



Departamento de Construção Civil
Curso de Engenharia Civil



Geotecnia de Fundações TC 041

8º Semestre

Organizado por:

Profa. Caroline Tomazoni Santos

Prof. Eduardo Dell'Avanzi

Profa. Liamara Paglia Sestrem

Prof. Vítor Pereira Faro

Eng. Civil Isabel Cristina Salah, Mestranda PPGCECC

Eng. Civil Isabela Grossi da Silva, Mestranda PPGCECC

1



Sumário

- Esta aula aborda os temas:
 - Prova de carga estática em estacas;
 - Ensaio de carregamento dinâmico.



2



PROVA DE CARGA ESTÁTICA EM ESTACA

3



Provas de carga

- Prova de carga – NBR-12131/2006;
- Método mais confiável de avaliação de performance, devido a dificuldade de modelar o mecanismo de interação solo-estaca.
- Tipos de provas de carga:
 - SML – Slow Mantained Load;
 - CPR – Constant Rate of Penetration;
 - CLT – Cyclic Load Test;
 - QML – Quick Manteined Load.

4



Provas de carga

- Tipos de Provas de Carga:
 - SML – Slow Manteined Load:
 - Trata-se de provas de carga em que o carregamento e o deslocamento são procedidos em estágios, mantido o tempo necessário para a estabilização das deformações sob ação da carga aplicada.
 - CPR – Constant Rate of Penetration:
 - Neste tipo de prova de carga a cabeça da estaca é forçada a recalcar com velocidade constante, normalmente na ordem de 0,50 cm/min. O tempo de duração de uma prova de carga é de 2 a 3 horas.



5



Provas de carga

- Tipos de Provas de Carga:
 - CLT – Cyclic Load Test:
 - Neste tipo de prova de carga procede-se ciclos de carga e descarga. O tipo de carregamento pode ser o SML ou CRP.
 - QML – Quick Manteined Load:
 - Este tipo de prova de carga é comparável ao CRP, no sentido de que se procura eliminar a influência das deformações que dependem do tempo de aplicação de um estágio de carga, tal como medido nas provas de cargas do tipo SML.



6

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Provas de carga

- Características – prova de carga estática:
 - Fornece a curva carga-recalque da estaca;
 - A estaca na qual o ensaio é realizado é inutilizada;
 - Ensaio custoso;
 - A NBR 6122/2010 especifica condições obrigatórias para a realização desse ensaio, encaixando nos requisitos apenas grandes obras e/o com grande carregamento.

GEGEO UFPR

7

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Provas de carga

- Esquema da Prova de Carga:

Viga de Reação

Macaco Hidráulico

Relógio comparador

Viga de referência

Tirante

Estaca

GEGEO UFPR

8



9



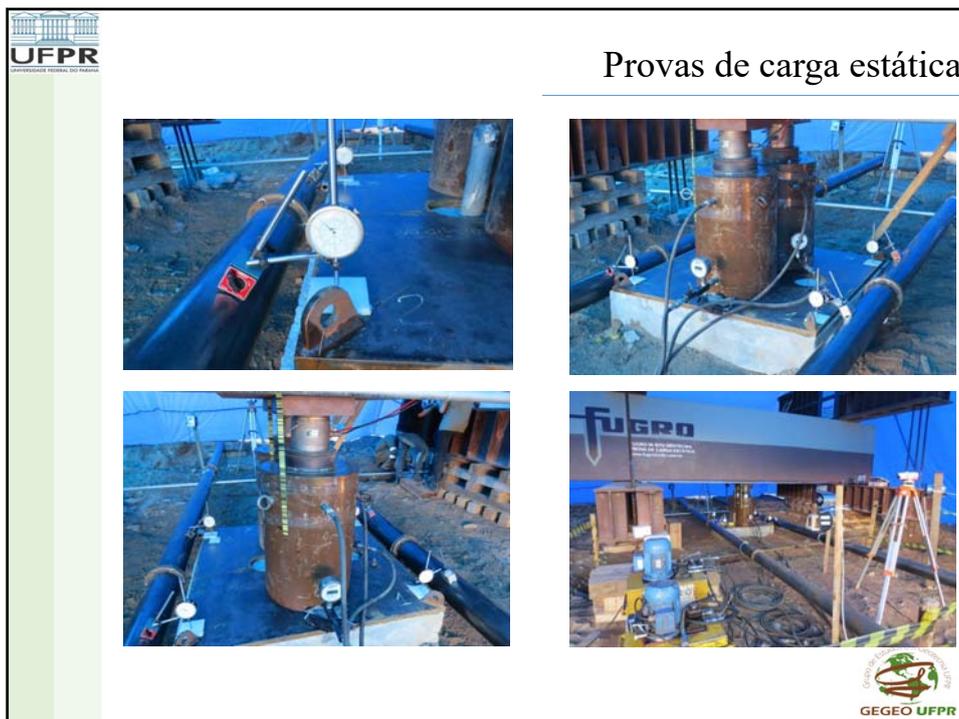
10



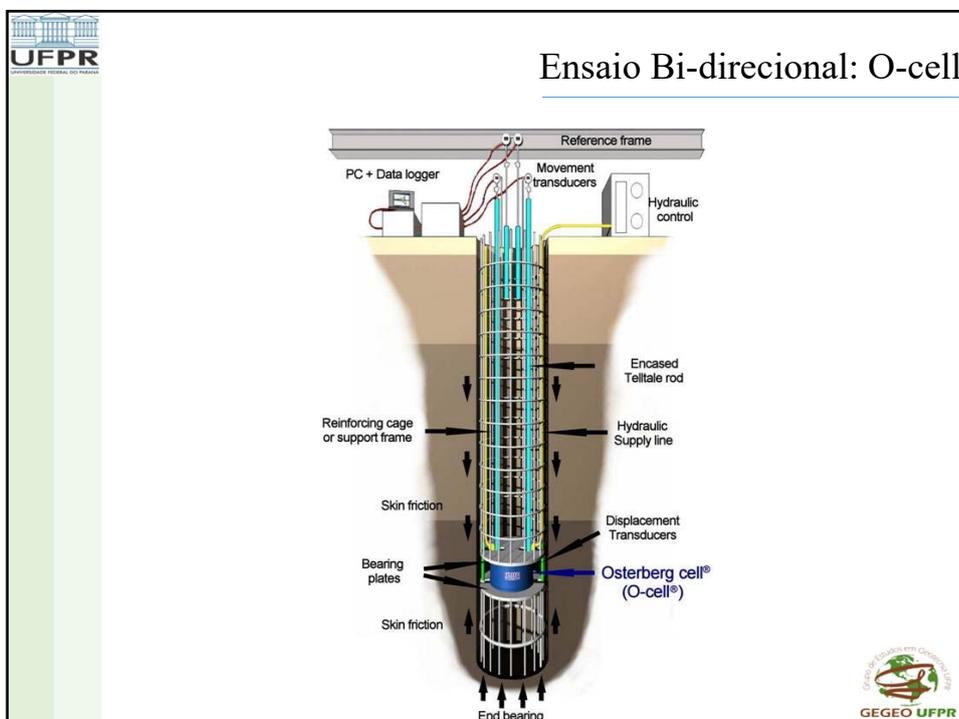
11



12



13



14



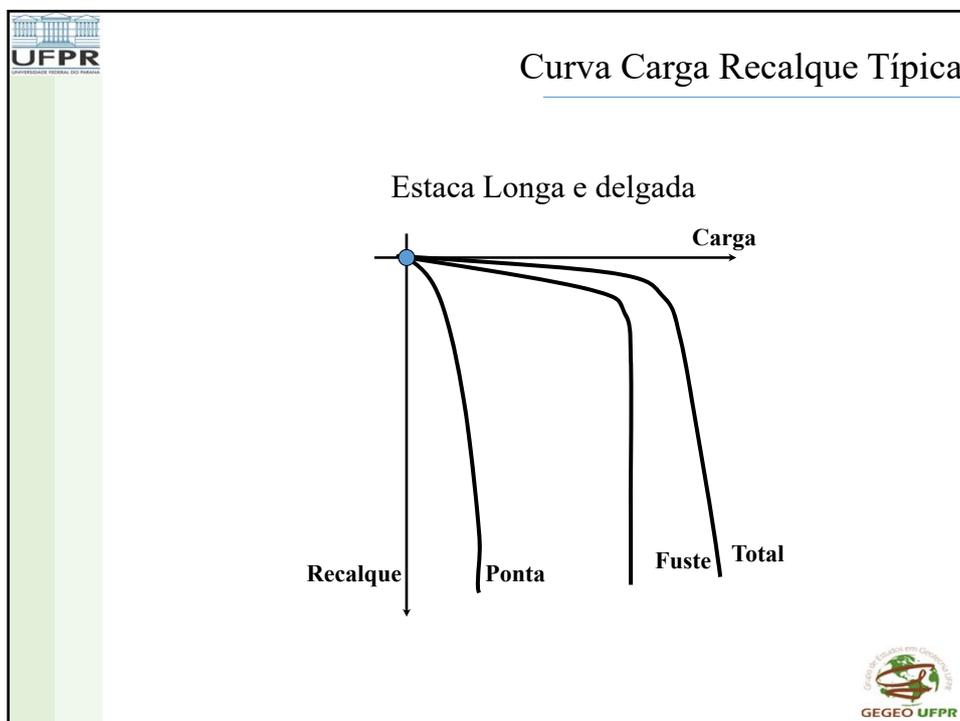
15



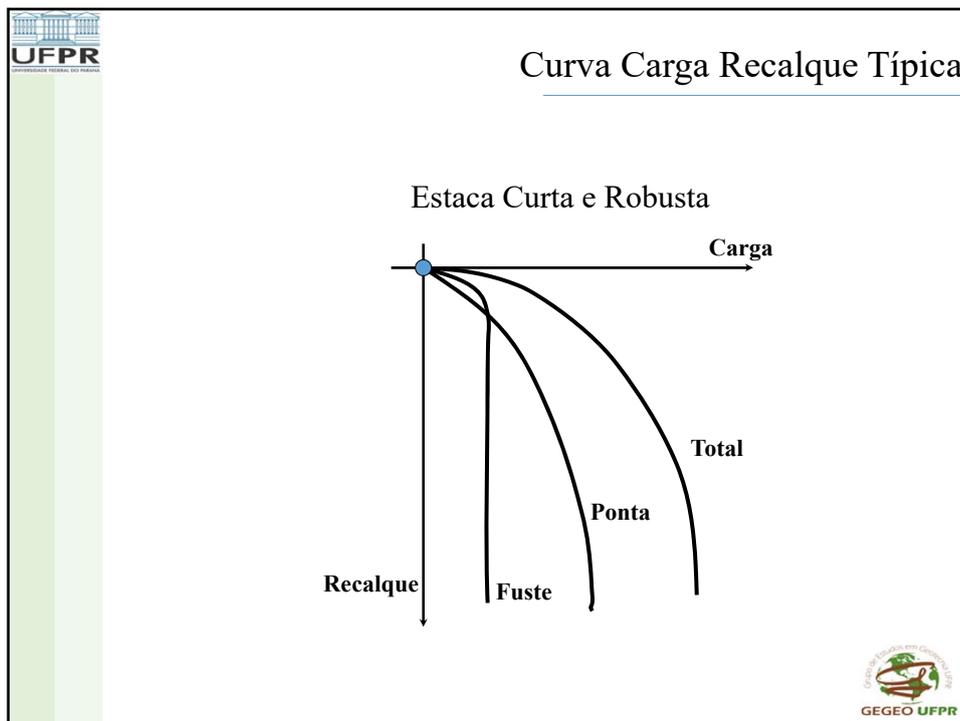
16



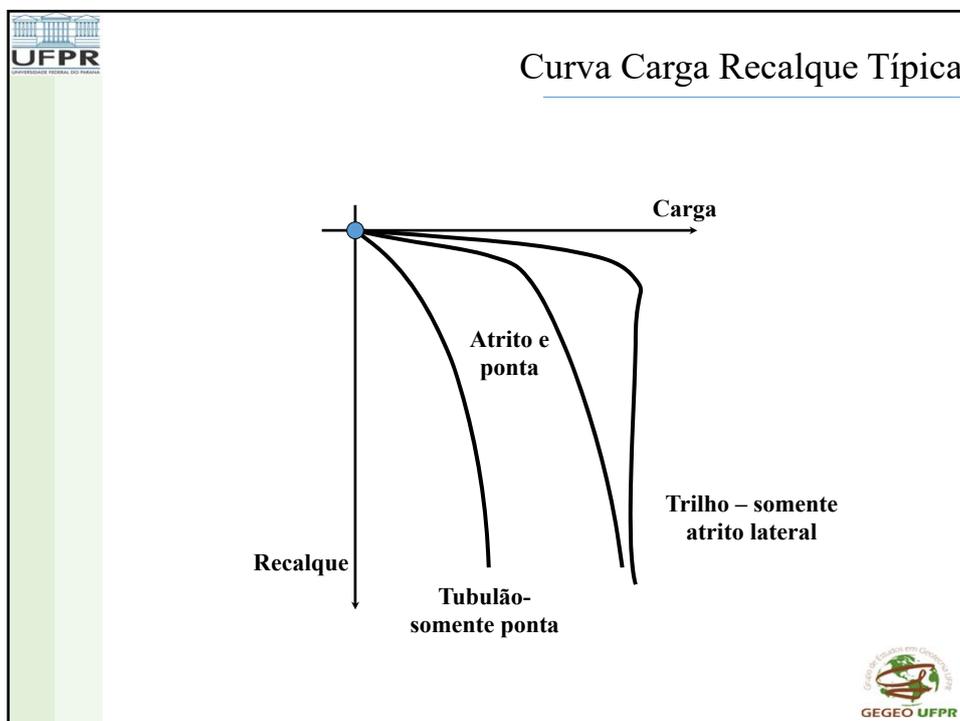
17



18



19



20



Execução da Prova de Carga Estática

- A prova de carga deverá ser executada até duas vezes a carga admissível prevista para a estaca.
- Cada estágio de carregamento deverá ser inferior a 20% da carga de trabalho prevista para a estaca.
- Após aplicado a carga do estágio deverão ser efetuadas leituras de recalques nos tempos de 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos seguindo-se 1, 2, 3, 4 horas até a estabilização dos recalques.



21

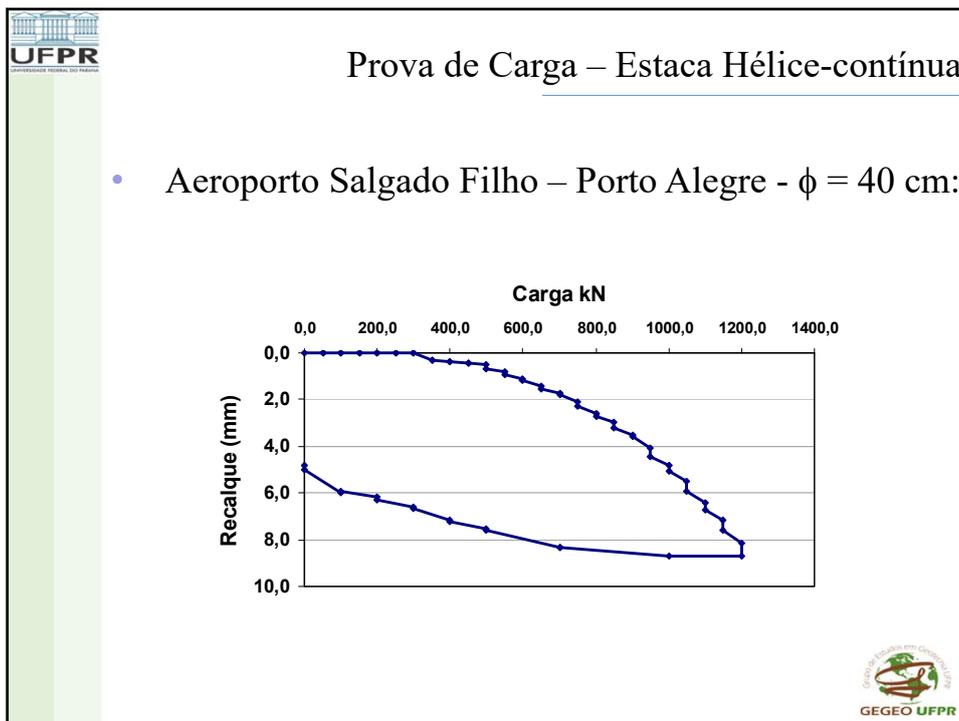


Execução da Prova de Carga Estática

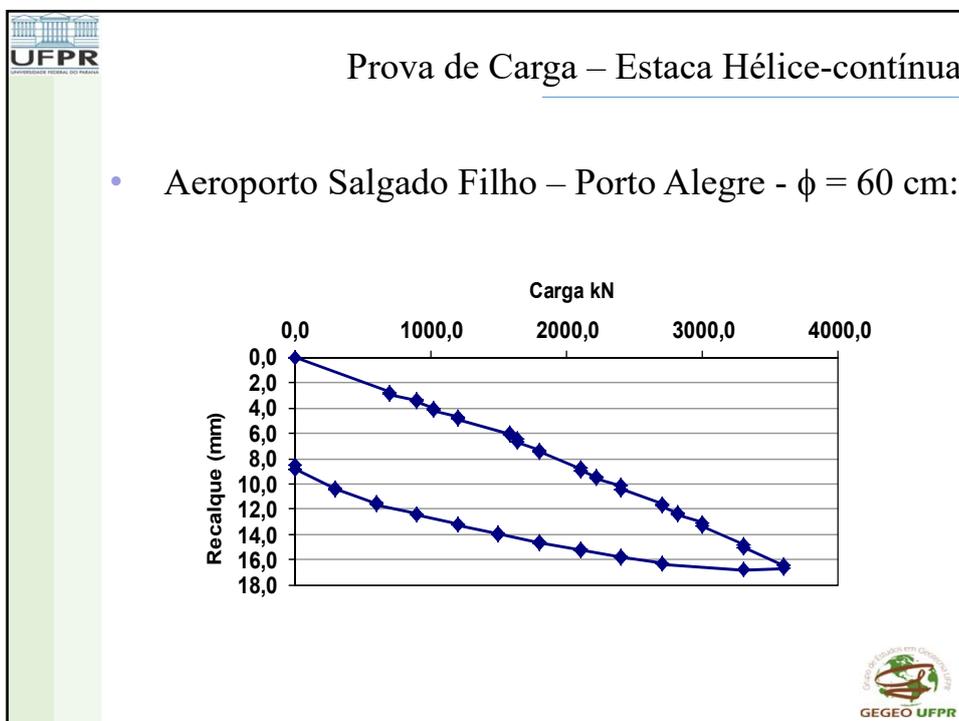
- O próximo estágio só poderá ser aplicado após a estabilização dos recalque que se dá quando o recalque entre duas leituras for inferior a 5% do recalque total já ocorrida no estágio.
- A carga máxima da prova de carga deverá ser mantida por no mínimo 12 horas.
- O descarregamento poderá ser efetuado em estágios de 25% da máxima carga aplicada.



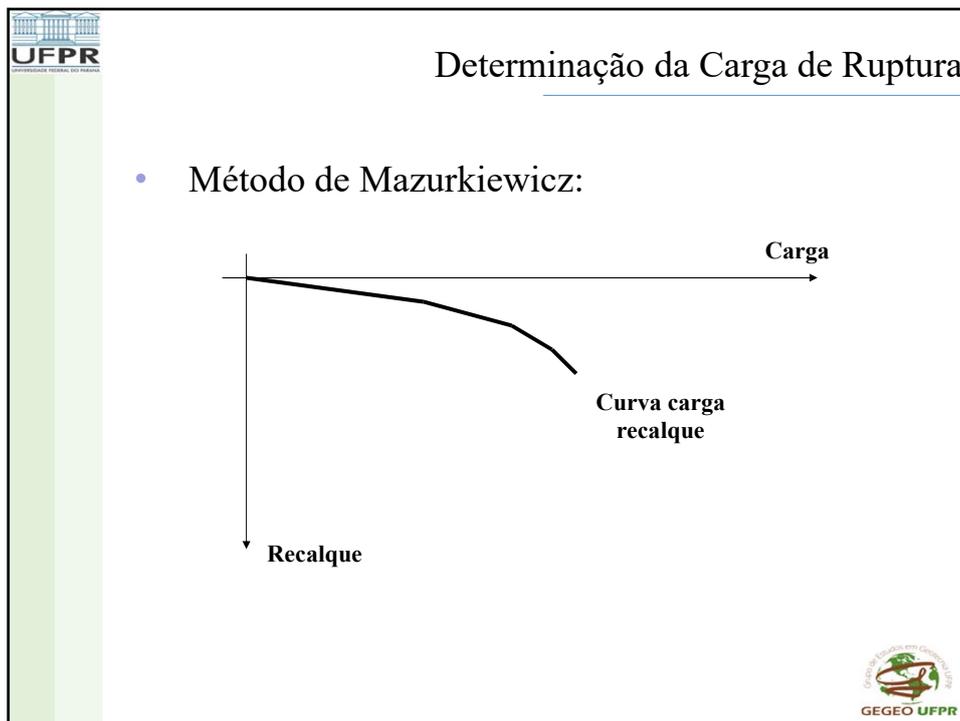
22



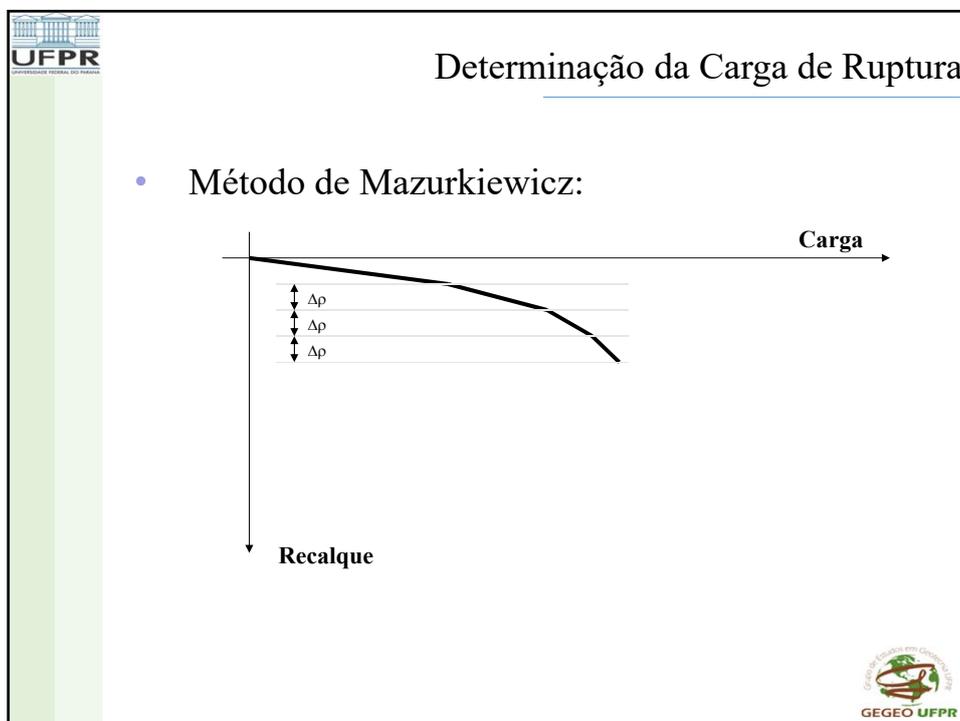
23



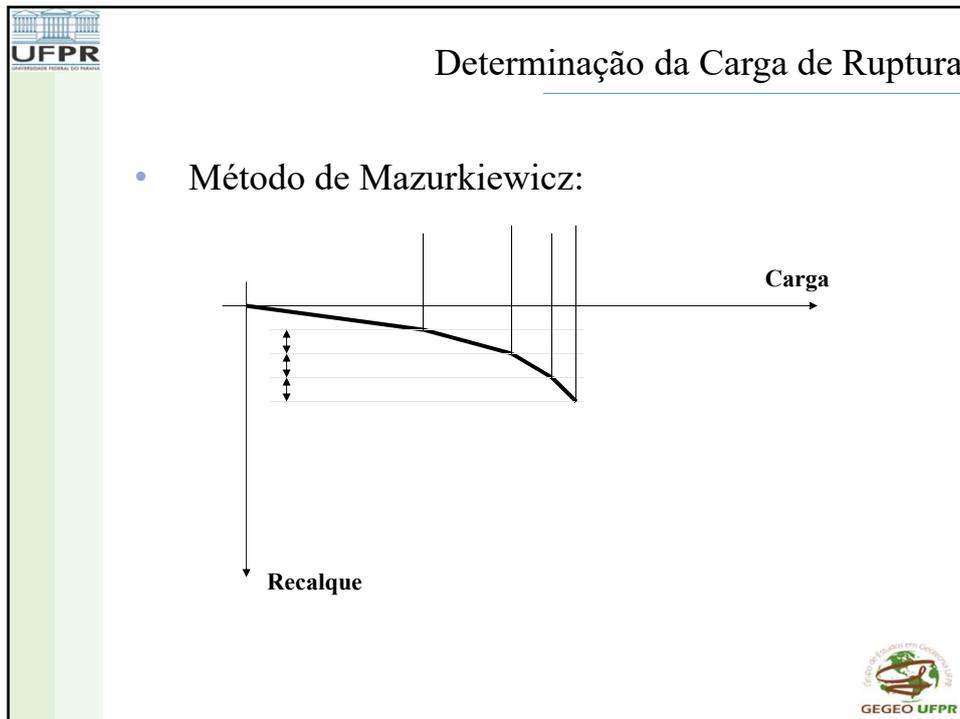
24



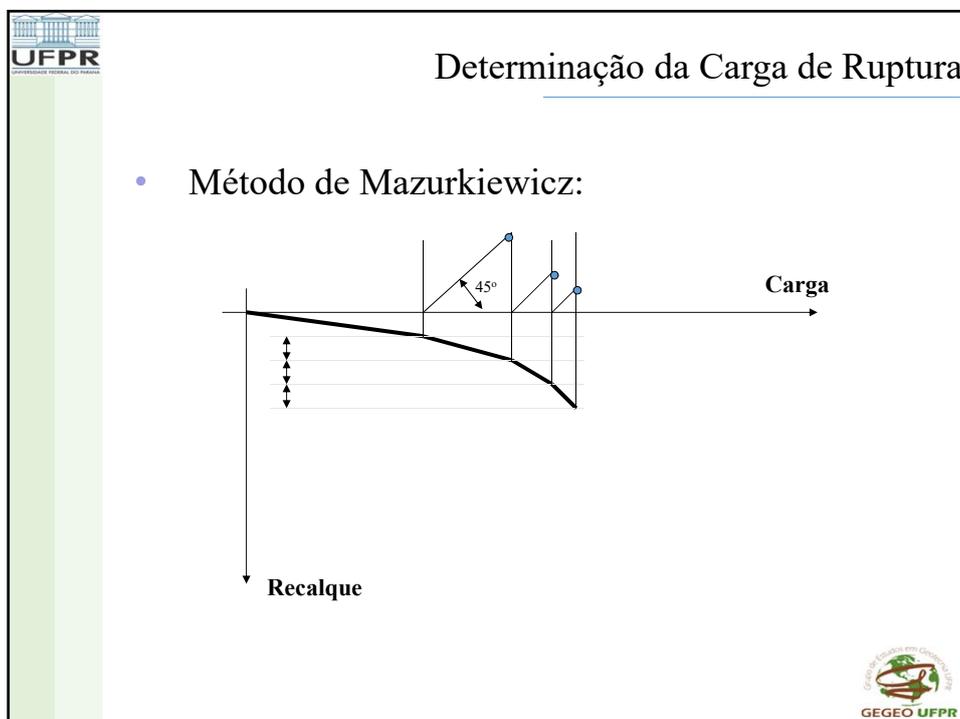
25



26



27



28

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Determinação da Carga de Ruptura

- Método de Mazurkiewicz:

The graph plots settlement (Recalque) on the vertical axis against load on the horizontal axis. A curve shows the relationship between the two. A tangent line is drawn at the point of maximum slope on the curve. A vertical line is drawn from the point where this tangent intersects the horizontal axis to the curve. The load at this point is labeled 'Rrup'. A vertical arrow on the left indicates the direction of settlement.

Recalque

Rrup

29

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Determinação da Carga de Ruptura

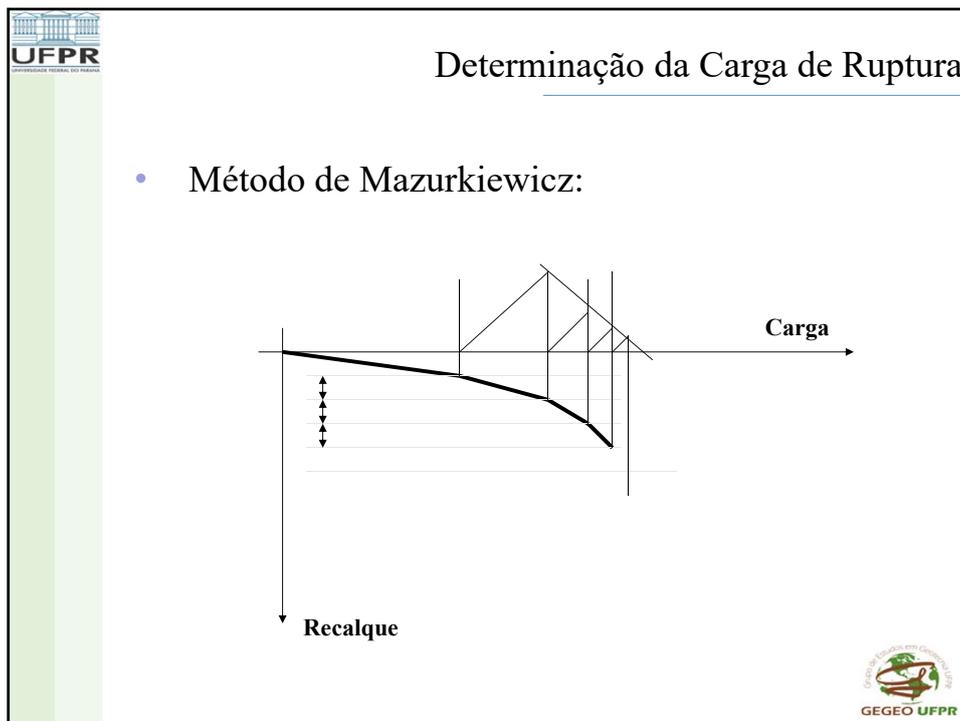
- Método de Mazurkiewicz:

The graph plots settlement (Recalque) on the vertical axis against load (Carga) on the horizontal axis. A curve shows the relationship between the two. A tangent line is drawn at the point of maximum slope on the curve. A vertical line is drawn from the point where this tangent intersects the horizontal axis to the curve. The load at this point is labeled 'Carga'. A vertical arrow on the left indicates the direction of settlement.

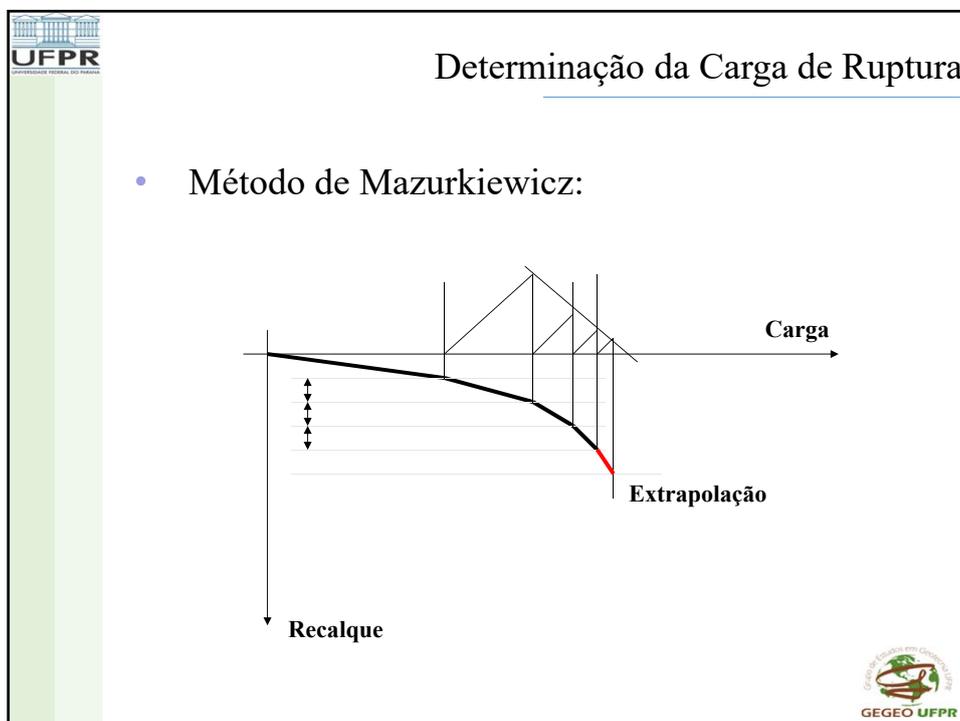
Recalque

Carga

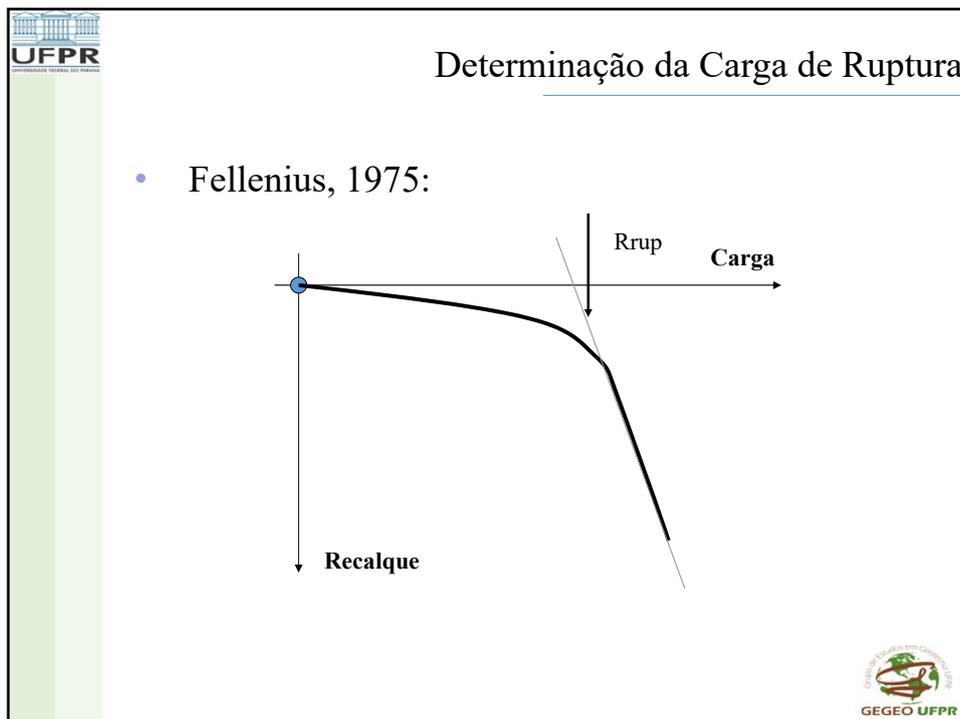
30



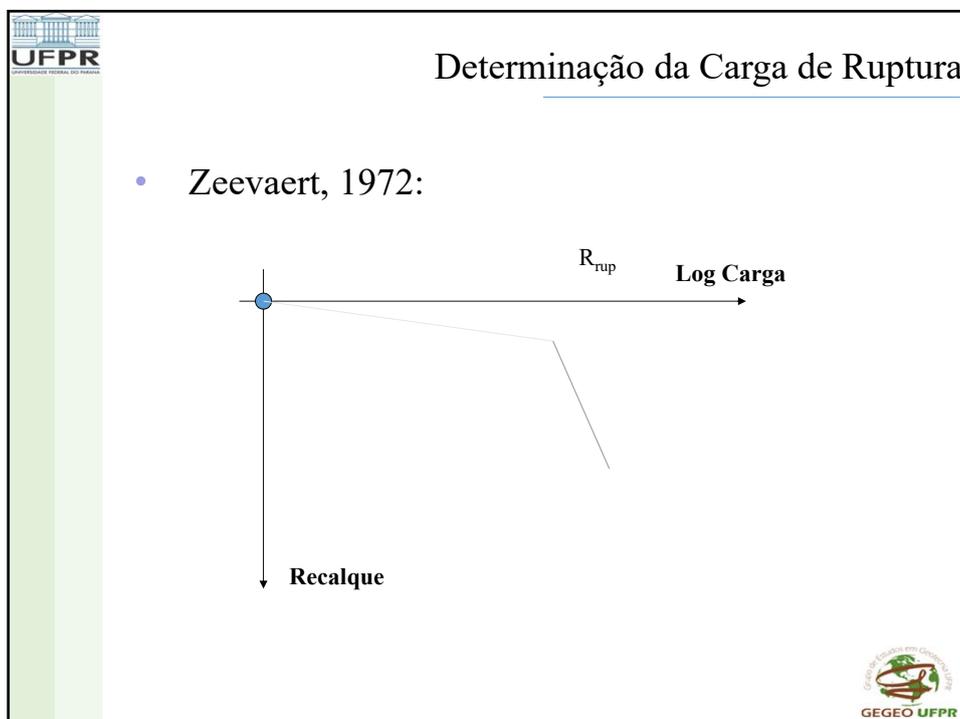
31



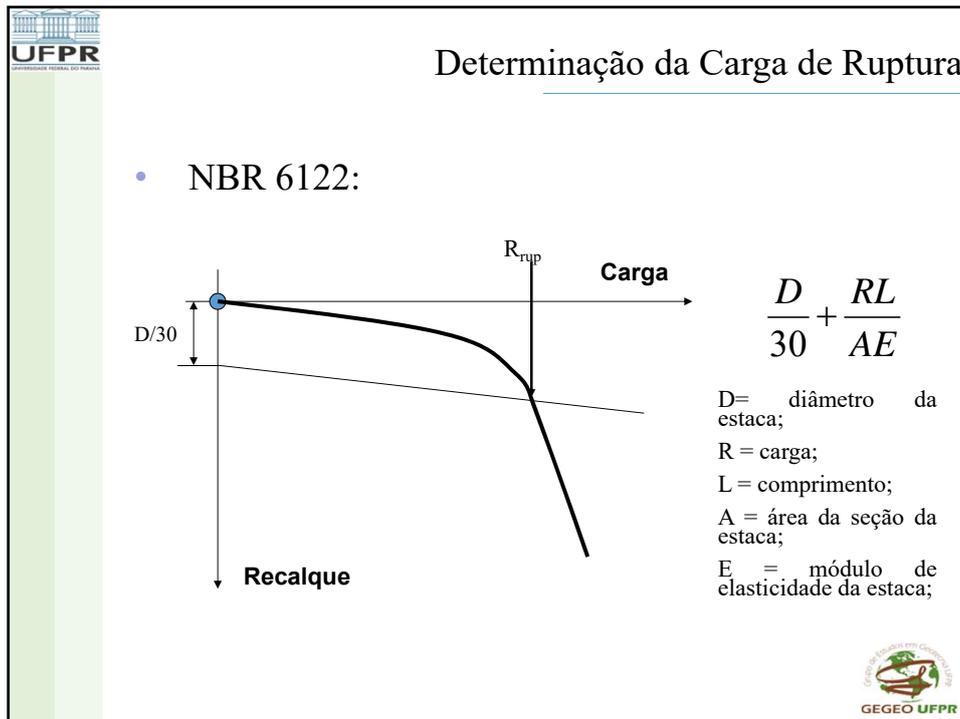
32



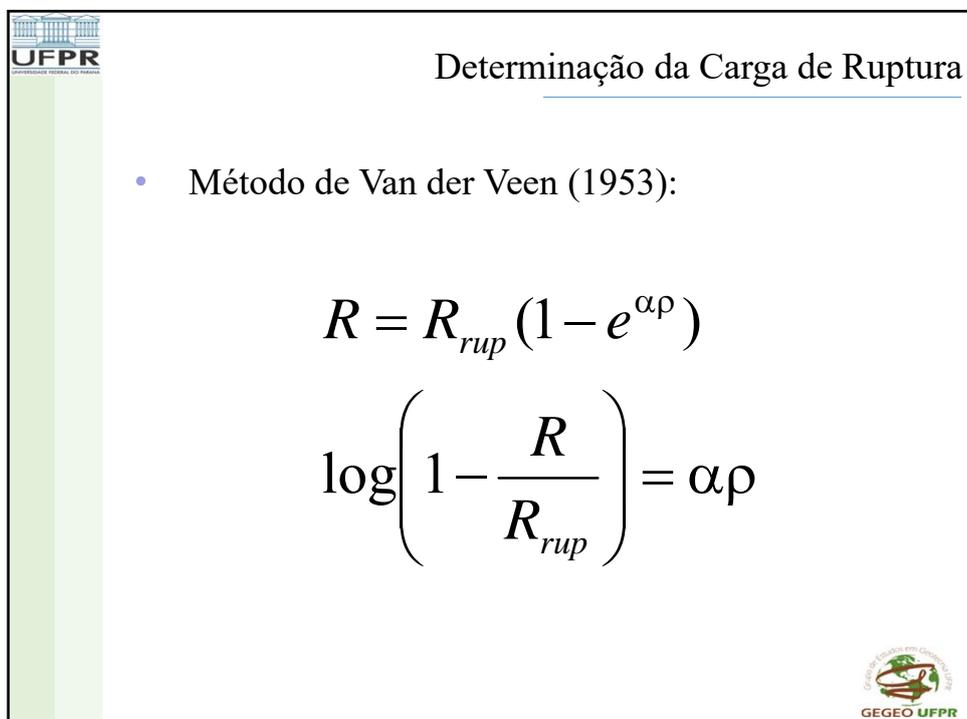
33



34



35



36



37

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Ensaio de Carregamento Dinâmico

- A partir de 1983 iniciou-se, nas obras comuns de fundações, uma rotina de controle de carga mobilizada das estacas cravadas, monitorando-se as mesmas com o uso de transdutores de deformação e acelerômetros posicionados diametralmente opostos junto a cabeça da estaca.
- O uso da instrumentação dupla posicionada diametralmente oposta visa corrigir eventuais efeitos de flexão gerados por golpes excêntricos.
- O sinal de deformação e aceleração são registrados em um micro computador para análise e determinação da capacidade de carga da estaca.

GEOTECNIA
GEGEO UFPR

This slide features the UFPR logo in the top left corner and the GEGEO UFPR logo in the bottom right corner. The title 'Ensaio de Carregamento Dinâmico' is centered at the top. Below it, there are three bullet points describing the procedure. A vertical green bar is on the left side of the slide.

38



Prova de Carga Dinâmica

- Principais Informações:
 - Força máxima do impacto;
 - Energia do golpe;
 - Eficiência do sistema de cravação;
 - Tensões de cravação;
 - Danos estruturais e sua localização;
 - Capacidade de carga -> método CASE e CAPWAP;



39

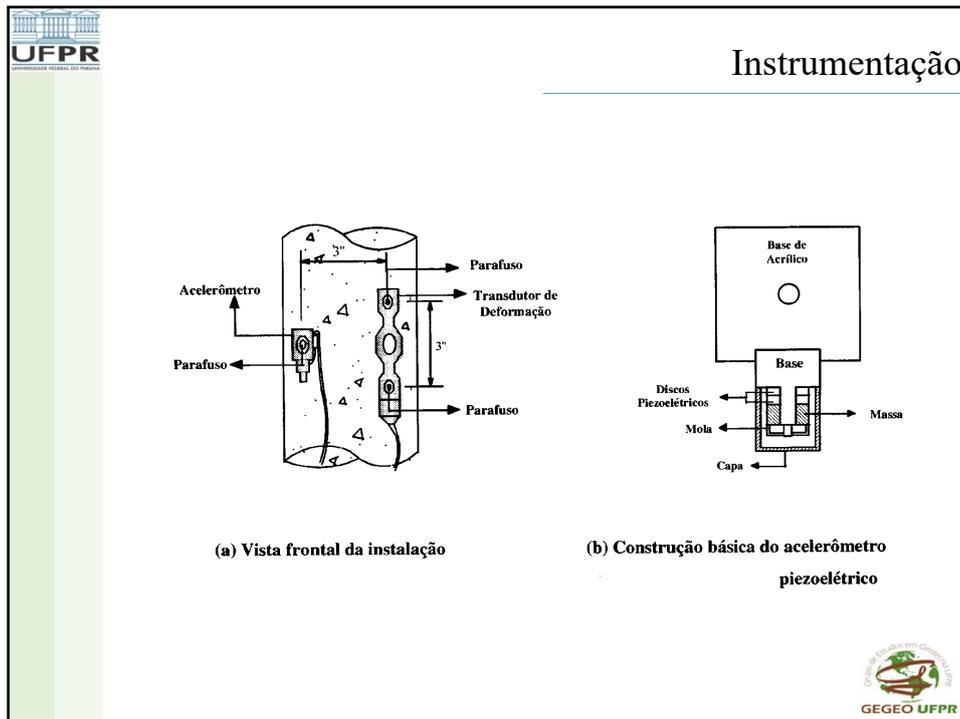


Prova de Carga Dinâmica

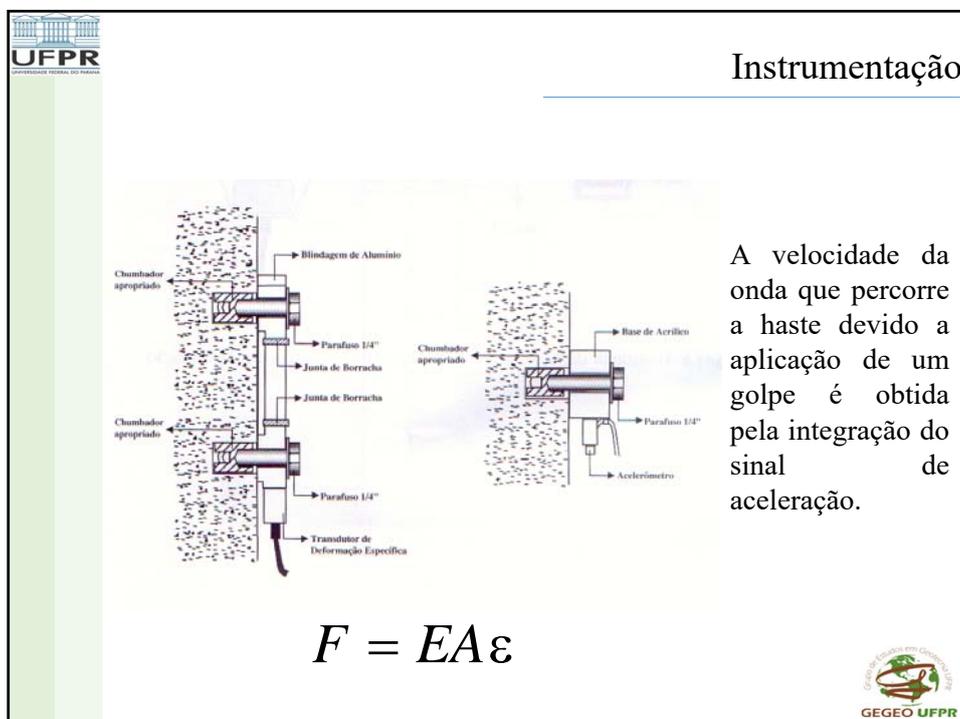
- Vantagens:
 - Ensaio rápido e fácil de executar;
 - Custo reduzido;
 - Pode ser obtido significativo universo amostral;
 - Utilidade na execução de problemas durante a execução do estaqueamento;
 - Útil para controle de qualidade.
- Desvantagens:
 - Método indireto;
 - Interpretação complexa.



40



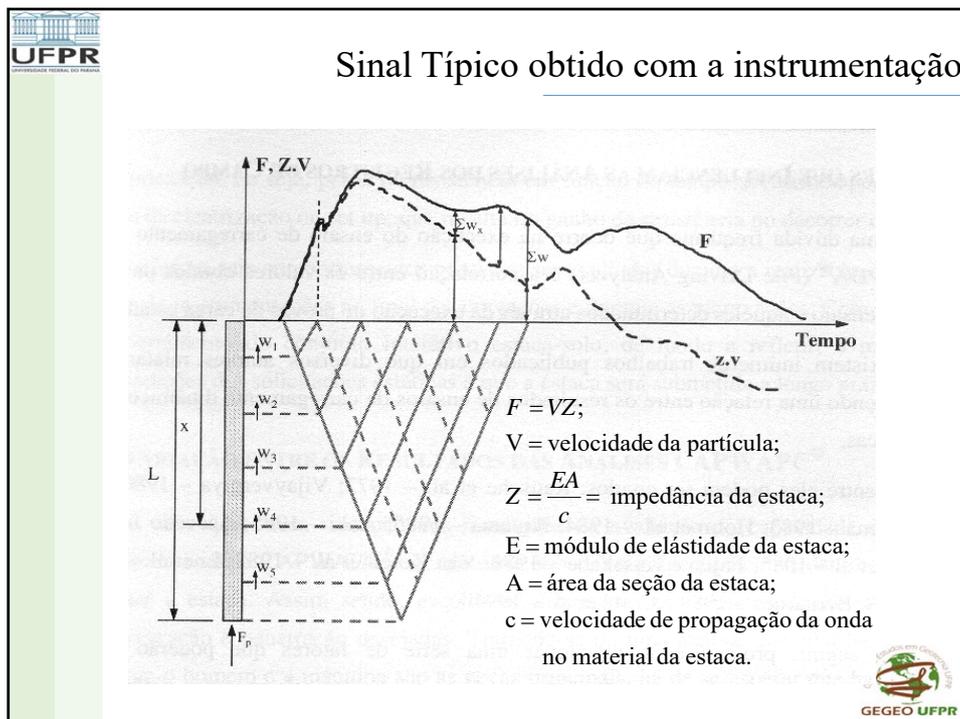
41



A velocidade da onda que percorre a haste devido a aplicação de um golpe é obtida pela integração do sinal de aceleração.

$$F = EA\varepsilon$$

42



43



44



Métodos de Análise do registro

- **Método CASE:**
 - O método case consiste em uma solução fechada, baseada em hipóteses simplificadoras, tais como:
 - Comportamento plástico ideal do solo;
 - Estaca idealmente elástica e uniforme.
- **Método CAPWAP:**
 - O método CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) é um programa que simula numericamente os registros de força e velocidade e os compara com os registros de campo. Quando tem-se uma boa aproximação dos registros gerados numericamente com os obtidos em campo tem-se determinado pelo programa a capacidade de carga da estaca.



45



Método Case

- Consiste numa solução matemática fechada, baseada em hipóteses simplificadoras, tais como a homogeneidade e uniformidade da estaca.
- Para cada golpe:
 - Carga mobilizada na interface solo-estaca;
 - Integridade estrutural;
 - Tensões dinâmicas máximas compressivas e de tração;
 - Deslocamento máximo;
 - Máxima energia transferida.



46

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Método Case

- Considerações:
 - Comportamento estaca elástico linear;
 - Apenas são transmitidas à estaca tensões axiais;
 - Resistência do solo, mobilizada simultaneamente ao longo da estaca, é do tipo rígido plástico.



47

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Método Case

- Resistência total (R_t)

$$R_t = \frac{1}{2}(F_1 + F_2) + \frac{EA}{2c}(V_1 - V_2)$$

$$R_t = R_s + R_d$$
- Resistência dinâmica (R_d)

$$R_d = J_c \cdot \frac{EA}{c} \cdot V_p$$
- Resistência estática (R_s)

$$R_s = R_t - J_c(2F_1 - R_t)$$

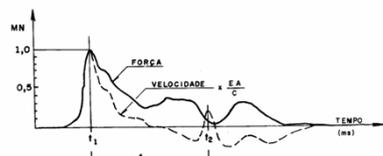


Figura 6.2 – Sinal típico

Tipo de Solo	J_c
Areia	0,05 a 0,15
Areia Siltosa	0,15 a 0,25
Silte Arenoso	0,25 a 0,40
Silte Argiloso	0,40 a 0,60
Argila	0,60 a 1,00

$$V_p = 2 \cdot V(t_1) - \frac{c}{EA} \cdot R$$



48



Método Case

- Possibilidades de erro:
 - Capacidade de carga e resistência de ponta não são totalmente mobilizadas (em determinado instante);
 - A energia de impacto não ser suficiente para ativar todas as forças resistentes do solo;
 - A onda de tensão ser curta relativamente ao comprimento da estaca sobre a qual as forças resistente atuam, com isto as forças resistentes não são mantidas no seu valor total durante o tempo considerado;
 - Valor da capacidade de carga varia com o tempo, por efeito de “set-up” ou relaxação.



49

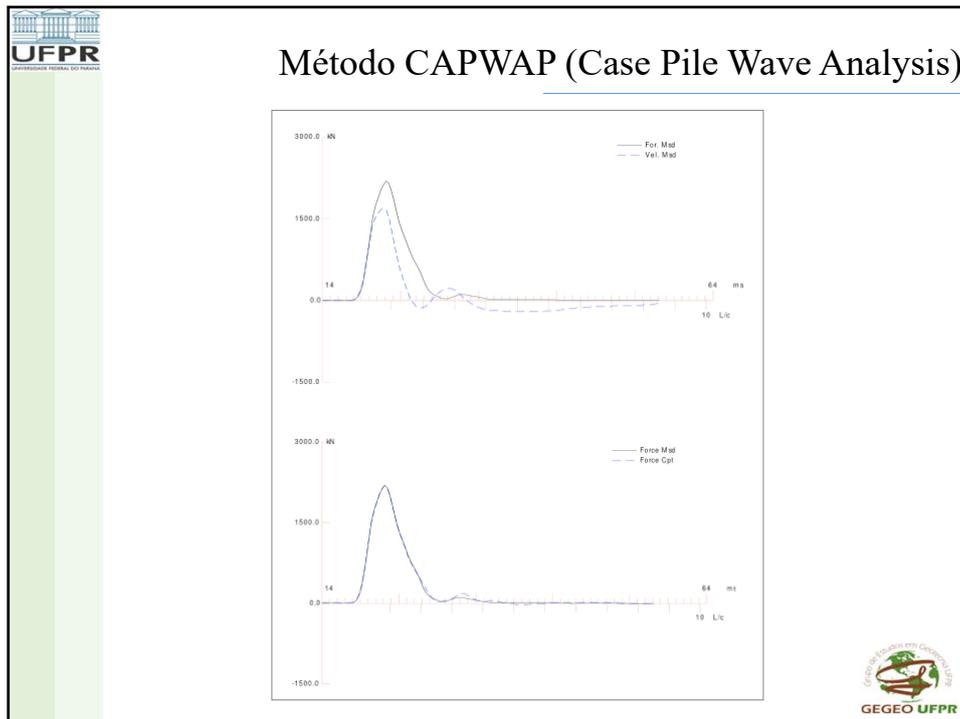


Método CAPWAP (Case Pile Wave Analysis)

- Consiste em um método matemático que tem como objetivo o processamento (com base na equação da onda) dos registros de força e velocidade multiplicada pela impedância, comparando-os com os registros de campo;
- Considera o sinal de velocidade de um determinado golpe específico com base num modelo do solo e da estaca, permitindo calcular a curva de força em função do tempo;
- O modelo do solo é então iterativamente aprimorado até que se obtenha o melhor ajuste entre as curvas medida e a calculada.



50



51

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Método CAPWAP (Case Pile Wave Analysis)

- Considerações:
 - Forças de reação do solo consideradas como passivas e expressas como função do movimento da estaca.
 - Reação do solo é representada por componentes elasto-plásticas e visco-lineares.
 - Modelo admitido para o solo possui, para cada ponto, três incógnitas:
 - Resistência elástica limite;
 - Deformação elástica máxima (*quake*);
 - Constantes de amortecimento (*damping*).

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GECEO UFPR

52

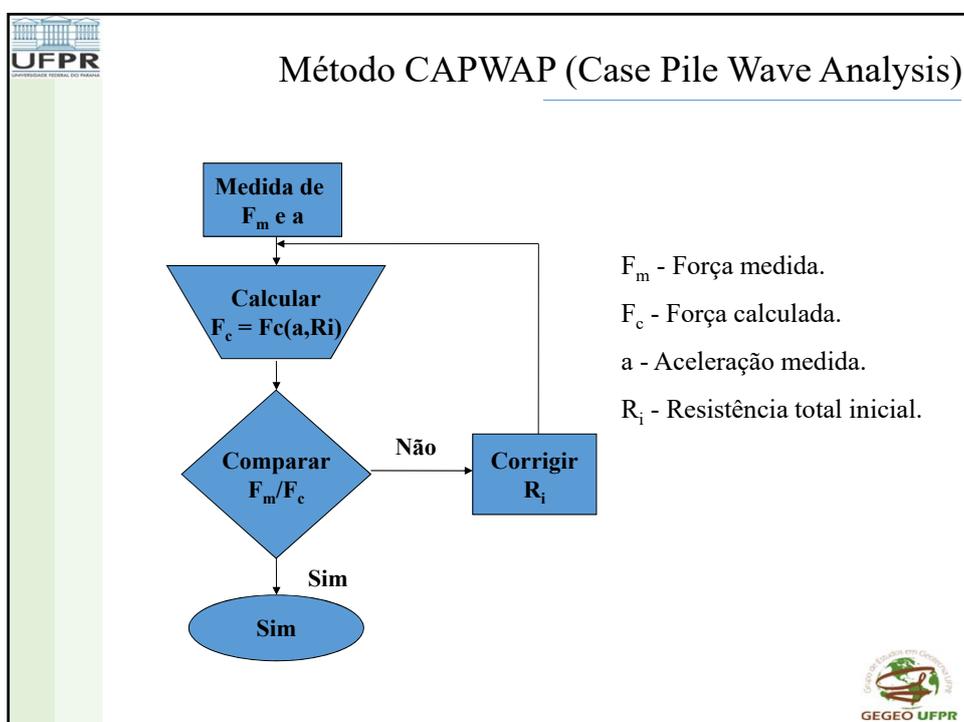
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Método CAPWAP (Case Pile Wave Analysis)

- Vantagens:
 - Boa estimativa da capacidade de carga estática da estaca.
 - Método complexo pois permite que se defina a distribuição do atrito lateral e resistência de ponta.

GEGEO UFPR

53



54



Método CAPWAP (Case Pile Wave Analysis)

- Para cada camada de solo deve-se informa para o programa:
 - Resistência última (R_u);
 - Damping (J_c);
 - Quake (Q);
 - Além de informações das características da estaca, do martelo, capacete, etc.
- Como reposta temos:
 - Capacidade de carga da estaca;
 - Eficiência do golpe;
 - Força de compressão máxima;
 - Deslocamento máximo (nega);
 - Etc.



55



Fatores que influenciam as análises

- Energia de cravação:
 - Deve ser suficiente para mobilizar toda a resistência disponível no sistema interativo estaca-solo.
- Tempo de repouso da estaca após a cravação:
 - Fenômenos de relaxação e set-up.
- Variação entre os resultados das análises CAPWAP:
 - Análise é efetuada sobre um golpe em particular.



56



Aplicação em estacas moldadas in loco

- Segundo a ABNT NBR 13208:
 - Os procedimentos do ensaio de carregamento dinâmico aplicam-se também às estacas moldadas *in loco*, independentemente do seu processo construtivo. Os ensaios apenas podem ser realizados 7 dias após a concretagem da estaca.
 - Além dos sistemas de amortecimento convencionais necessários, deve-se atender a um dos seguintes procedimentos:
 - Execução de bloco de concreto armado com resistência superior ao concreto aplicado às estacas a ensaiar;
 - Armadura de fretagem próxima ao topo associada à armação principal de fuste;
 - Cintamento periférico através de camisa de aço.
 - Necessidade em selecionar tipo de sistema de cravação.



57



Link para vídeo

- Prova de Carga Dinâmica
 - <https://www.youtube.com/watch?v=ojDvp3OPFsg>



58