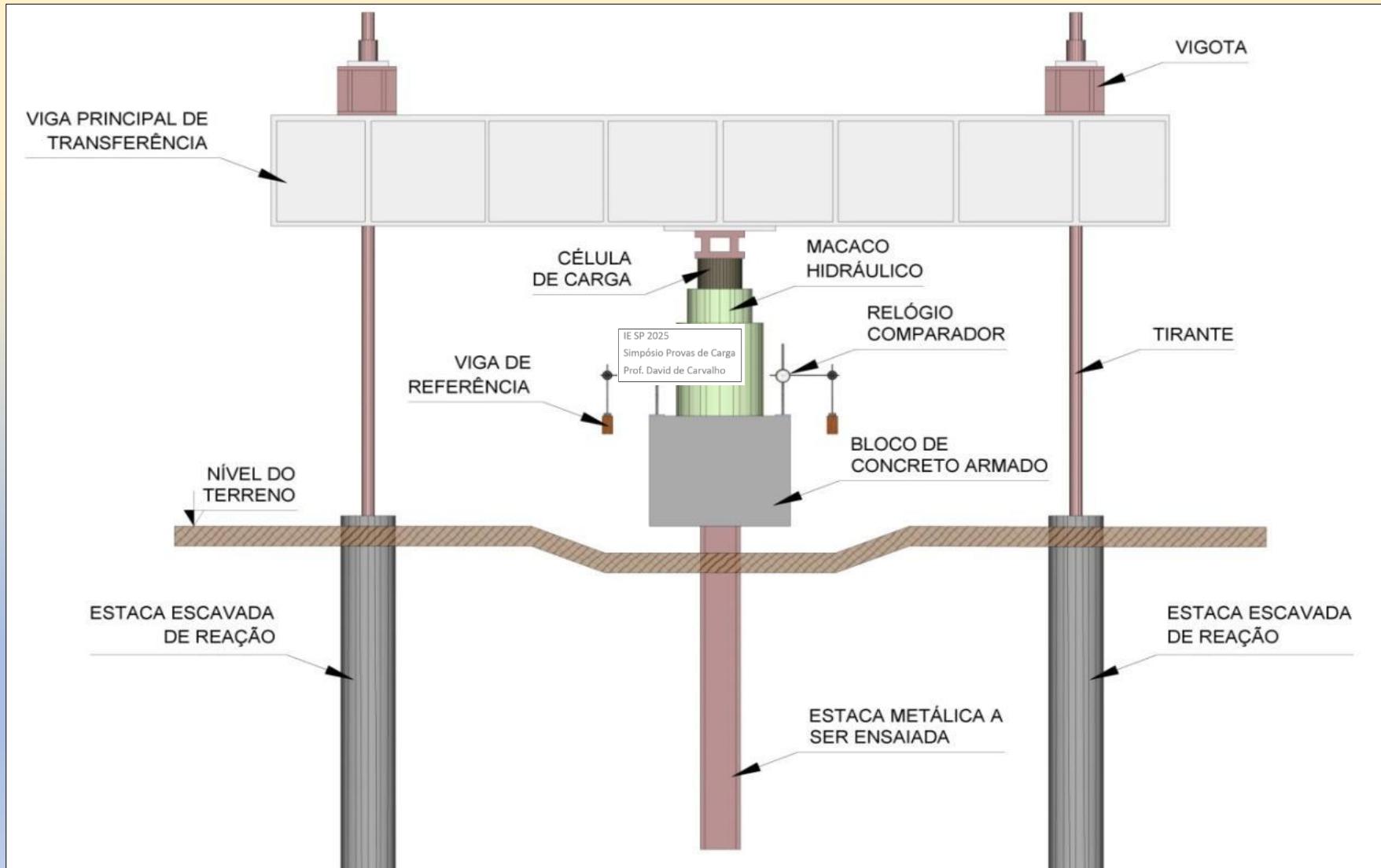
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Figura 4.3 – Curva carga-recalque – EH2



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



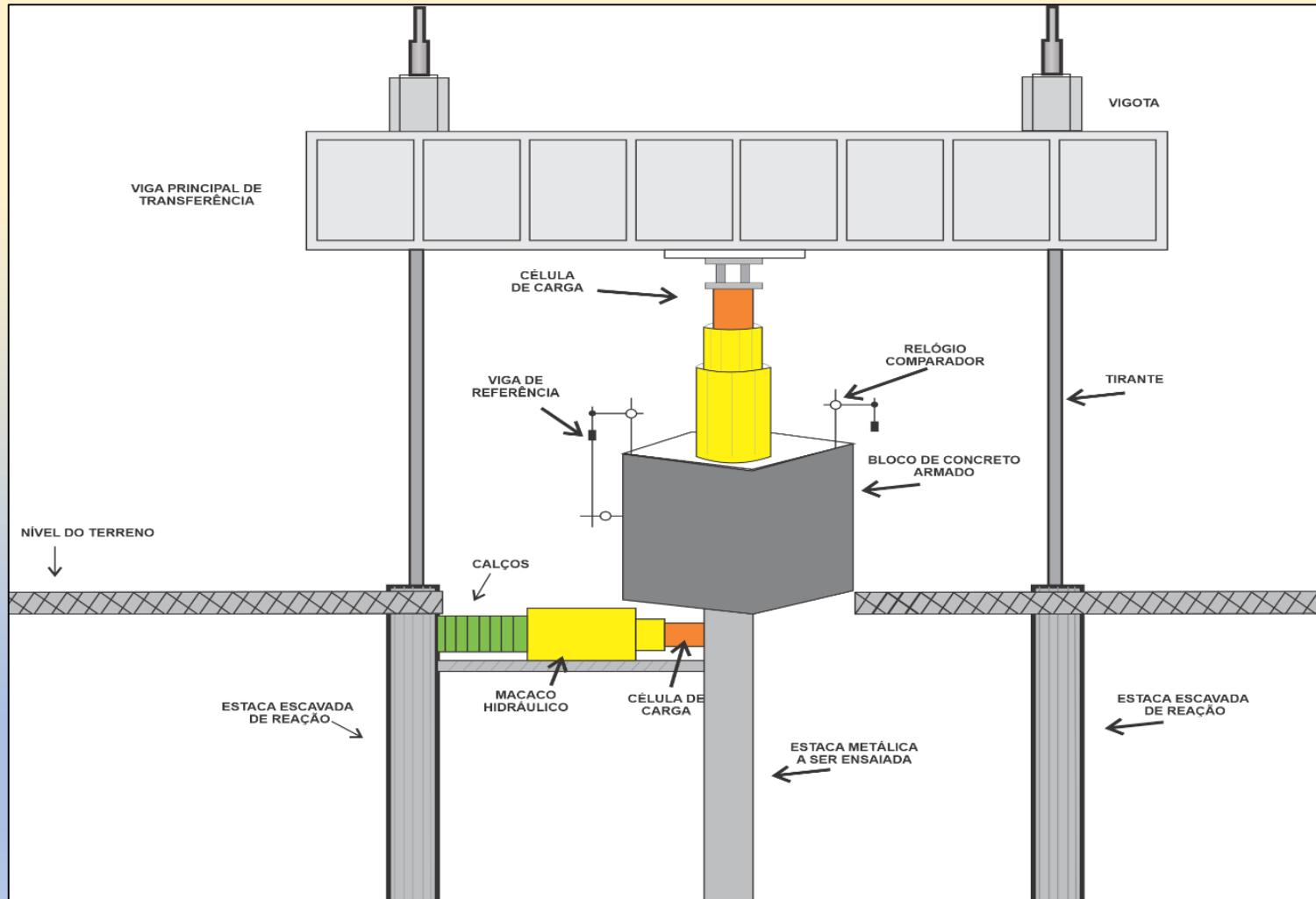
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



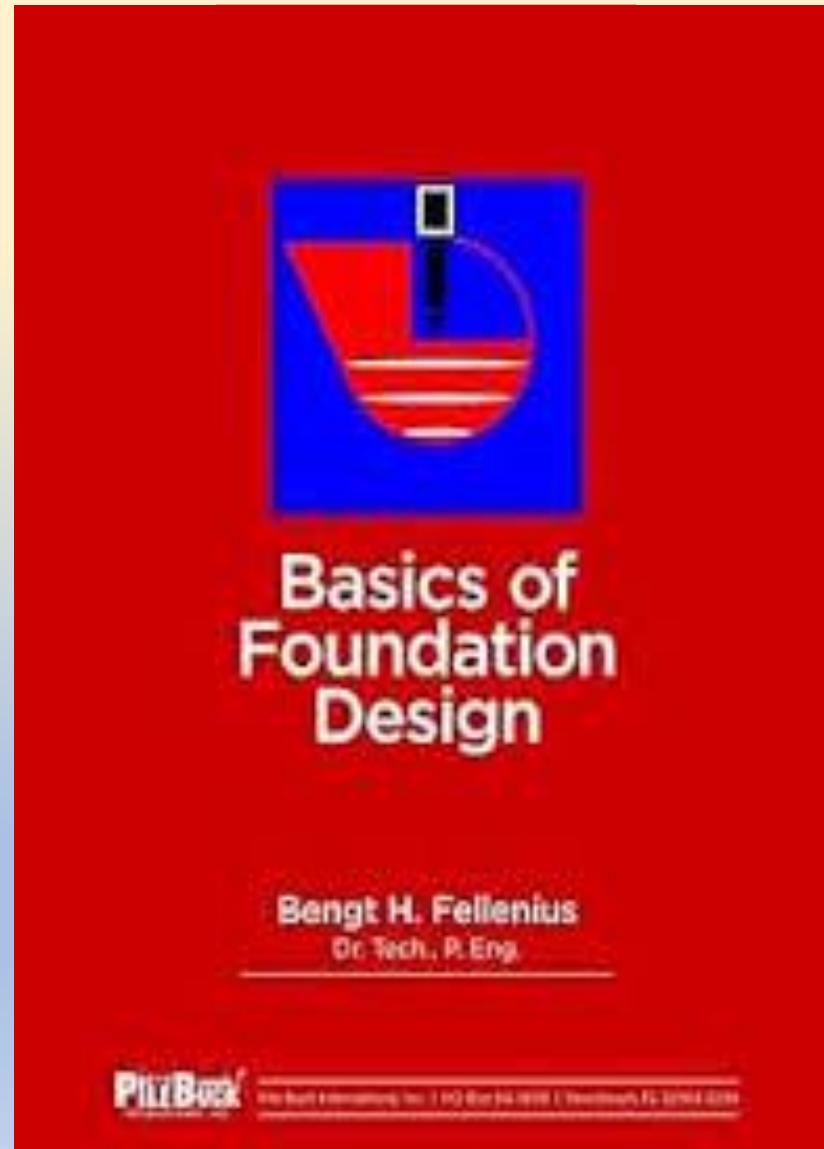
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

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”.

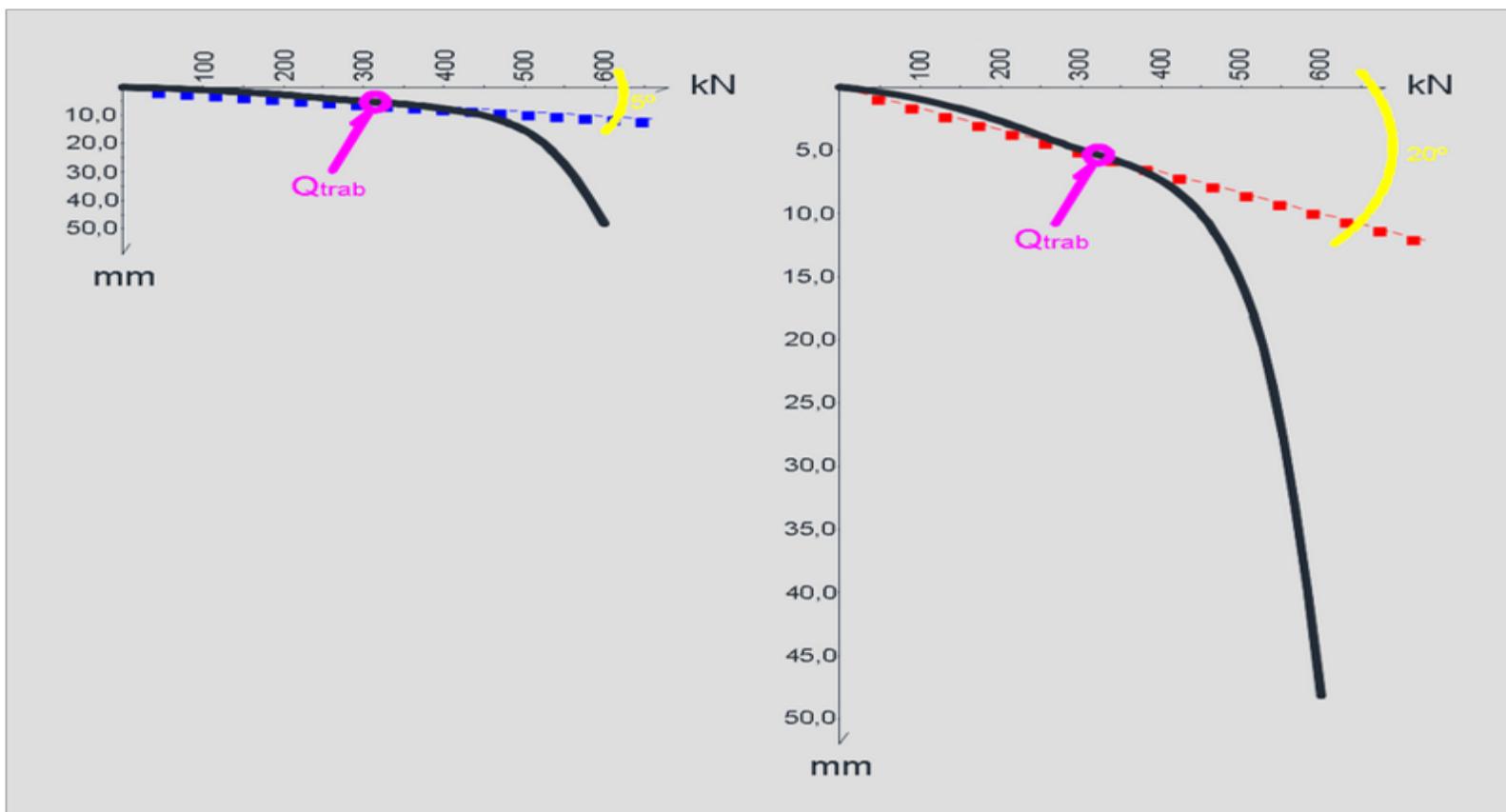
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



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

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

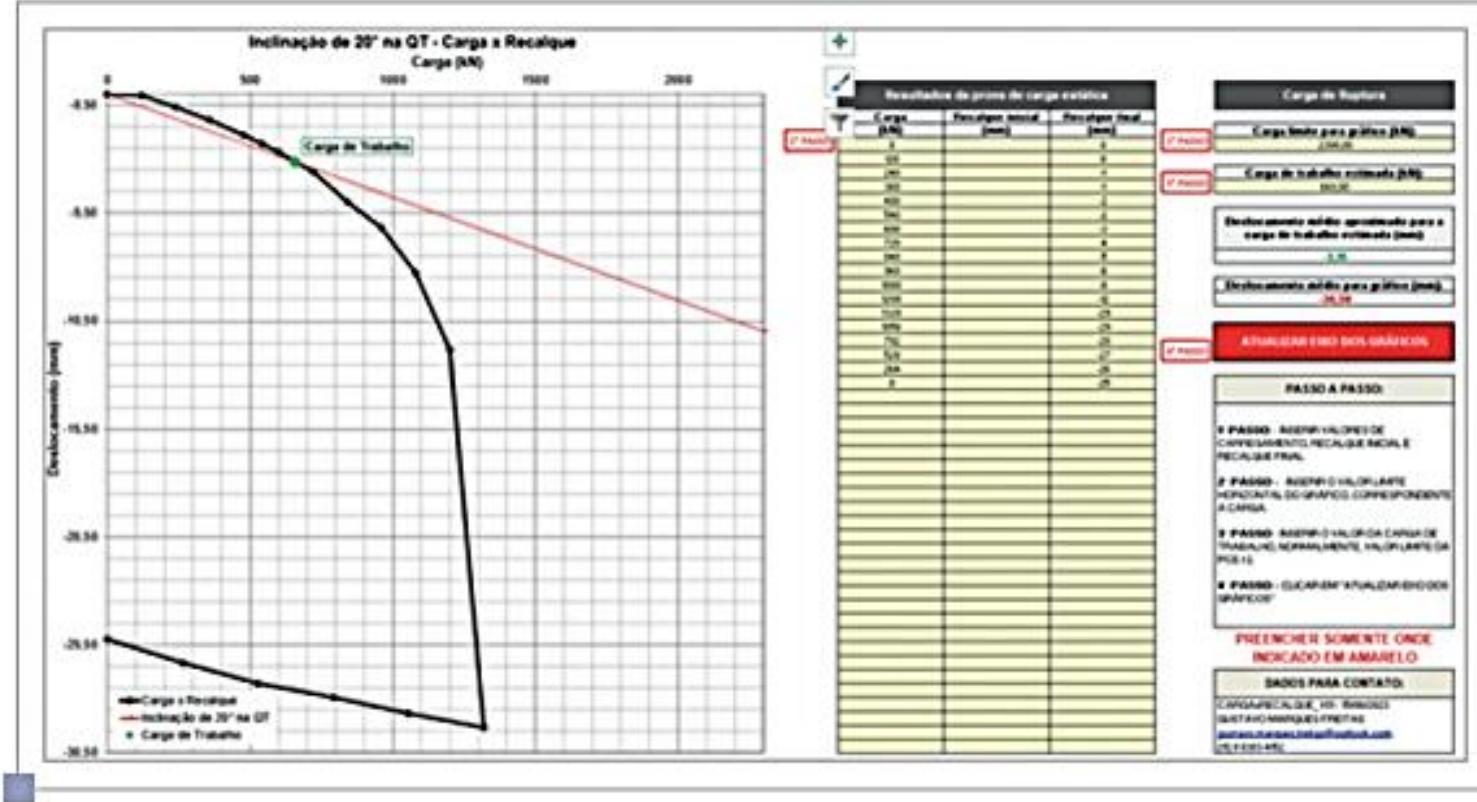
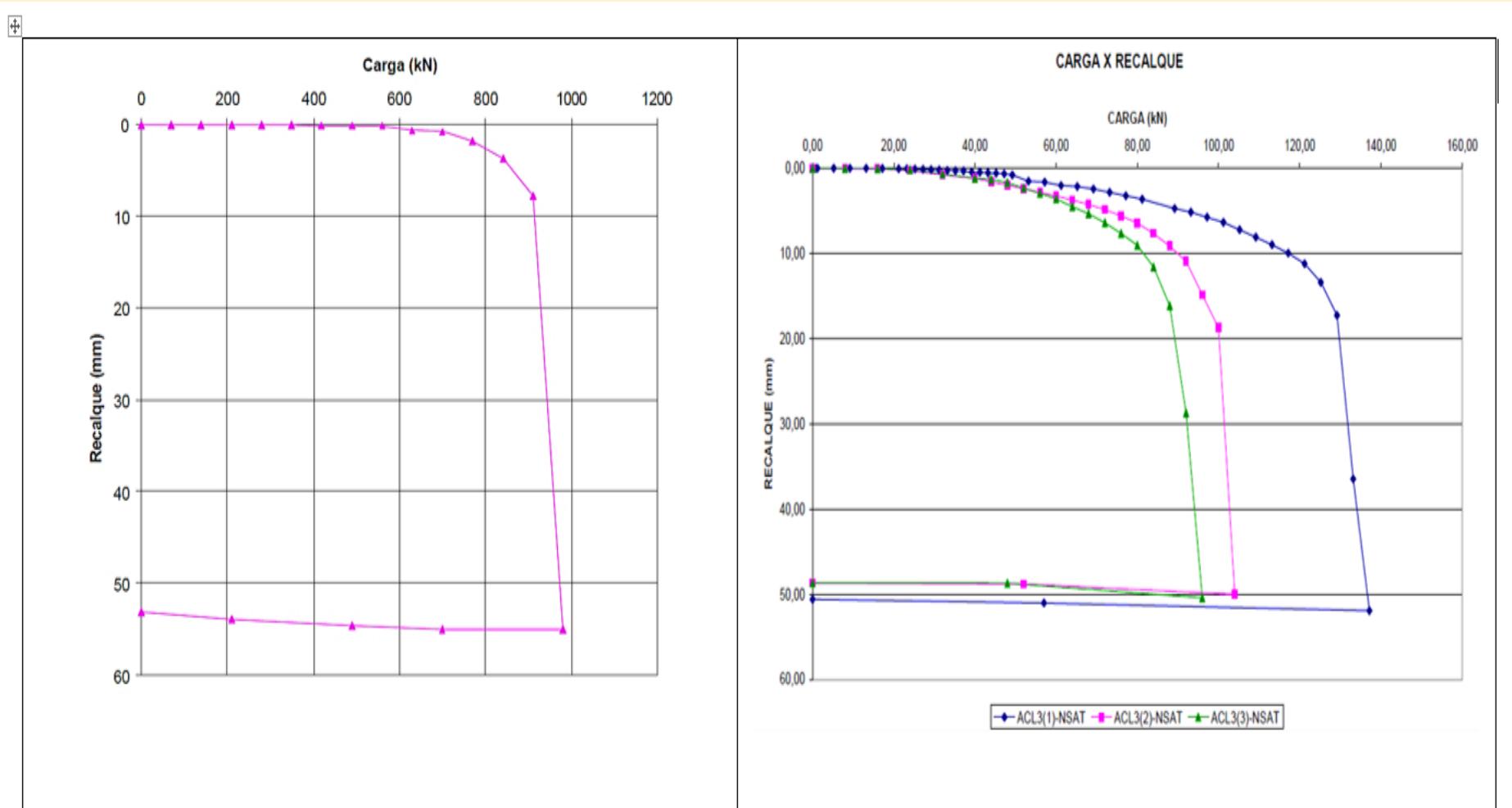


Figura V.3C — Curva carga x deslocamento com inclinação de 20°, obtida utilizando-se planilha Excel (FREITAS, 2023) (Disponível na pasta “Planilhas.Excel no link do Drive deste livro - <https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1Ne5RFbIroKOlt7n-Sa-fXkoT-eWxL98YZ>).

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

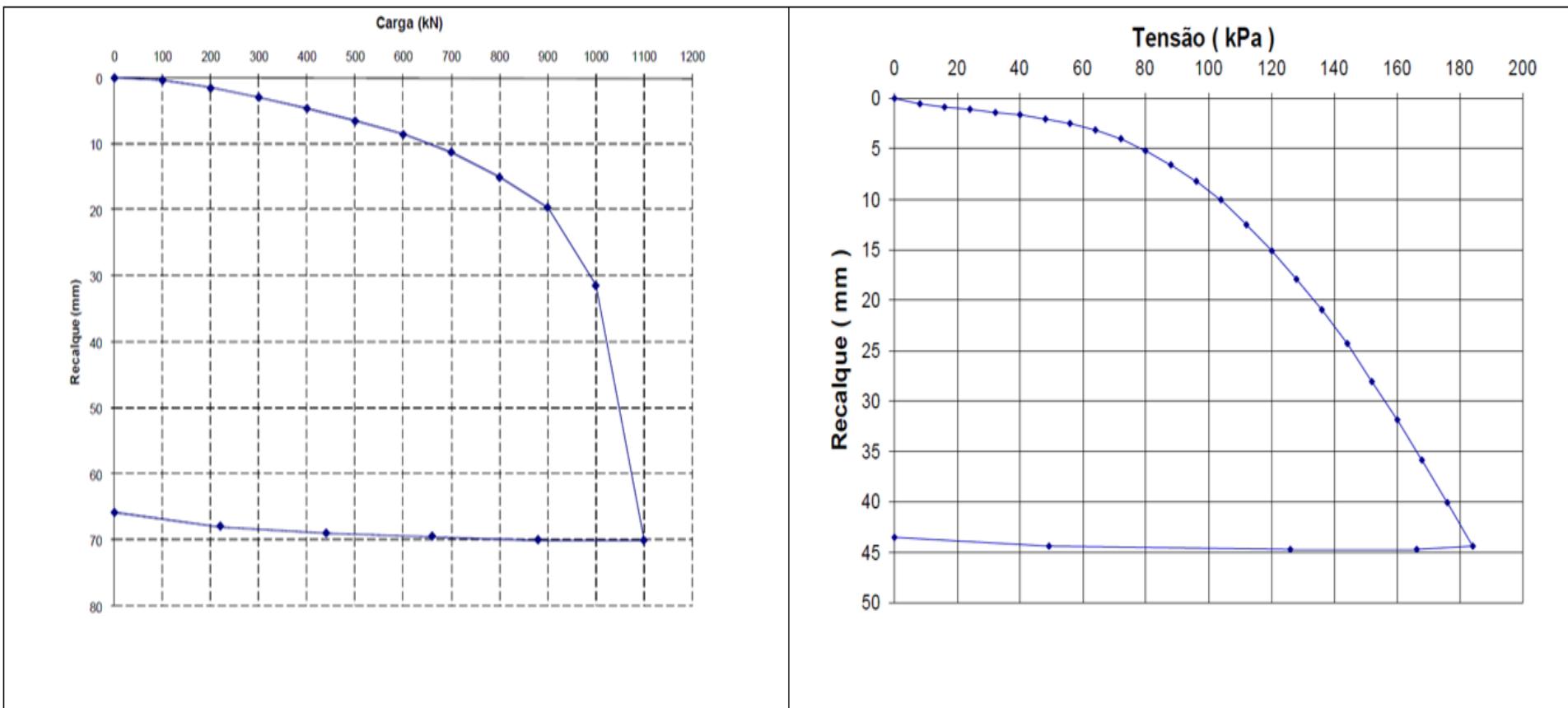
Tipos de Carregamento



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

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

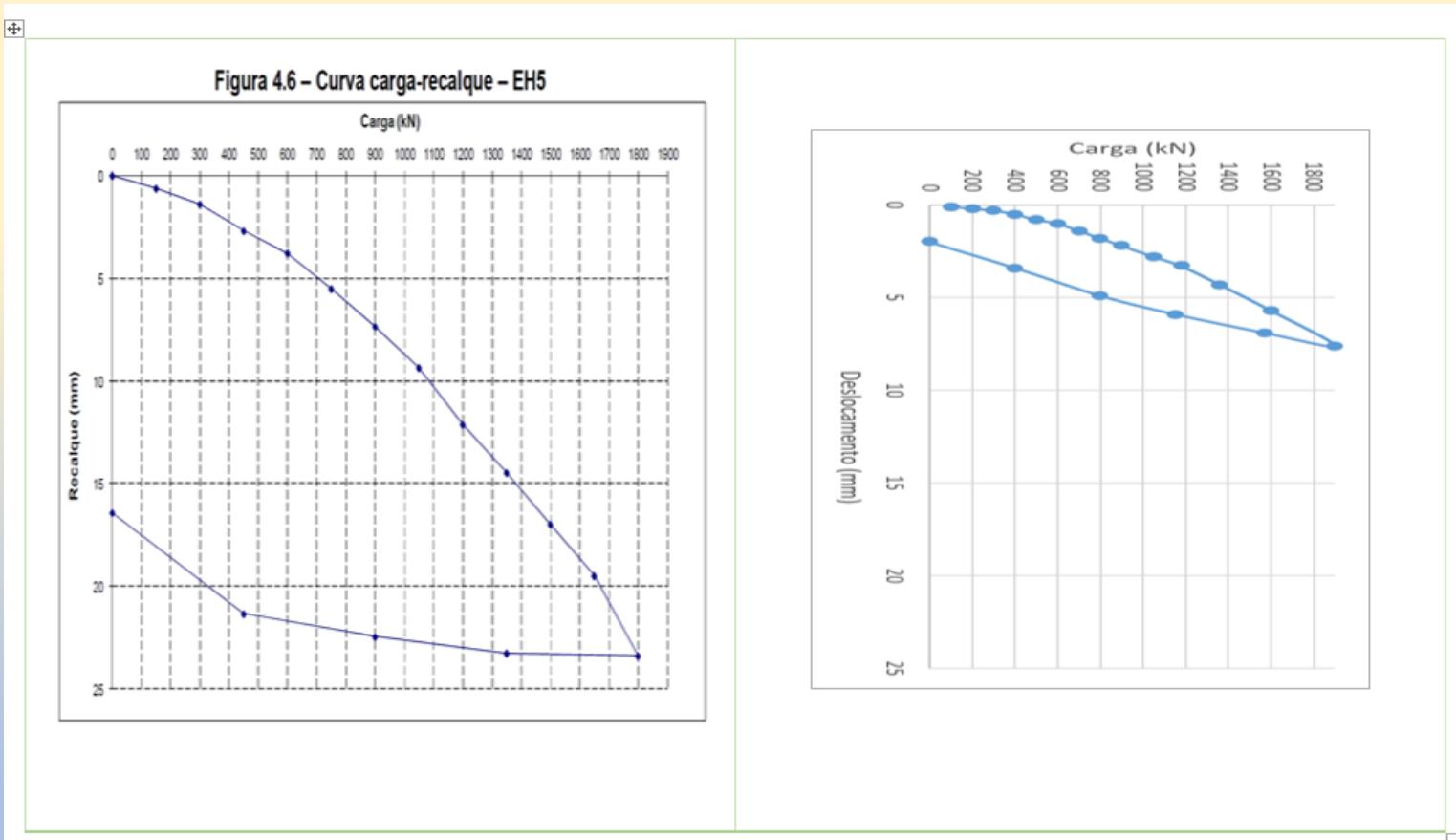
Tipos de Carregamento



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



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

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

- DESLOCAMENTOS MÍNINOS 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

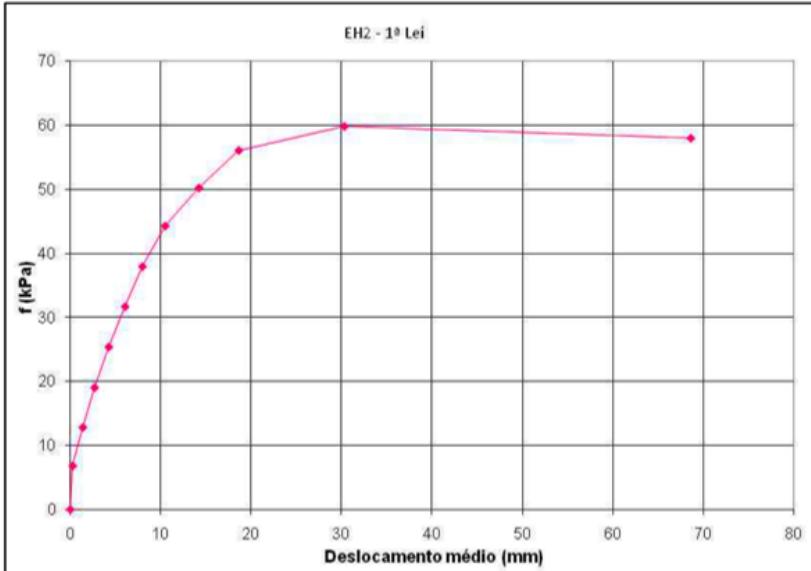
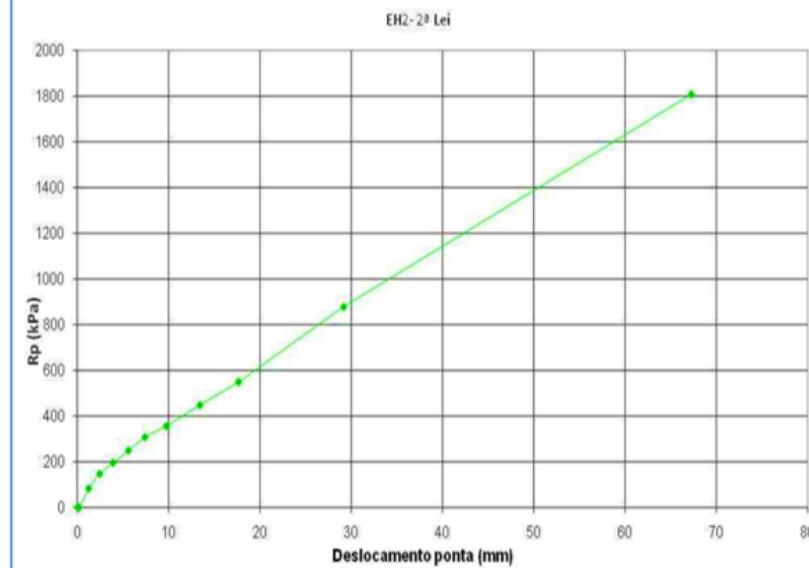


Figura 4.34 – Reação de ponta em função do deslocamento ponta – EH2



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

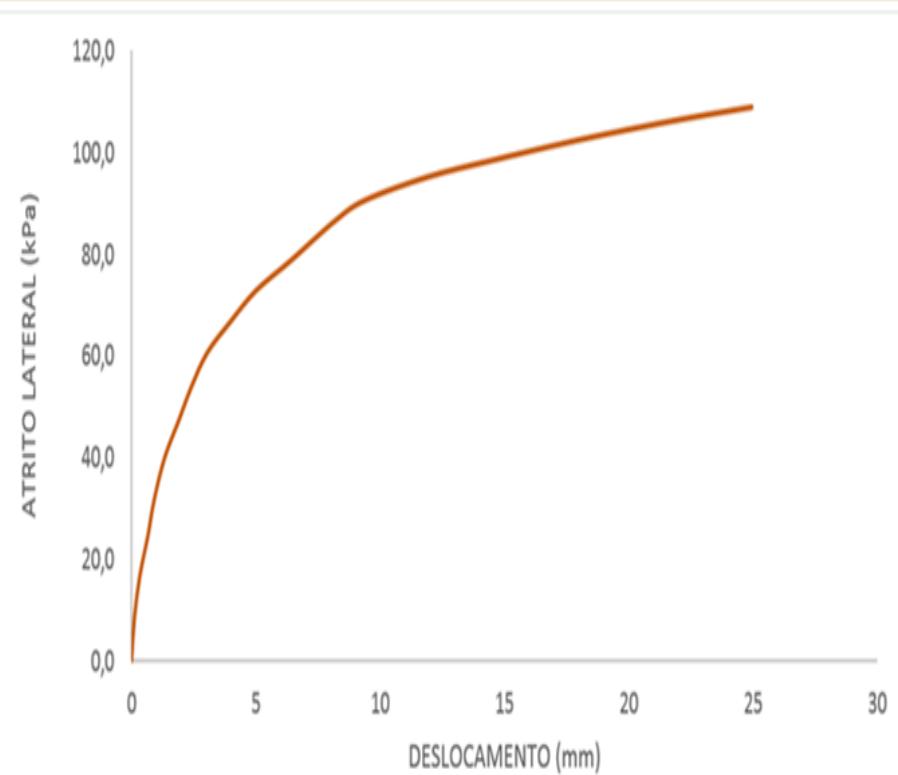


Figura 4.22 – Parcela de atrito lateral médio em função do deslocamento médio – PCE-02

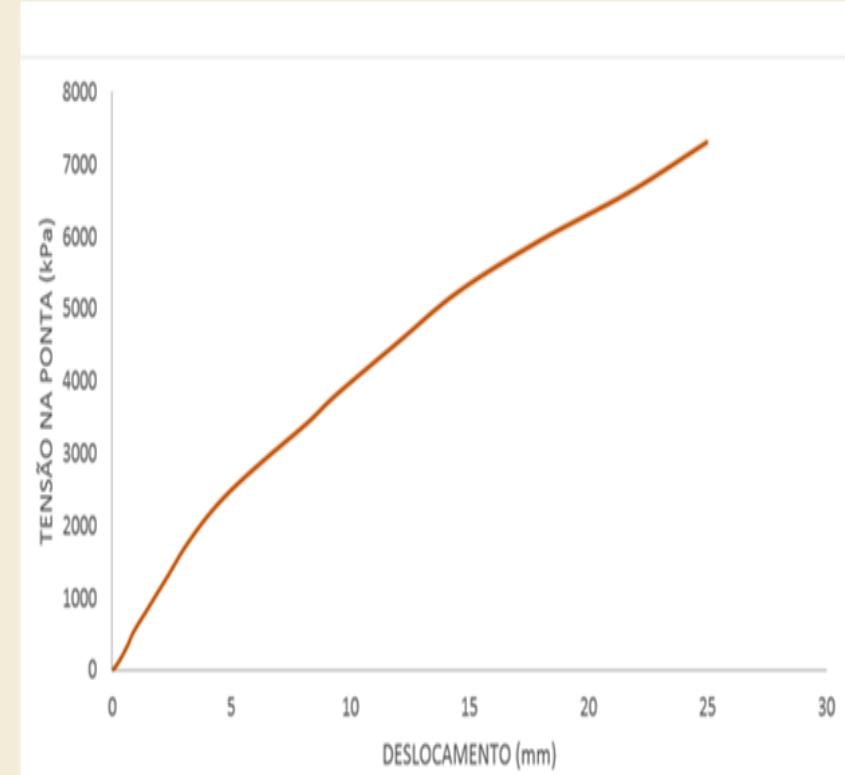
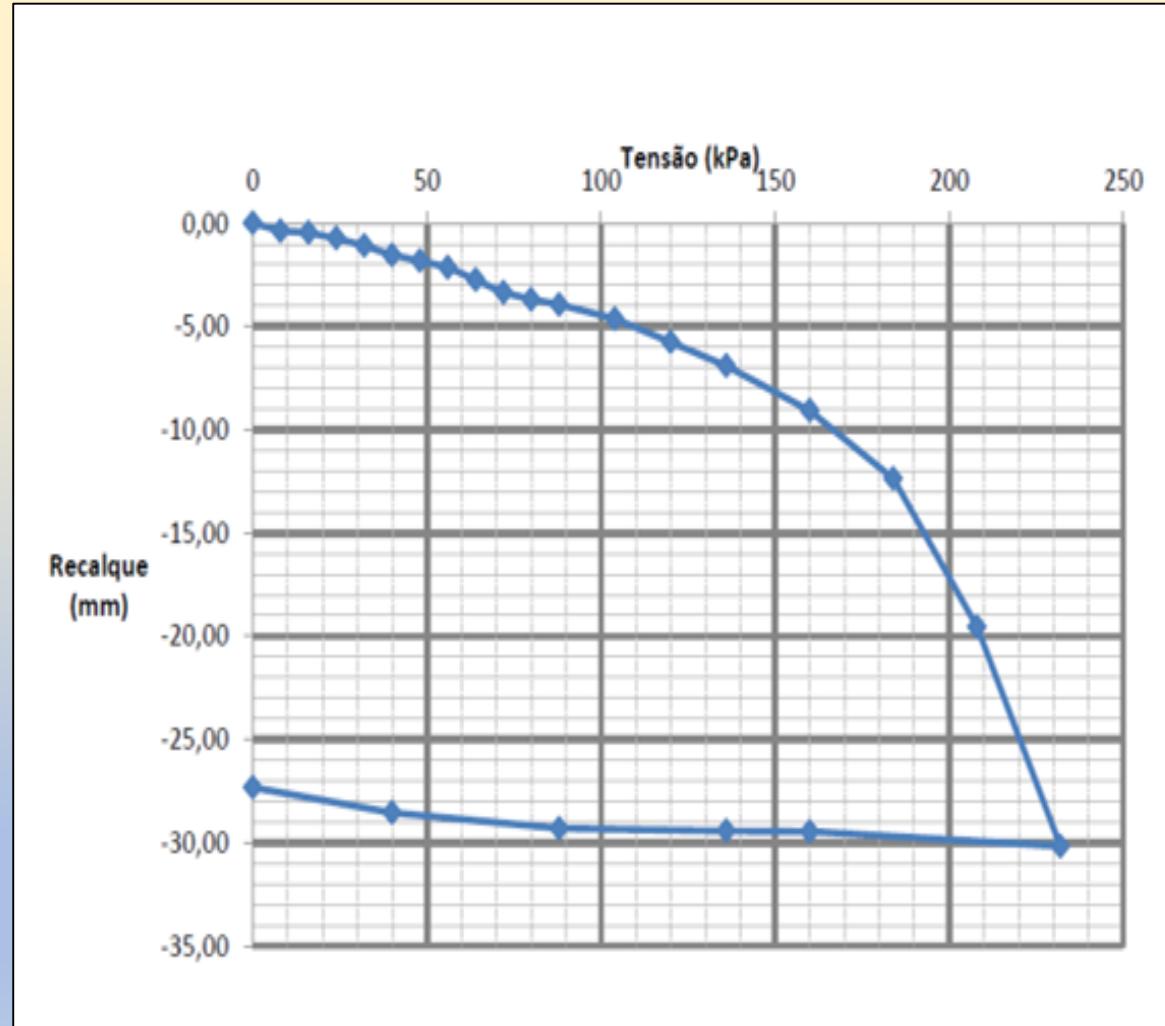


Figura 4.26 – Parcela de resistência de ponta em função do deslocamento – PCE-02

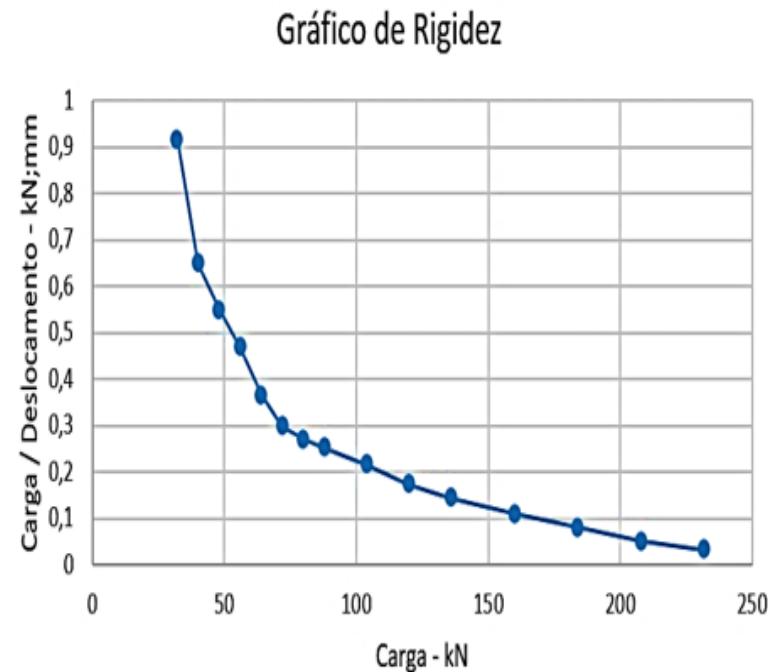
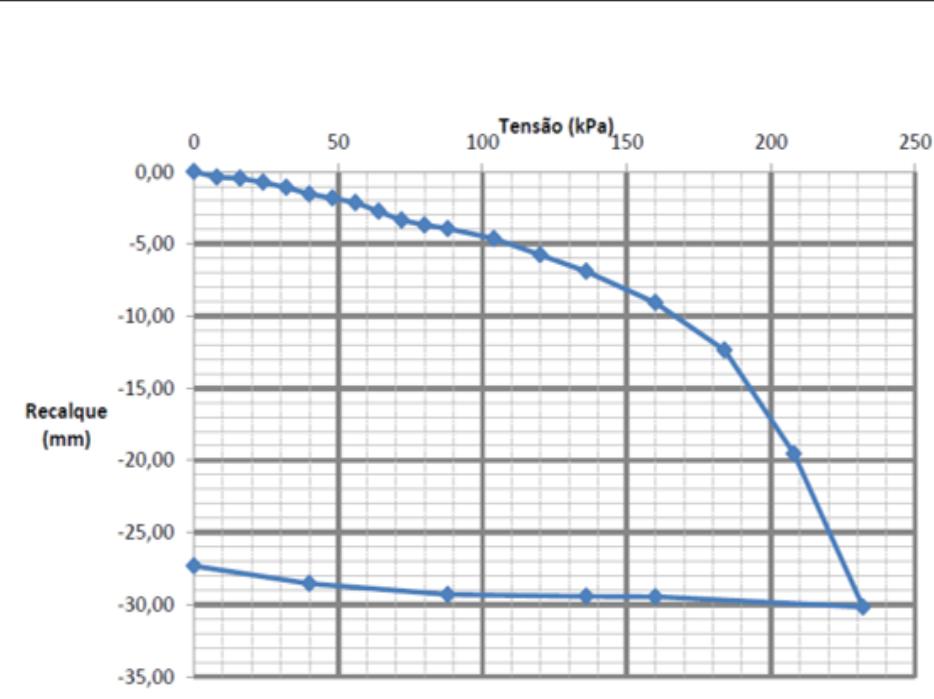
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

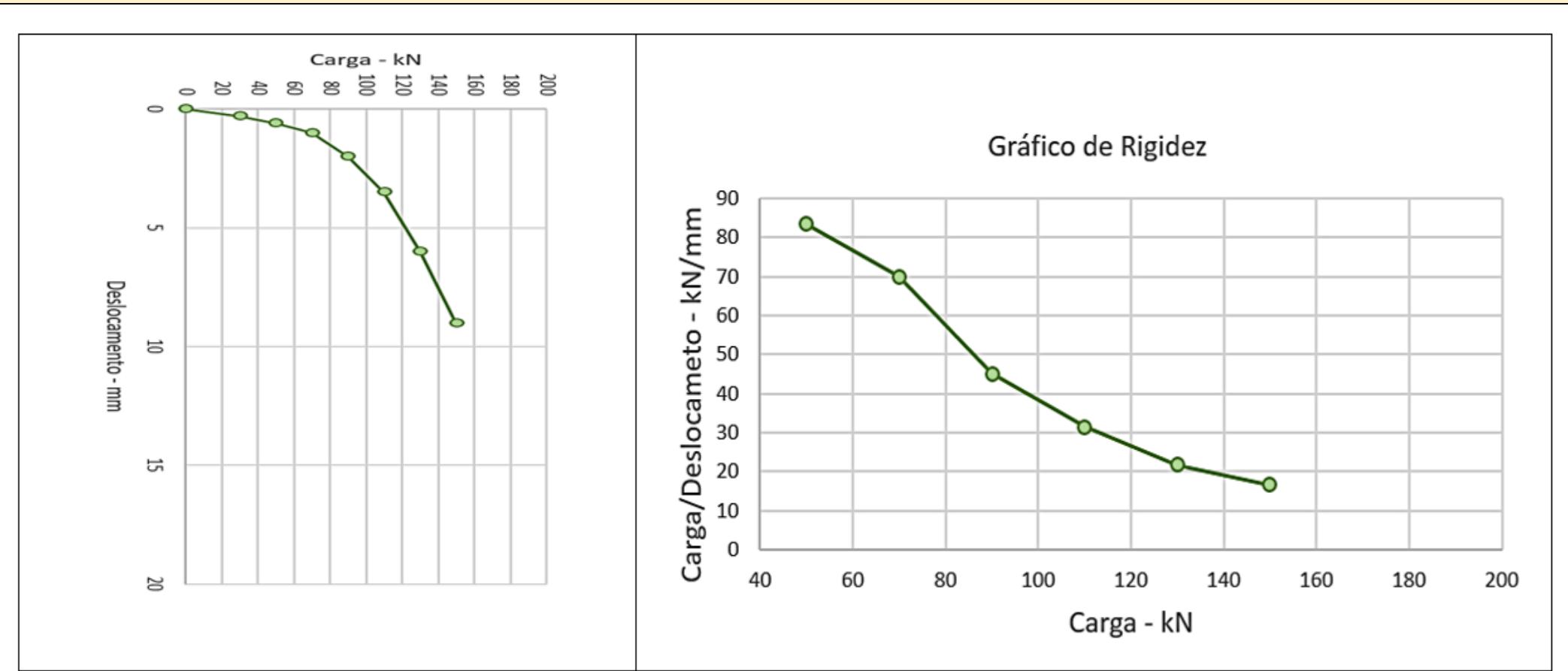
Tipos de Carregamento



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

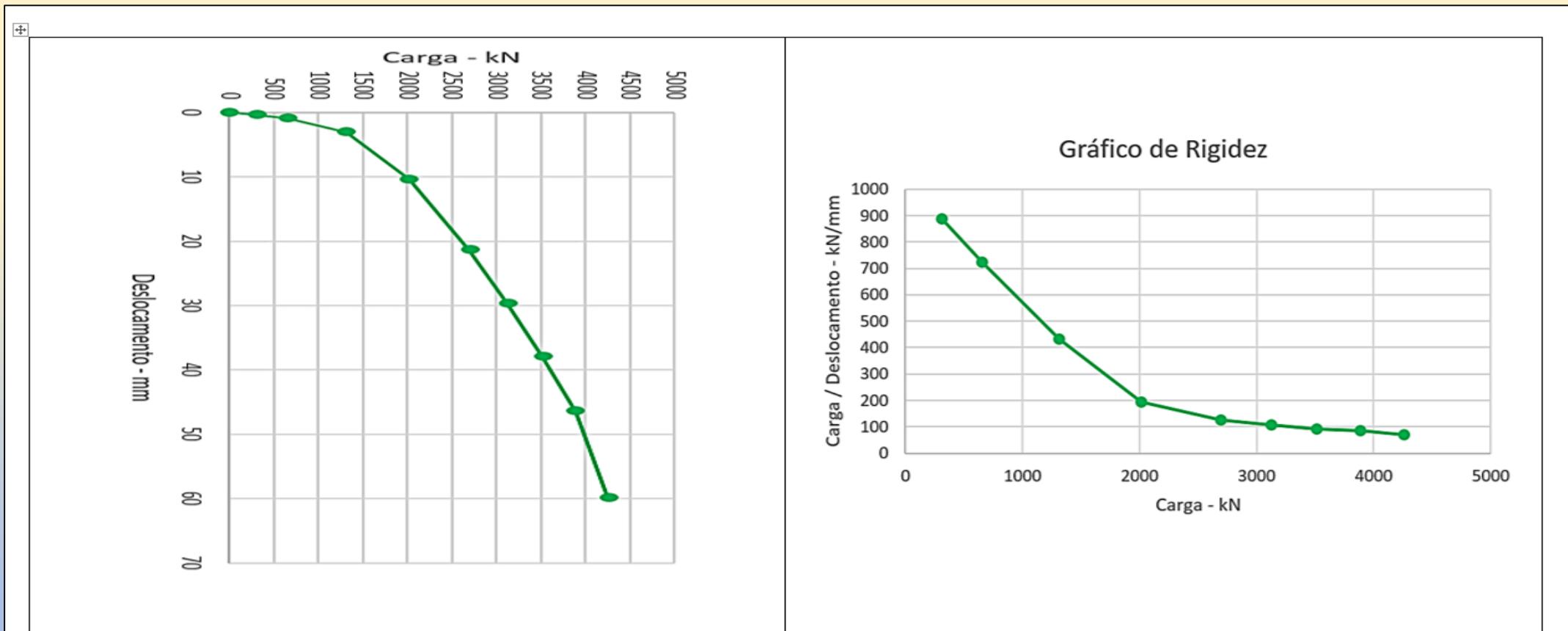
Tipos de Carregamento



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

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

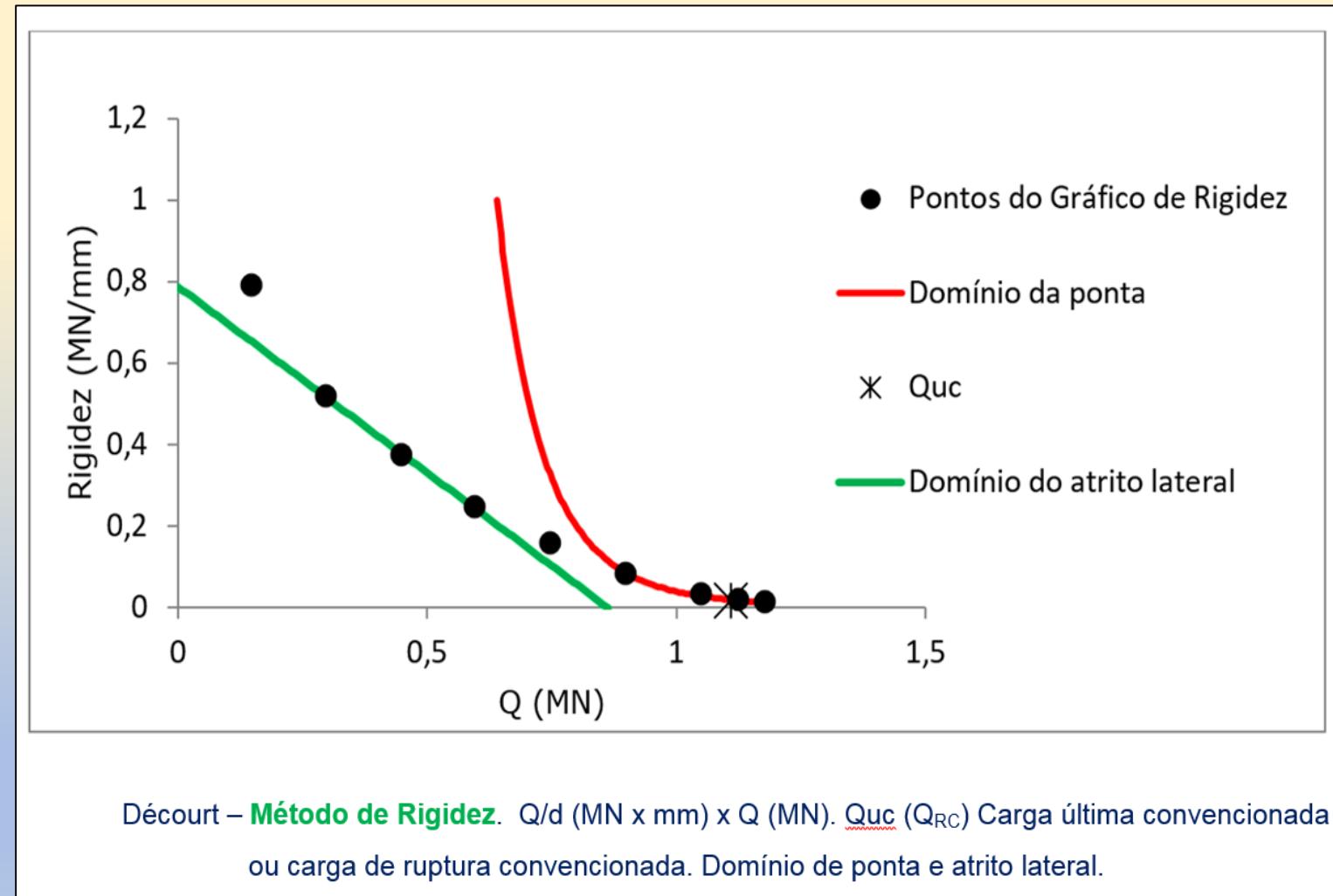
Tipos de Carregamento



Ensaio em Estação – $D=1,0\text{m}$; $L=20\text{m}$ – 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.

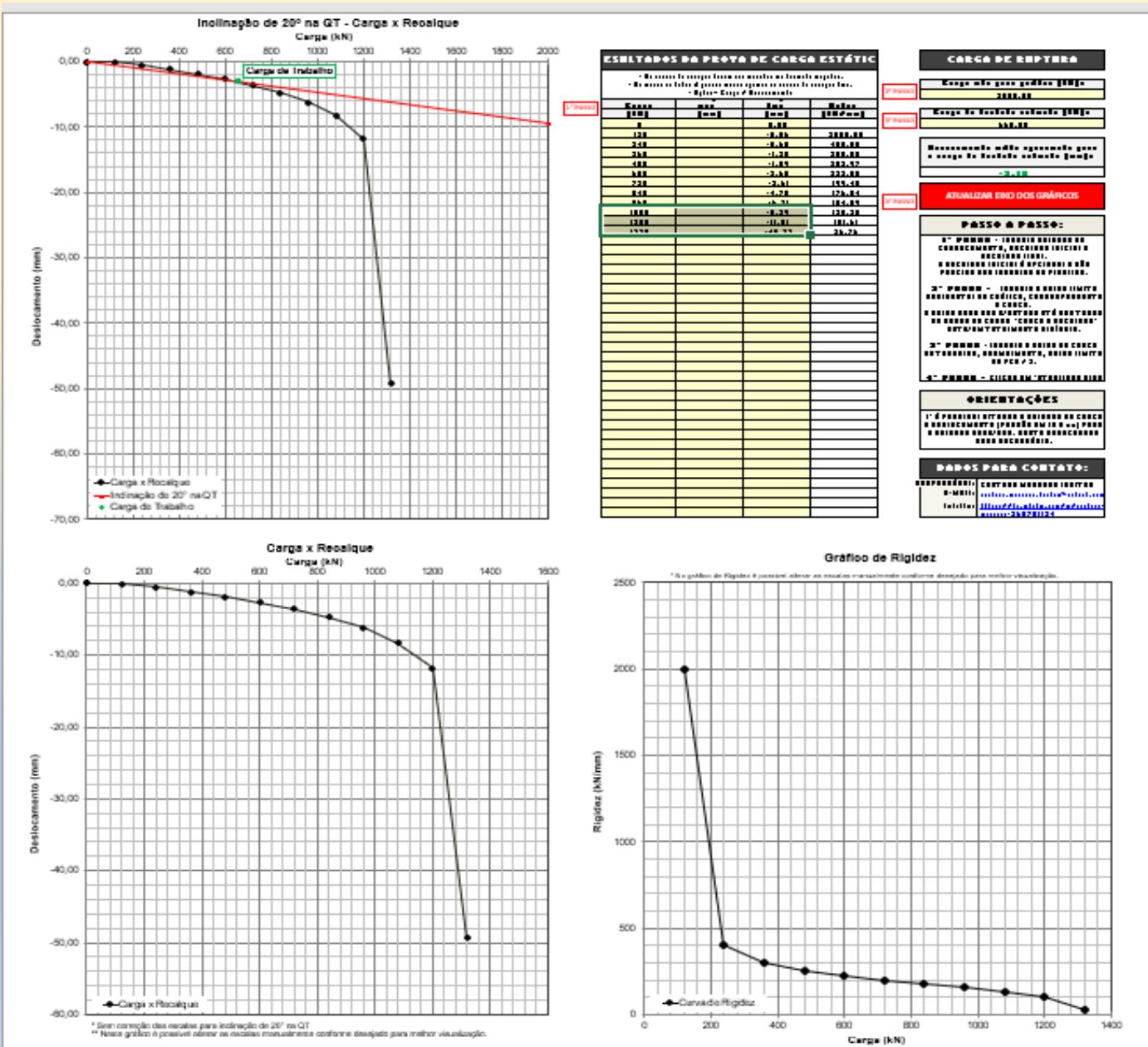
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

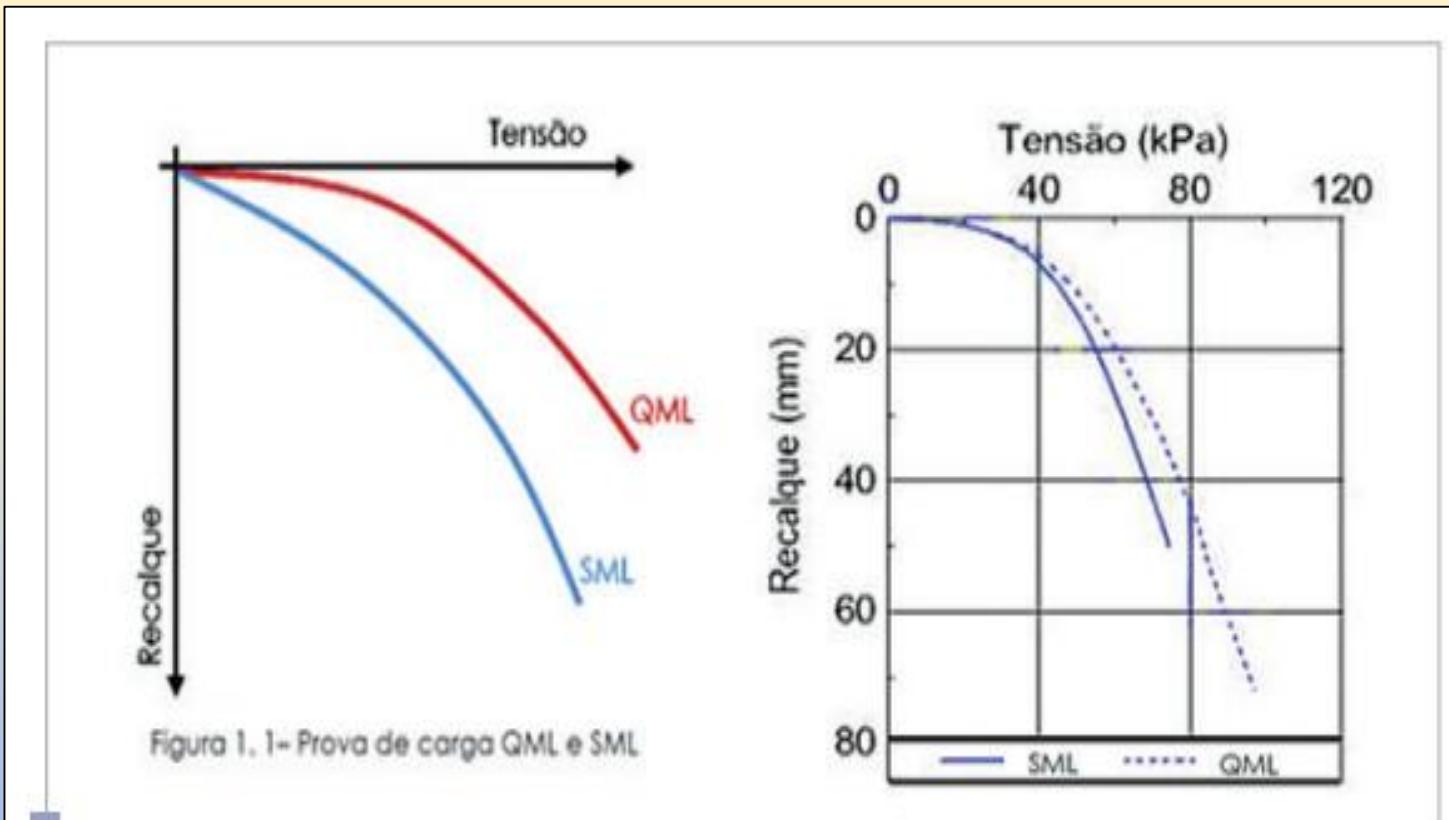


Figura V.6A — Provas de carga lenta (SML) e rápida (QML). Prova de carga em placa. São Carlos, SP (COSTA, 1999).

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

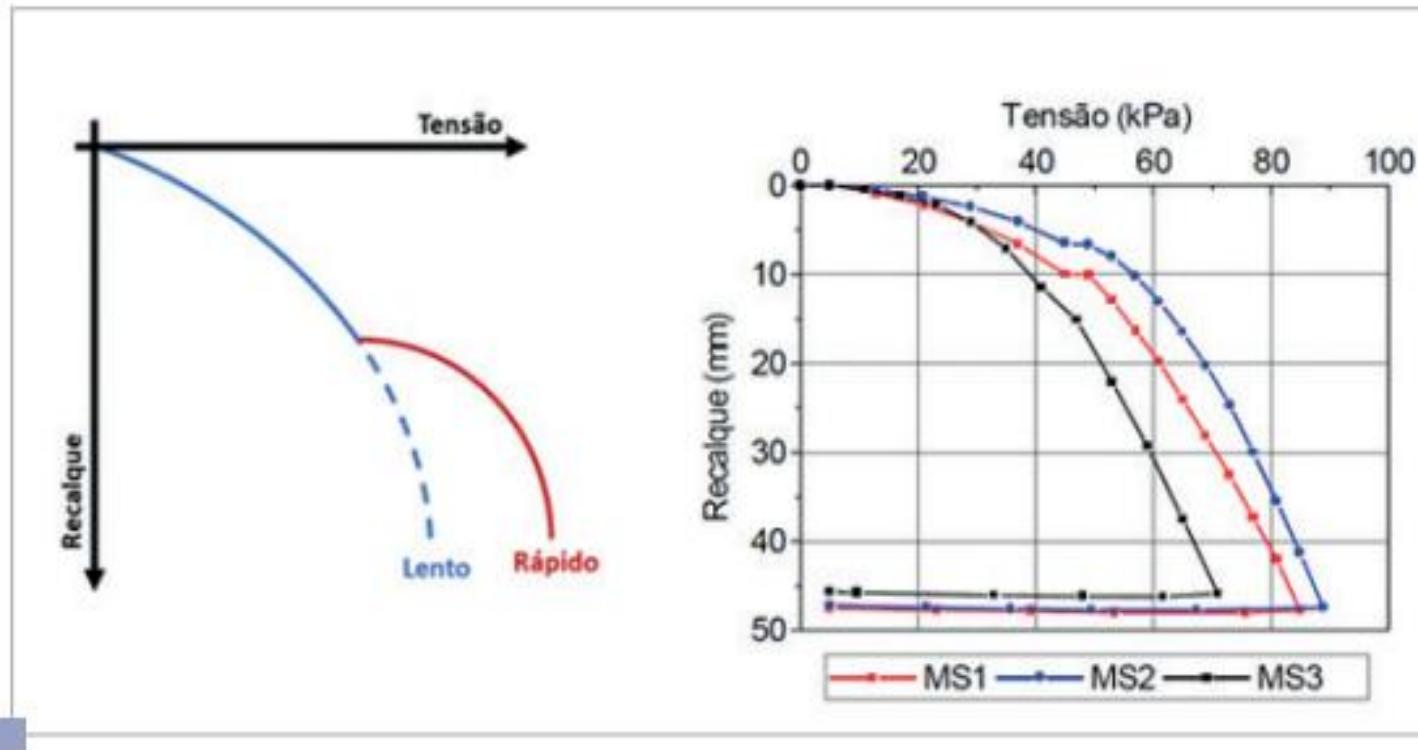


Figura V.6B — Prova de carga com carregamento misto. Descontinuidade da curva a partir do carregamento rápido. Prova de carga com carregamento misto em placa (COSTA, 1999).

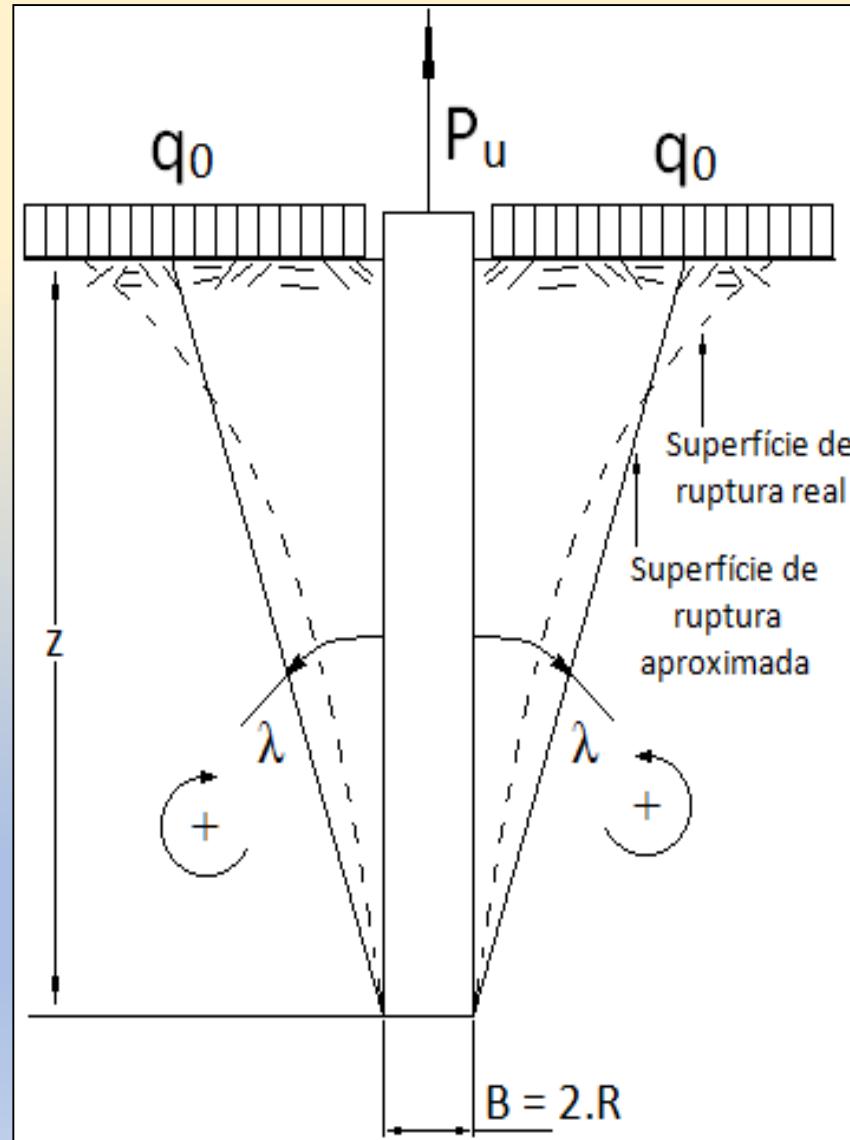
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

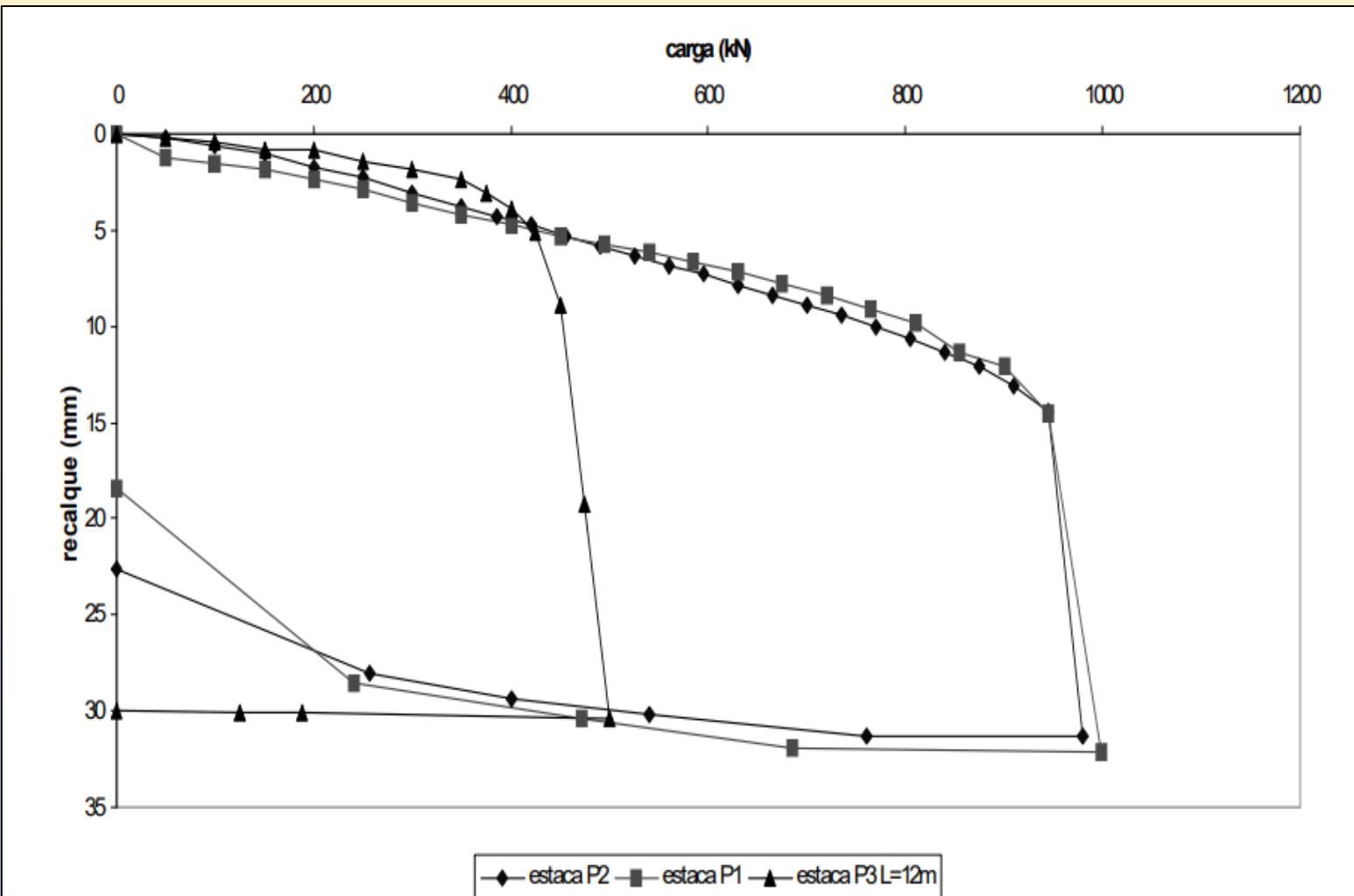


Figura 3.14. Curvas carga x deslocamento obtidas para as estacas metálicas perfil I.

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

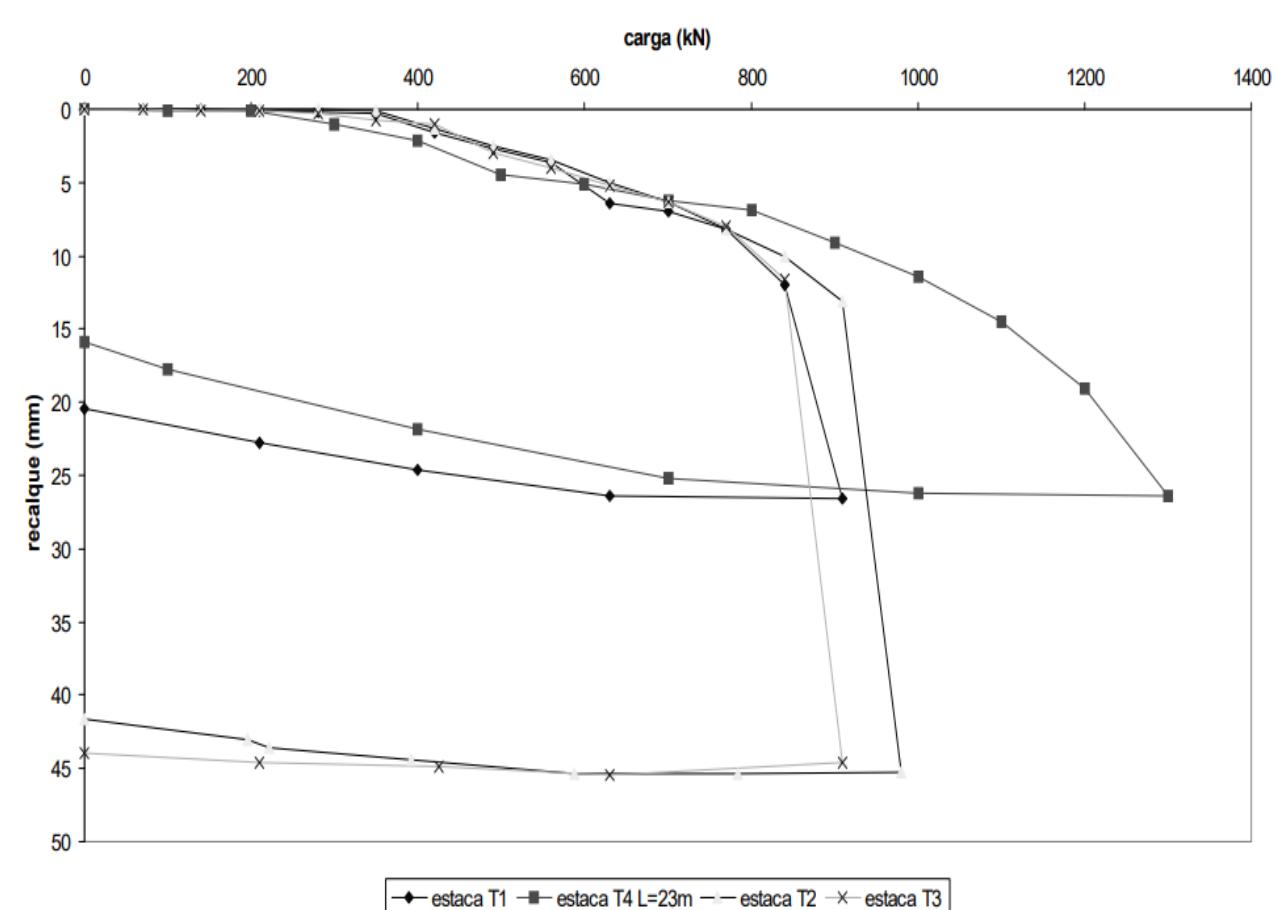


Figura 3.15. Curvas carga x deslocamento obtidas para estacas raiz.

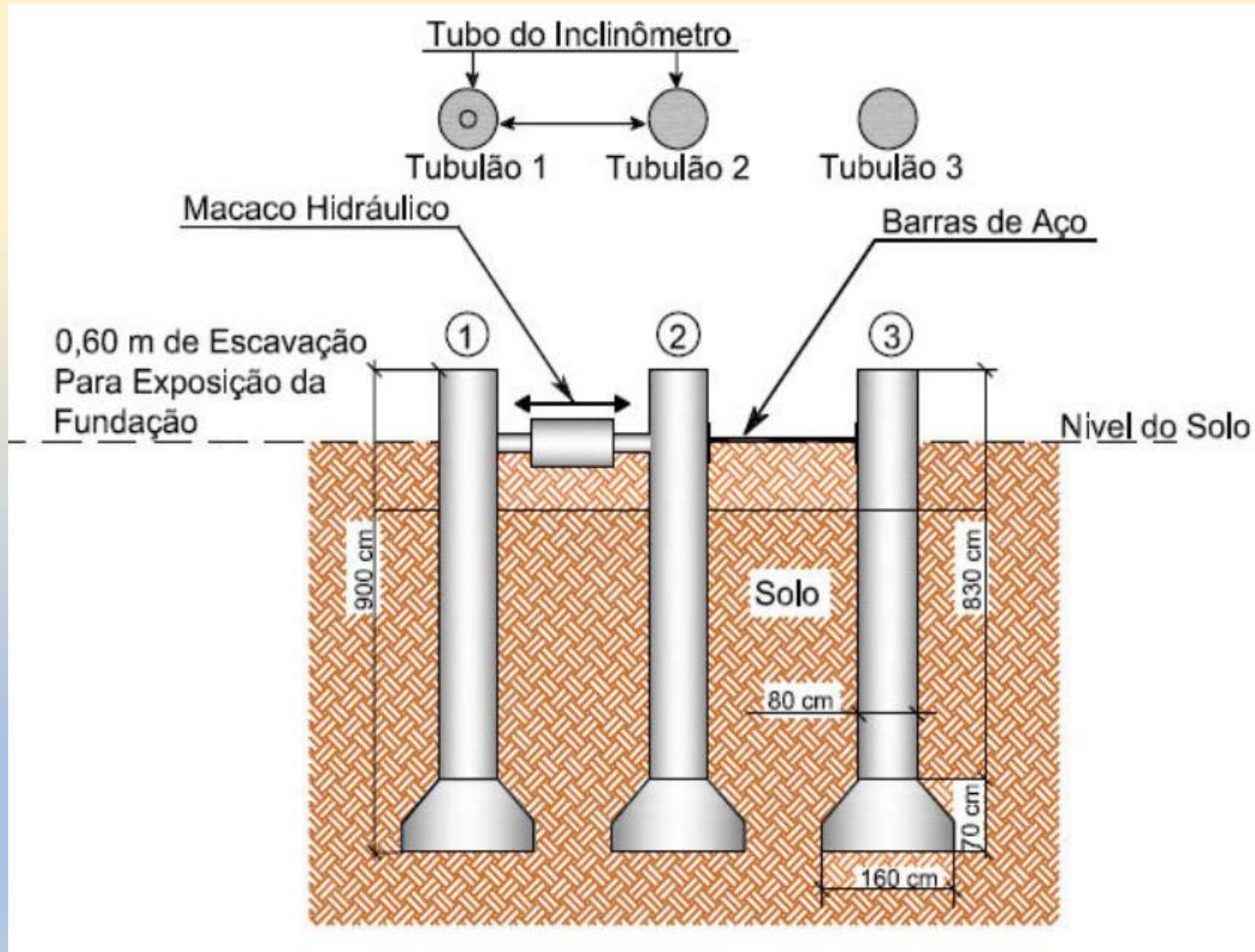
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

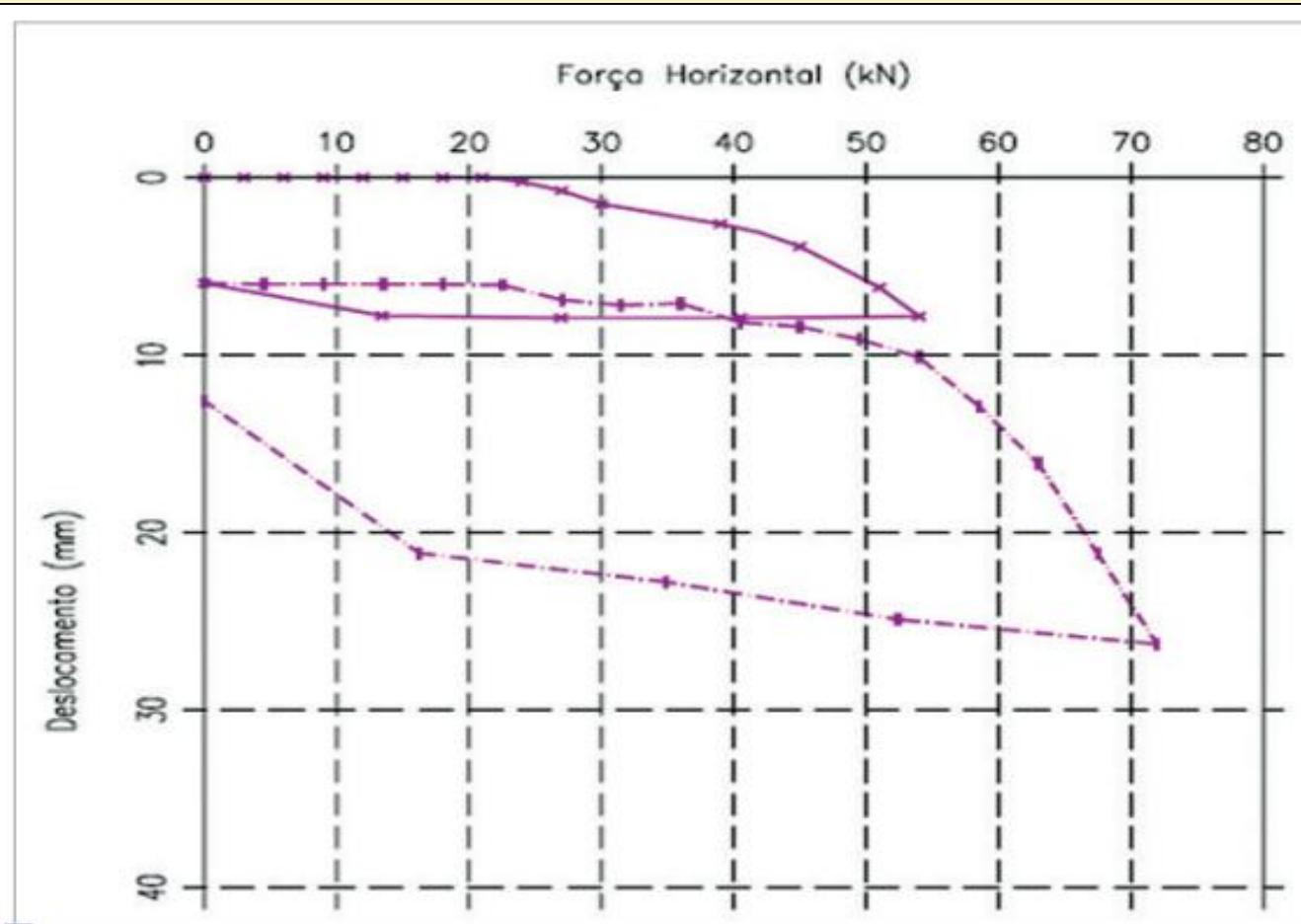


Figura V.24B — PC Horizontal – Estaca escavada – $D = 40 \text{ cm}$ – $L = 12 \text{ m}$ – Unicamp (ZAMMATARO, 2007).

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

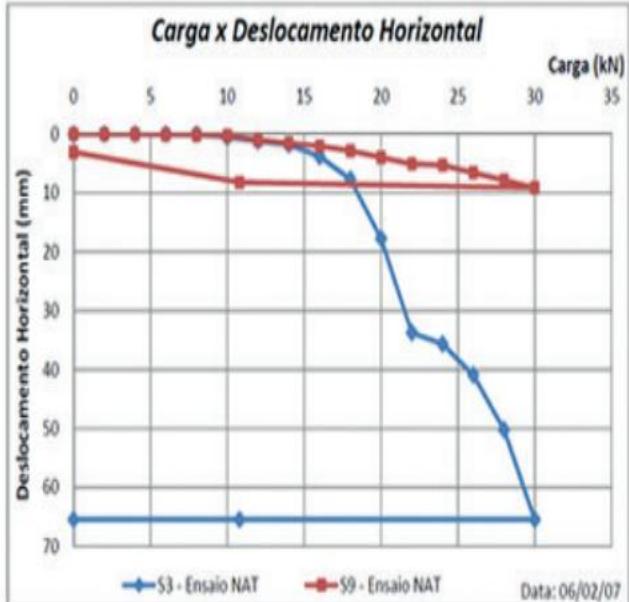


Figura V.25 — PC Horizontal – Estaca Strauss – $D = 32\text{ cm}$ – $L = 12\text{ m}$ – Londrina/PR – A) Descontinuidade da curva, indicando ruptura do elemento estrutural.
B) Ruptura a 70 cm de profundidade. (ALMEIDA, 2008).

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

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

$$M_{\max} = 0,79 HT$$

em que:

$$T = \sqrt{\frac{EI}{\eta_h}}$$

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.)

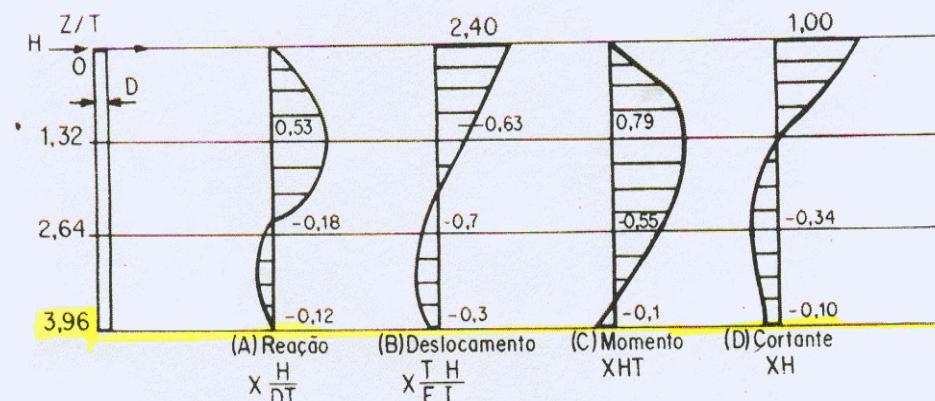


Figura 4.13 - Linhas de estado propostas por Miche

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

Dimensionamento de fundações profundas



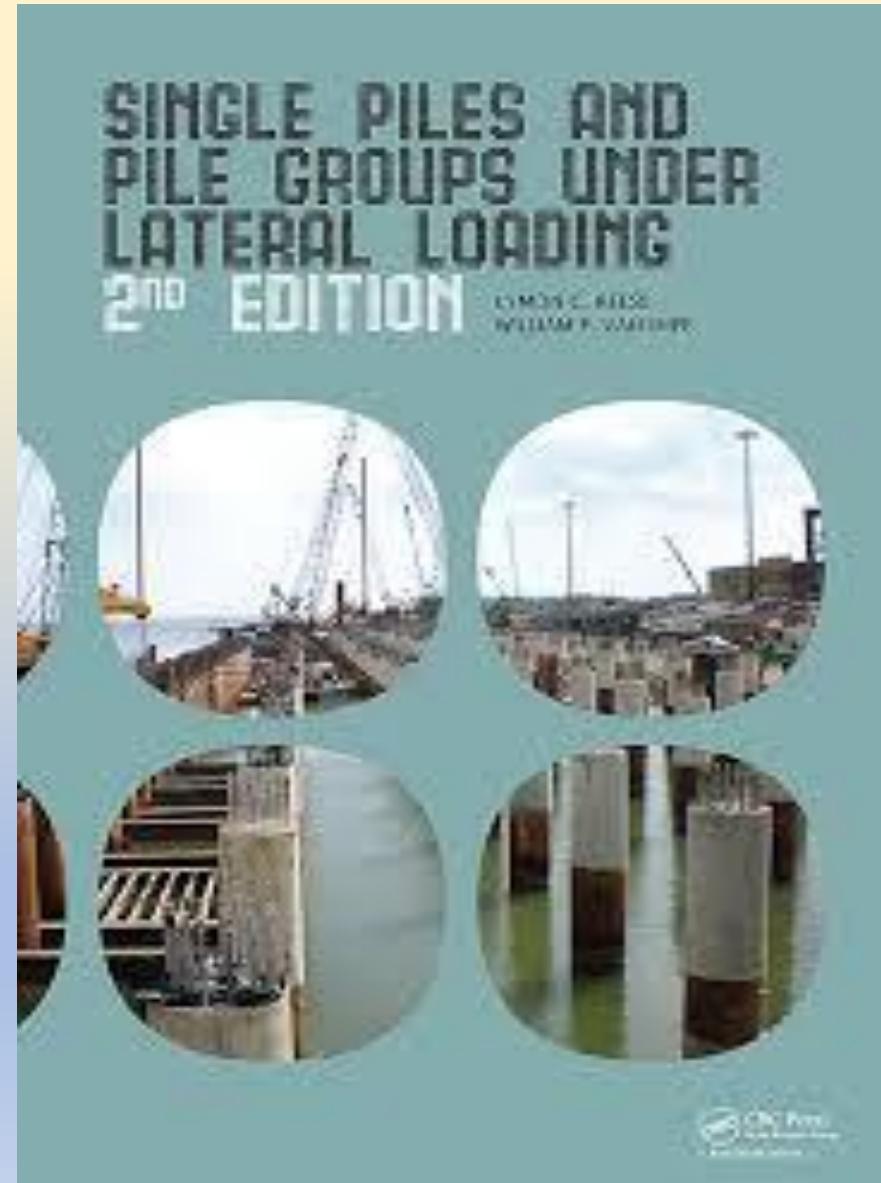
Urbano
Rodriguez
Alonso

Blucher

3^ª edição

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



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

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

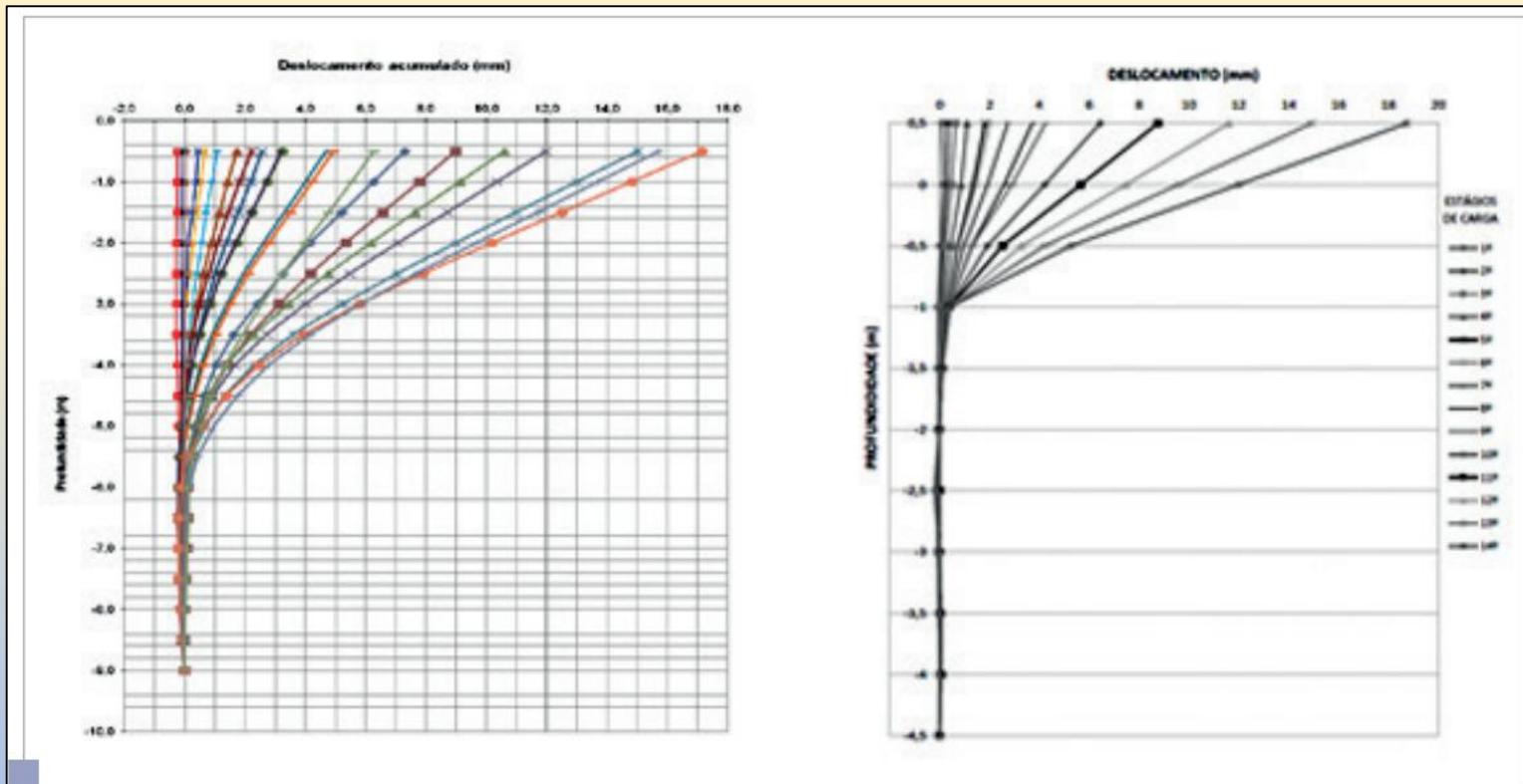


Figura V.29 — Deslocamentos horizontais em profundidade, obtidos com utilização de inclinômetro. A) Tubulão, $D = 80$ cm, 9 m de profundidade (KASSOUF, 2012). B) Estaca escavada, $D = 30$ cm, 5 m de profundidade (MARZOLA, 2016). Campinas/SP. Argila siltosa. Porosidade média: 63%. $SPT_{MÉDIO} = 4$ (até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

CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento

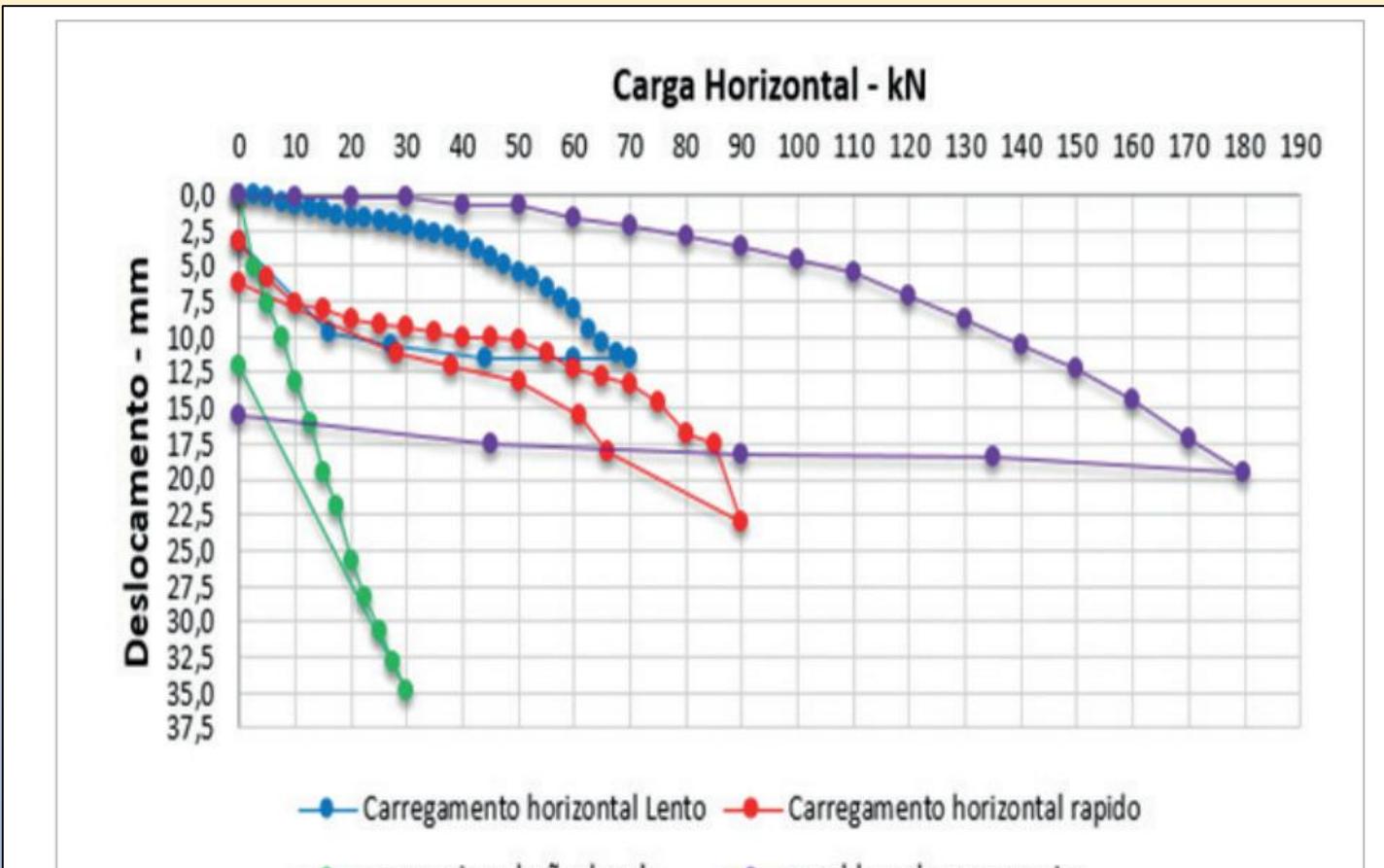
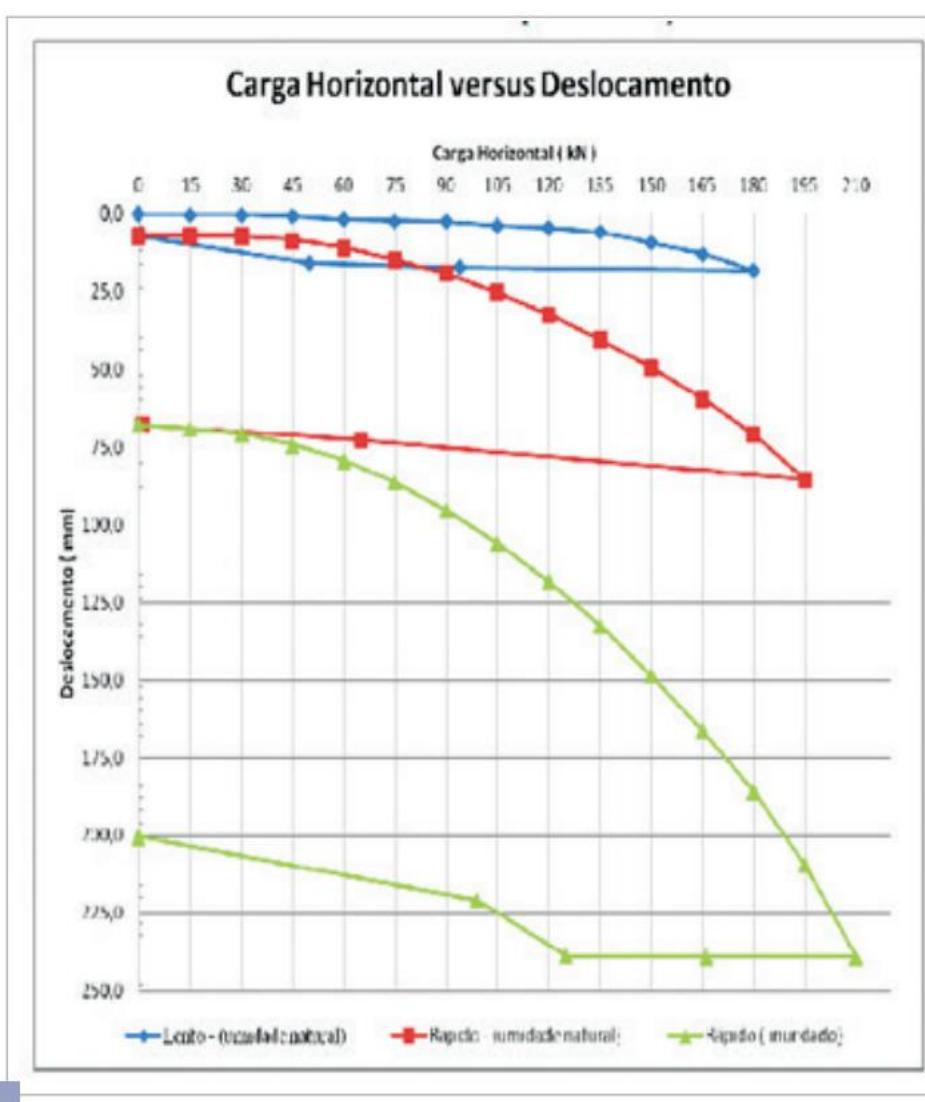


Figura V.36 — Provas de carga horizontal realizadas em perfil metálico (I, com 12 m de comprimento, bitola W 250 x 32,7 mm x kg/m). Campinas/SP. $SPT_{MÉDIO} = 4$, até 6m (SILVA, 2016).

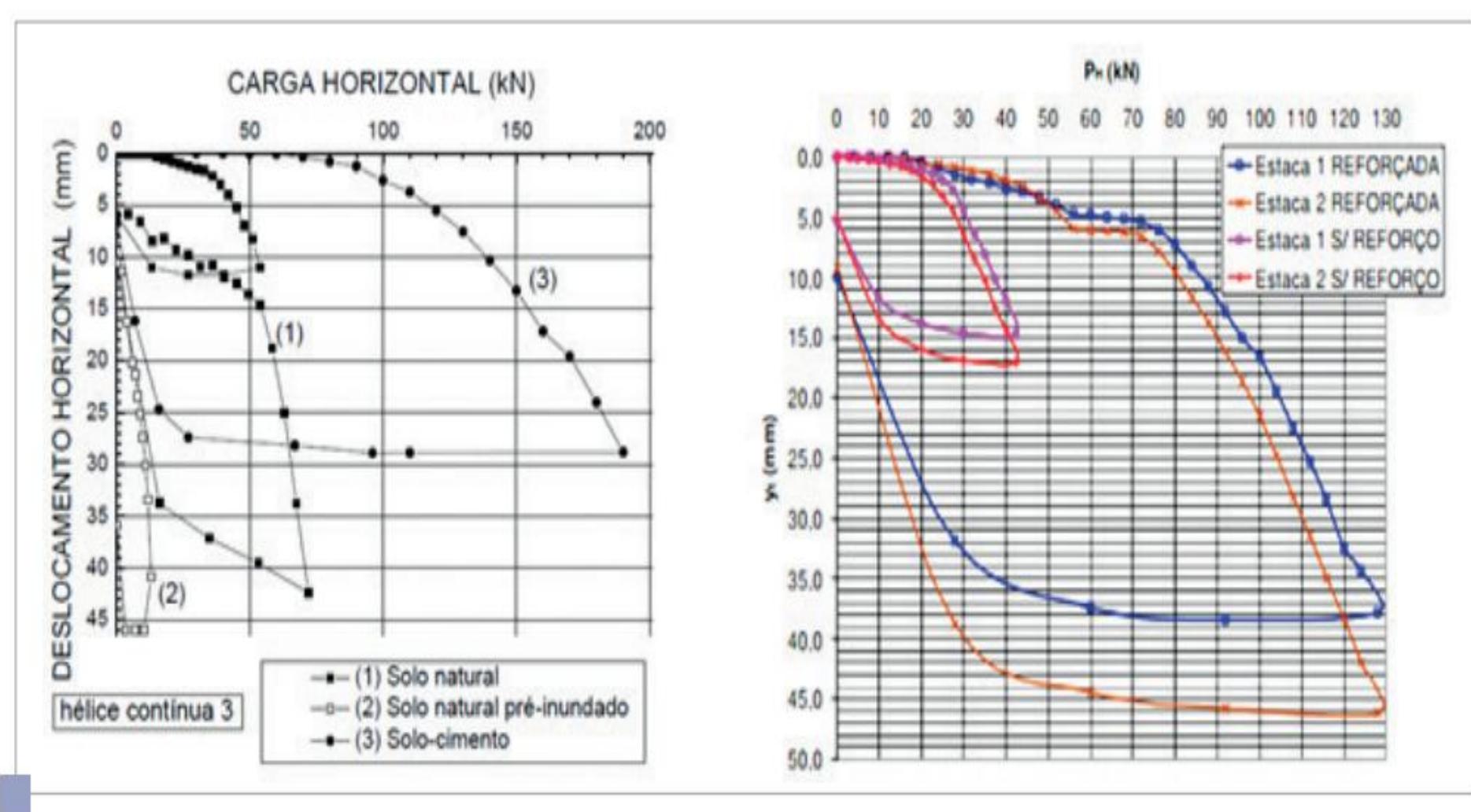
CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CURVA CARGA X DESLOCAMENTO

Tipos de Carregamento



CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122

A NBR 6122 convenciona 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:

Δ_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 convenciona 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:

Δ_r é o recalque de ruptura convencional;

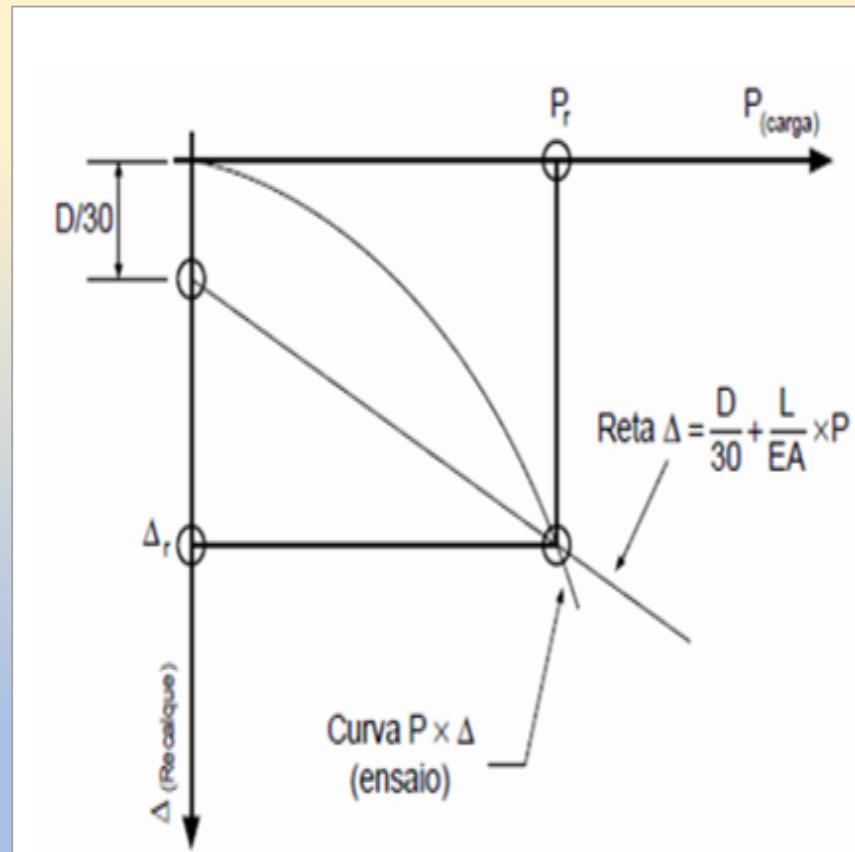
P_r é a carga de ruptura convencional ou convencionada;

L é o comprimento da estaca;

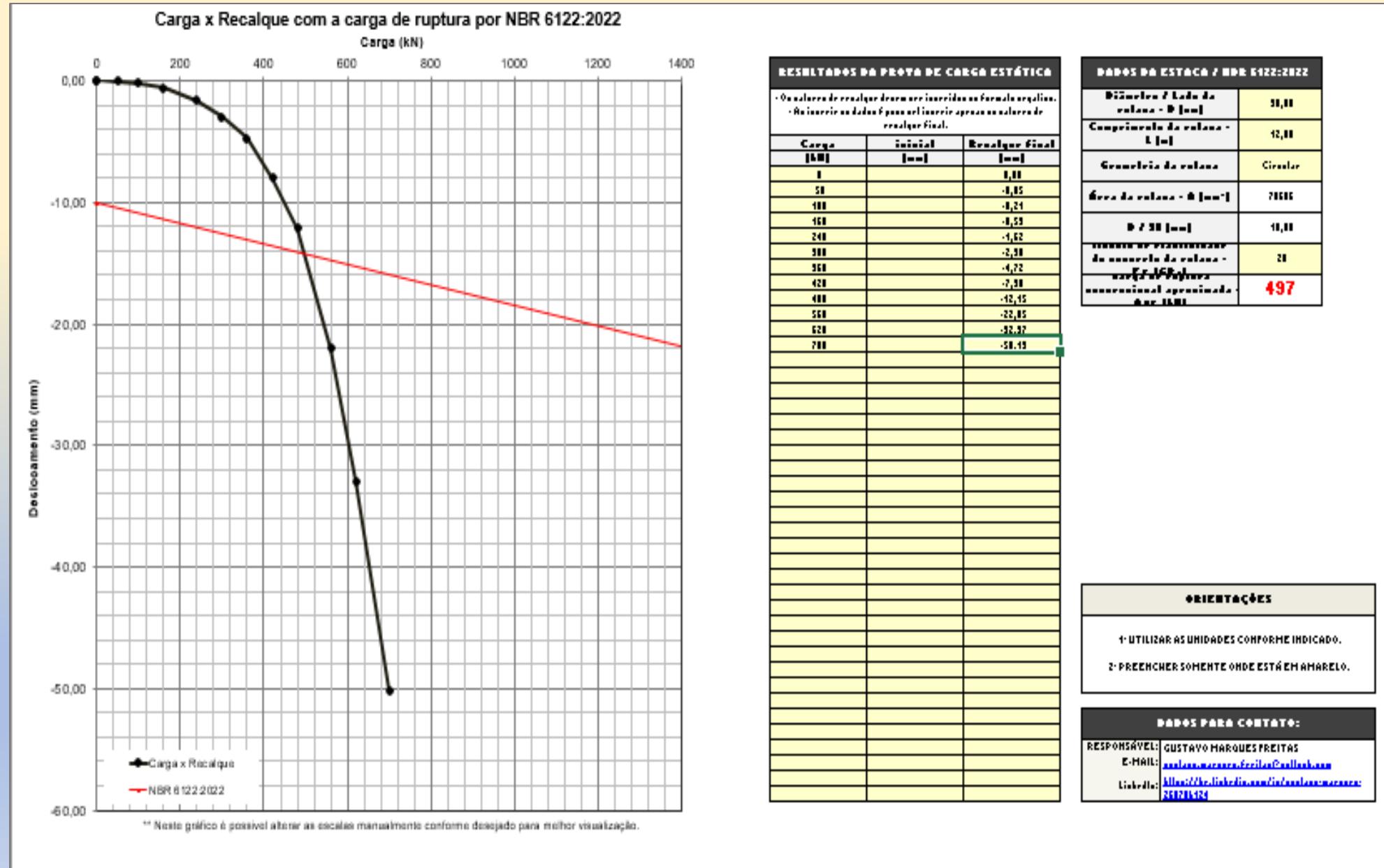
A é a área da seção transversal da estaca (estrutural);

E é o módulo de elasticidade do material da estaca;

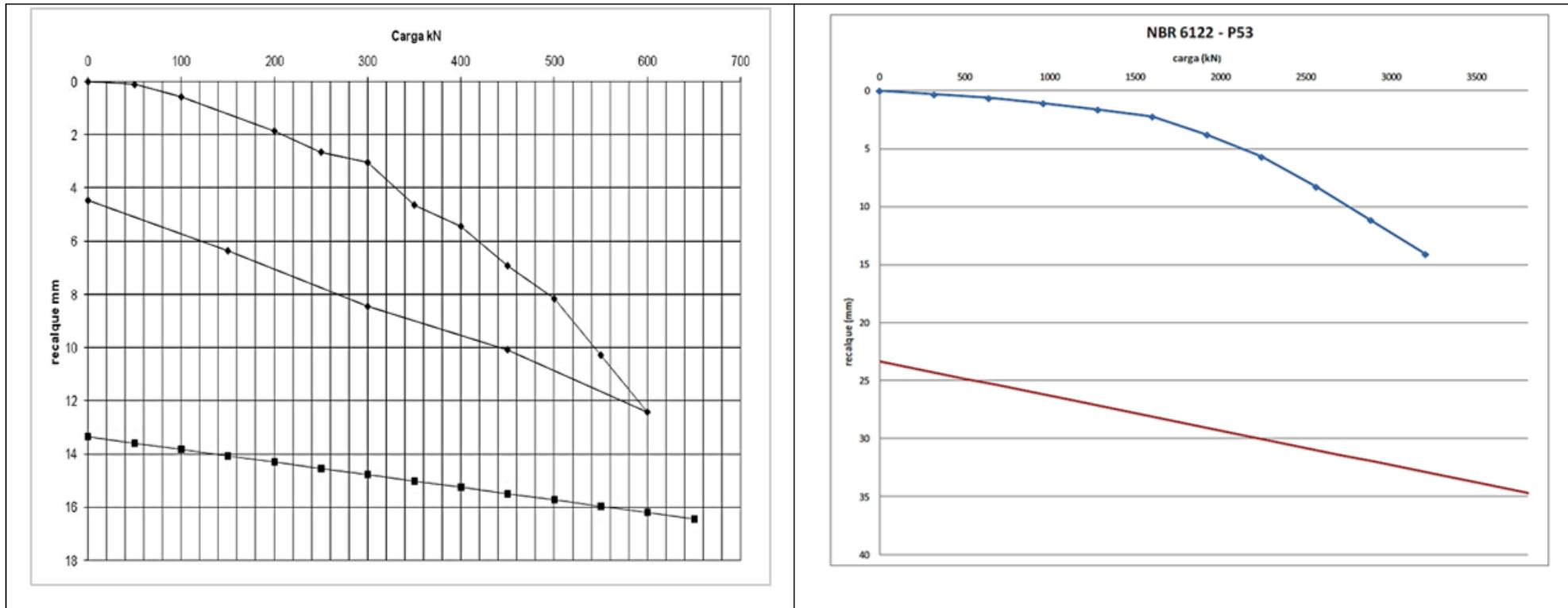
D é o diâmetro do círculo circunscrito à seção transversal da estaca ou, no caso de barrete, o diâmetro de círculo de área equivalente ao da seção transversal da estaca.



CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122

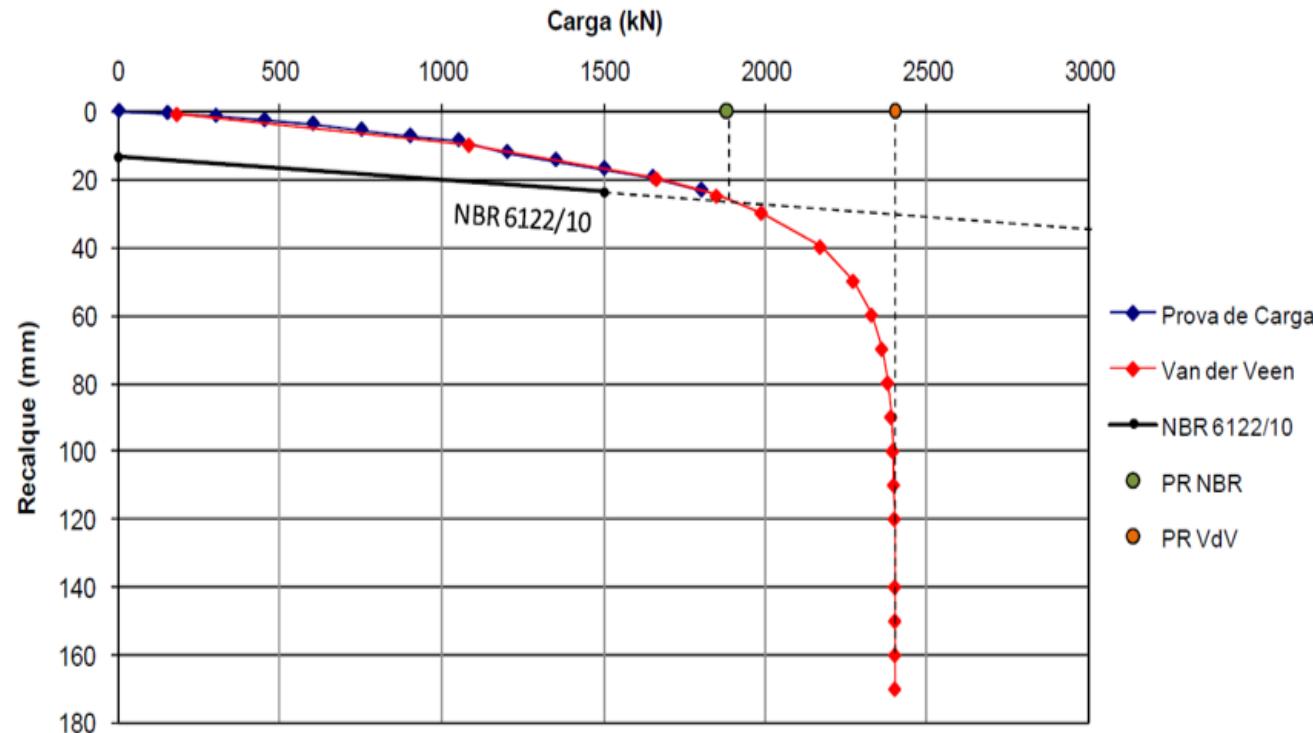


CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122



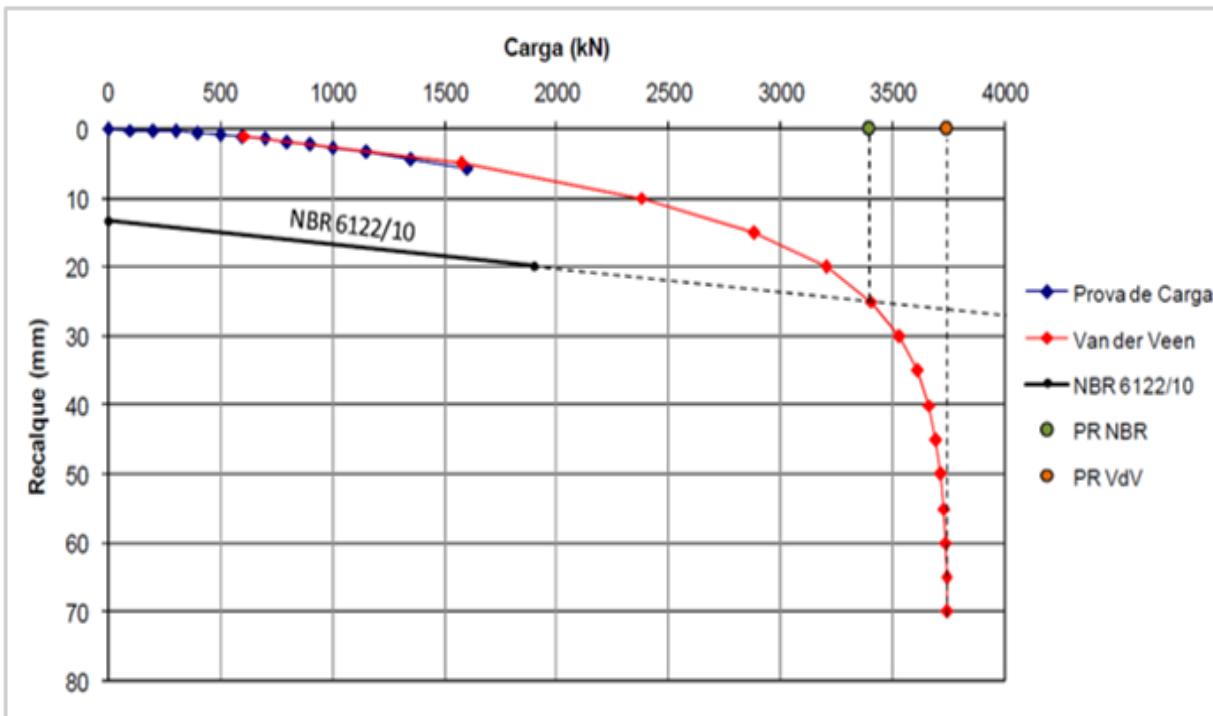
Situações em que não é possível a aplicação do método da NBR 6122 para convencionar a carga de ruptura. A) Estaca Hélice Contínua. D= 40cm; L= 12m. Campinas, SP. (Paschoalin Filho, 2008). B) Estaca Hélice Contínua. D= 70cm; L= 24m. Rio de Janeiro - RJ (Souza, 2018).

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



Utilização de método de extração 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).

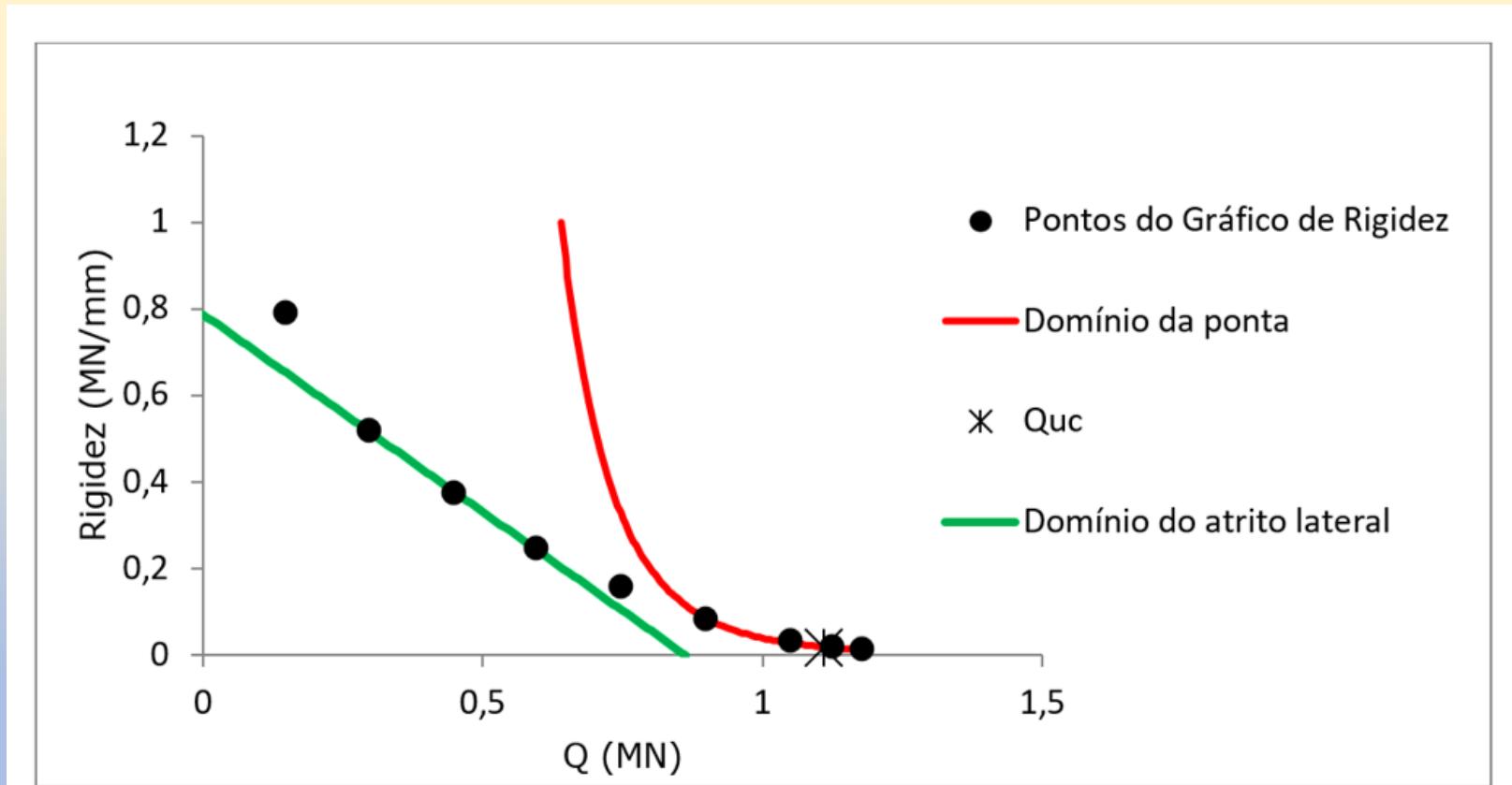
CARGA DE RUPTURA CONVENCIONADA – NBR 6122 – Com auxílio de Extrapolação da Curva por Van der Veen



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. Vitoria, ES. (Adaptado de Alledi, 2013).

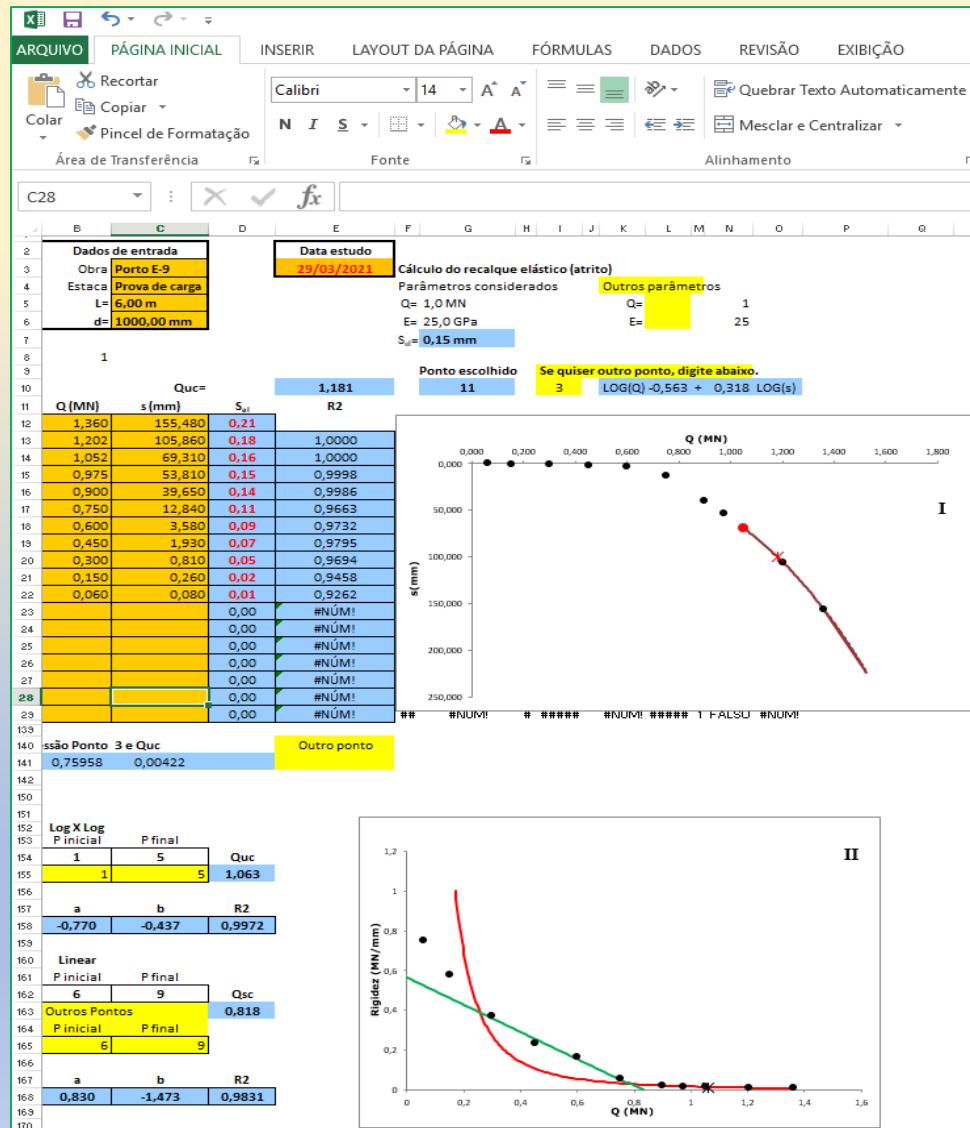
MÉTODO DA RIGIDEZ DE DÉCOURT

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.



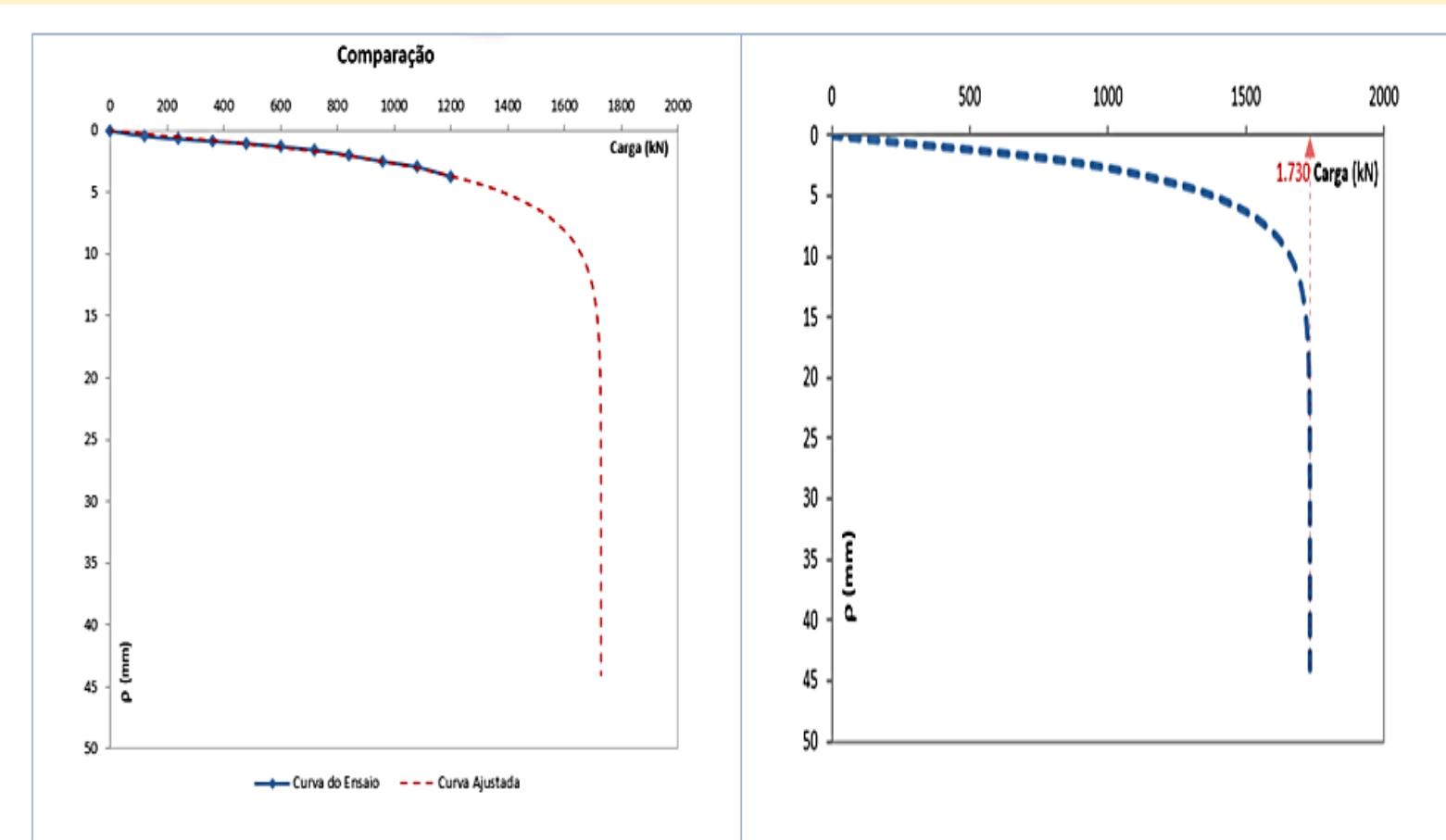
Décourt – **Método de Rigidez**. Q/d (MN x mm) x Q (MN). Q_{uc} (Q_{RC}) Carga última convencionada ou carga de ruptura convencionada. Domínio de ponta e atrito lateral.

MÉTODO DA RIGIDEZ DE DÉCOURT – Programa Computacional

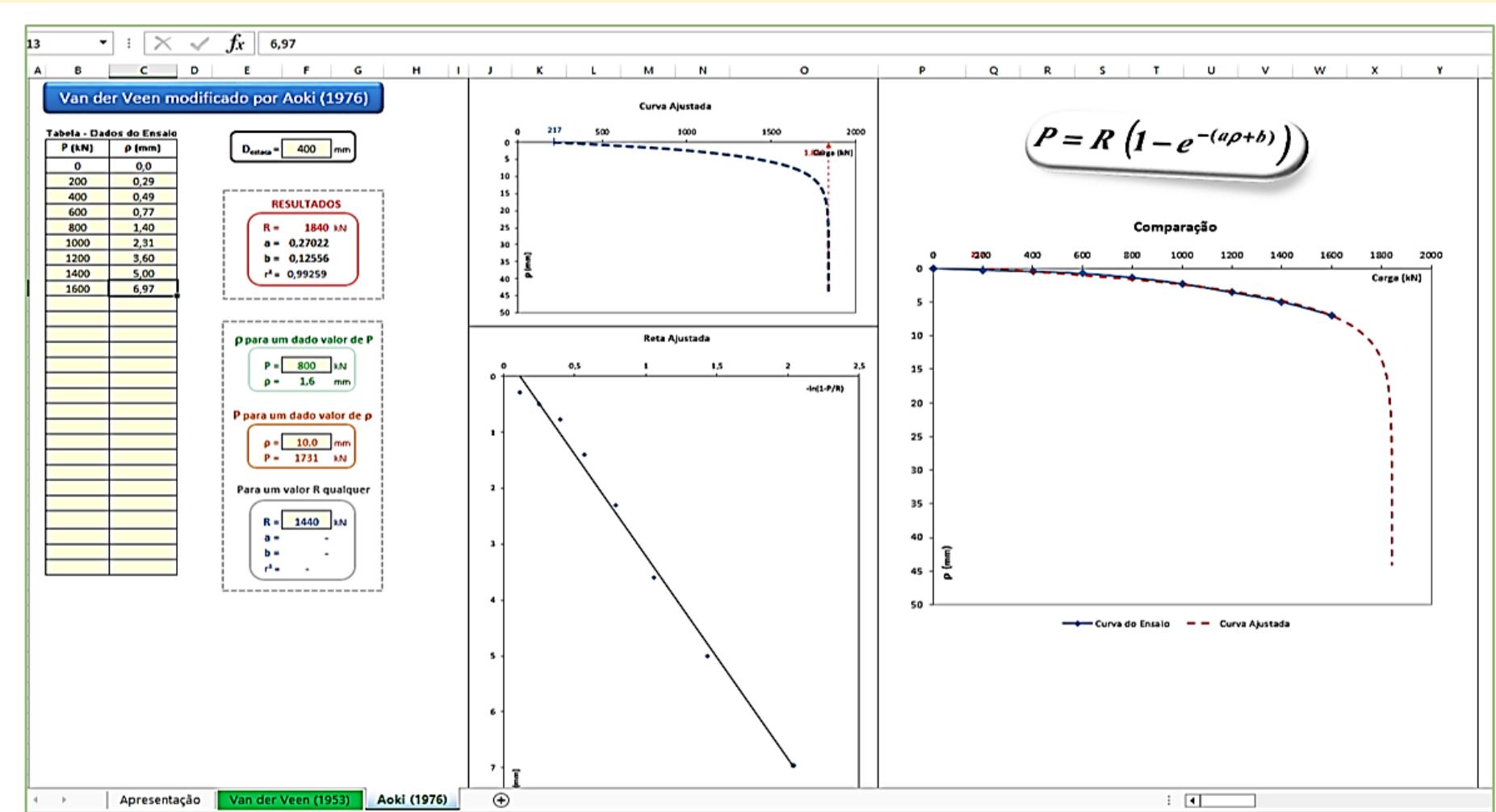


MÉTODO DE VAN DER VEEN

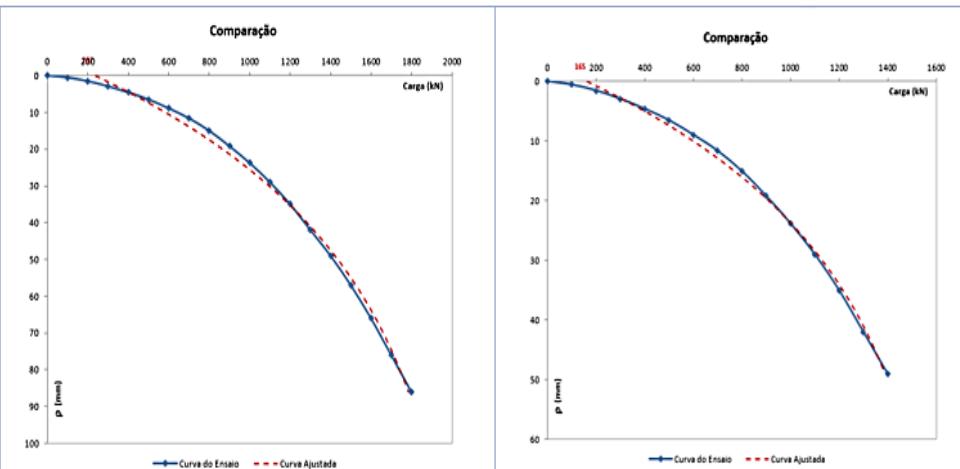
Van der Veen, em seu trabalho “The bearing capacity of a pile”, publicado na “IIIrd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering”, em 1953, apresenta equação exponencial para a curva carga x deslocamento.



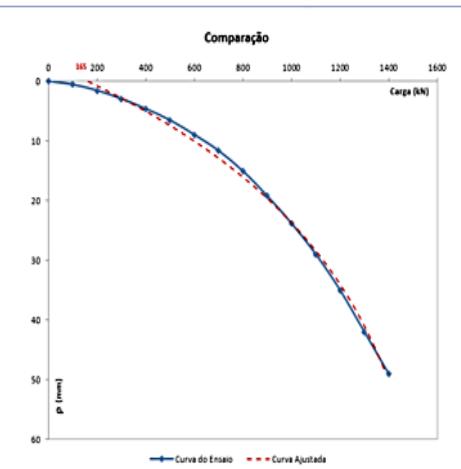
A) Curva da prova de carga e curva de Van der Veen. B) Curva de Van der Veen – Carga de Ruptura.



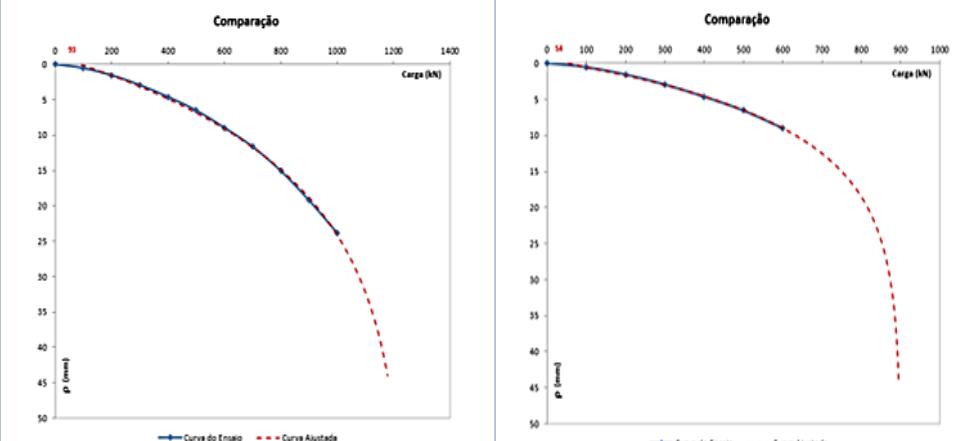
Exemplo da utilização da planilha de Schiavon (2013)



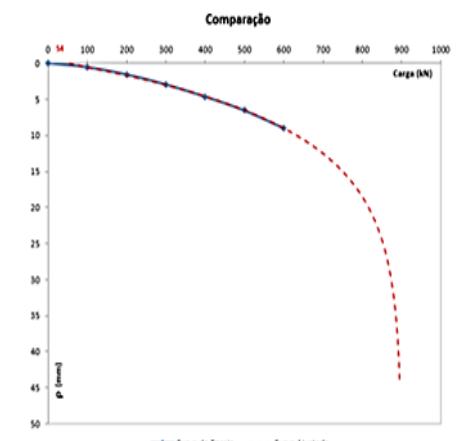
Todos Pontos – Carga máxima ensaio
 $1800\text{kN} - Q_{RVV} = 2100\text{kN}$



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 estacão, utilizando-se pontos relativos a uma % da carga máxima.

**AB
MS**
Associação Regional
de Engenheiros de Mato Grosso do Sul

**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

nrsp@abms.com.br