



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:
 - Atrito negativo;
 - Efeito Tschebotarioff;
 - Relaxação e set-up.



2



ATRITO NEGATIVO

3



Atrito negativo

- No caso em que o deslocamento (recalque) do fuste de uma fundação profunda, ou de parte dele, é inferior ao recalque do terreno adjacente, desenvolvem-se forças de atrito negativo na fundação.
- Ocorre quando o solo em volta da estaca recalca mais que o próprio elemento estrutural, causando mais uma sobrecarga e, dessa forma, o comprimento do fuste que se encontra nesta condição não auxilia na resistência.

4

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Atrito negativo

- Principais Causas:
 - Adensamento de uma camada de solo devido a aplicação de uma sobrecarga (aterro);
 - Rebaixamento do lençol freático ou bombeamento;
 - Adensamento (amolçamento) da camada de argila devido a cravação de estacas. Neste caso o atrito negativo tem valores reduzidos.

GEGEO UFPR

5

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Atrito negativo

Recalque

Aterro

Solo Mole

Solo Resistente

Solo Muito Resistente

GEGEO UFPR

6



Atrito negativo

- Norma brasileira NBR 6122/1996:

$$Q_{ult} = 2Q + 1,5Q_n$$

- “O fenômeno do atrito negativo é antes um problema de recalque do que um problema de ruptura.”



7



Atrito negativo

- Cálculo do Atrito Negativo – Processo “convencional”:
- Pode-se utilizar para a determinação do valor do atrito negativo os métodos normais de capacidade de carga, como por exemplo o método de Aoki e Veloso; Decourt e Quaresma e Velloso.
- O valor do atrito negativo é o referente ao atrito lateral ao longo da camada de solo que irá apresentar deformação e camadas superiores a esta.
- Método questionável, pois desconsidera o “ponto neutro”;
- Análise em tensões efetivas seria a mais adequada.



8

Atrito negativo

- Cálculo do Atrito Negativo – Processo “convencional”:

$$R_n = qL \cdot SL$$

- Onde:
 - R_n - Força de atrito negativo;
 - qL - Área lateral da estaca dentro e acima da camada de argila compressível;
 - SL - Atrito lateral unitário das camadas envolvidas.




9

Atrito negativo

- Fórmula de Beer e Wallays:

$$R_n = k_0 U \tan \phi \left(\Delta P H + \frac{\gamma H^2}{2} \right)$$

- Onde:
 - k_0 - Coeficiente de empuxo no repouso $\cong 1 - \text{sen } \phi$;
 - ϕ - Ângulo de atrito interno do solo;
 - U - Perímetro da estaca;
 - ΔP - Sobrecarga unitária aplicada na superfície do terreno;
 - H - Espessura da camada compressível;
 - γ - Peso específico do solo em termos de tensão efetiva.




10

Atrito negativo

- Calcular o valor do atrito negativo para a estaca abaixo.

GEGEO UFPR

11

Atrito negativo

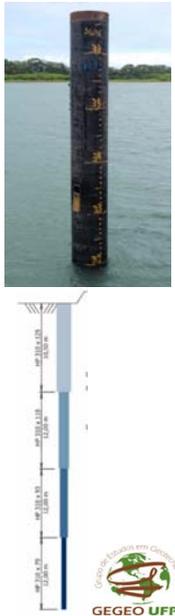
- Procedimentos para reduzir o atrito negativo:
- Pré-carregar a camada compressível antes da instalação das estacas;
- Eliminação do contato direto do solo com a estaca, instalando as estacas após a cravação de tubo de maior diâmetro;

GEGEO UFPR

12

Atrito negativo

- Procedimentos para reduzir o atrito negativo:
- Pintura da superfície das estacas com mistura betuminosa especial. Esta pintura deve ser feita com uma técnica que garanta que a mesma não seja removida durante a cravação;
- Utilizar estacas tronco-cônicas com a menor seção voltada para baixo de modo que a camada de solo ao recalcar se descole do fuste;
- Eletro-osmose para aumentar a poro-pressão em torno da estaca cátodo e, com isso, reduzir as tensões efetivas → redução da resistência ao cisalhamento entre o solo e a estaca.



The diagram shows a pile with a diameter of 1.00 m and a length of 18.00 m. It is divided into three sections: a top section of 6.00 m, a middle section of 6.00 m, and a bottom section of 6.00 m. The pile is shown in a cross-section view, with the soil layers around it. The logo of GEGEO UFPR is visible in the bottom right corner of the slide.

13

EFEITO TSCHEBOTARIOFF



14

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito Tschebotarioff

- Esforços que surgem em estacas sujeitas a carregamento assimétrico da superfície do terreno em decorrência de deslocamentos horizontais do solo;
- Exemplos de ocorrência:
 - Armazéns ou tanques estaqueados apenas na periferia;
 - Muros de arrimo sobre estacas;
 - Muros e aterros de encontro de pontes.

GEGEO UFPR

15

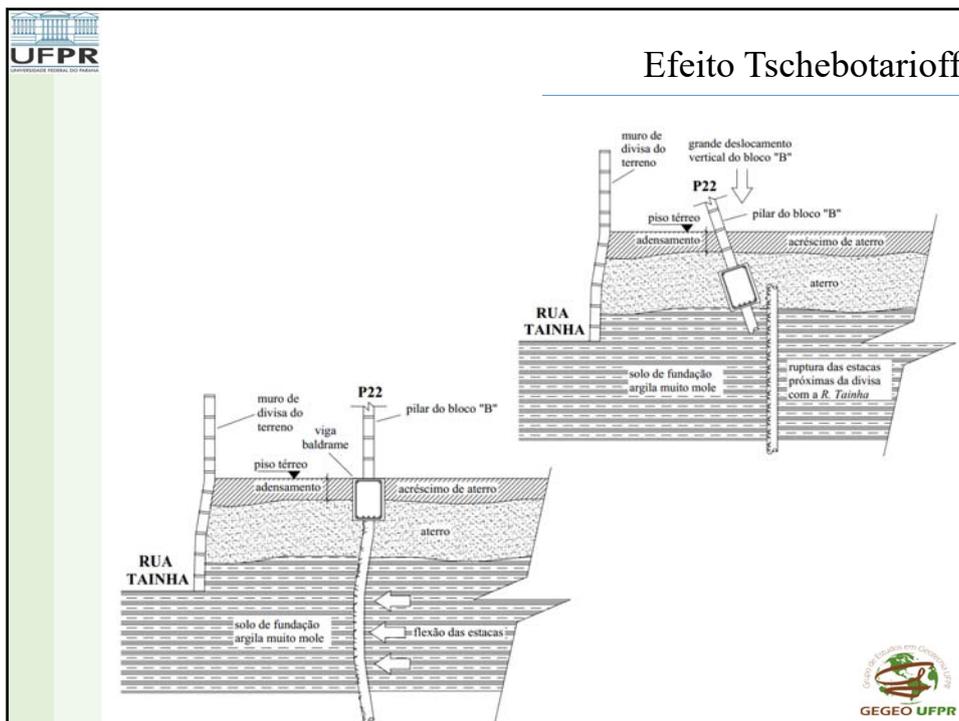
UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito Tschebotarioff

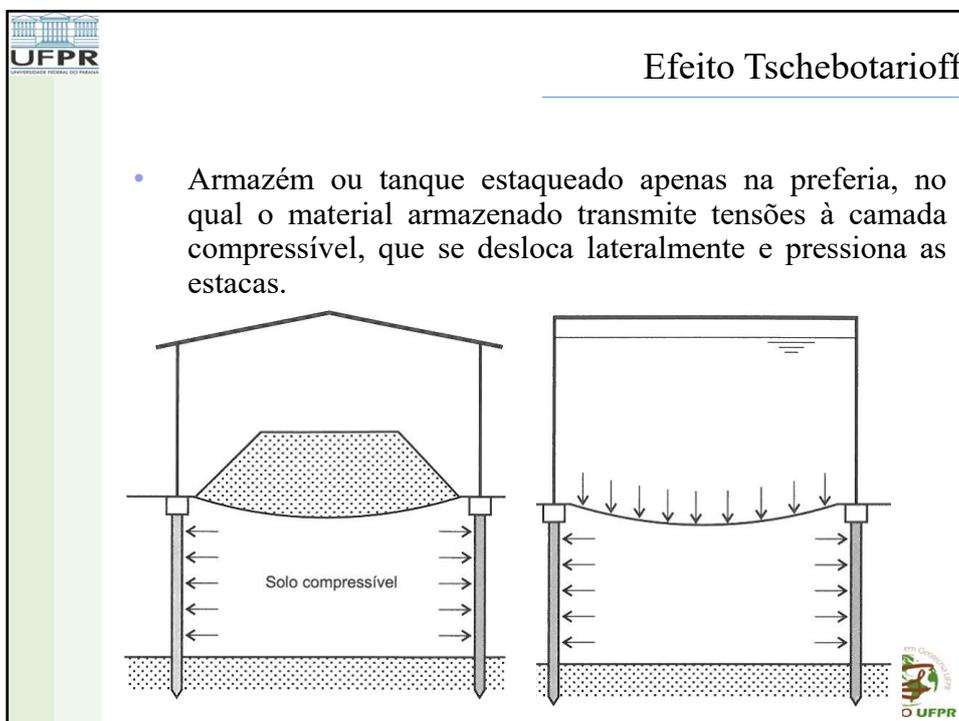
Diagrama de uma fundação em estacas pré-moldadas de concreto (P22 e P23) sobre solo de fundação argila muito mole. O diagrama mostra o muro de divisa do terreno, a rua Tainha, o piso térreo, o adensamento, o aterro com acréscimo de aterro, o carregamento do aterro, os pilares do bloco "B", as vigas baldrames e as estacas pré-moldadas de concreto.

GEGEO UFPR

16



17



- Armazém ou tanque estaqueado apenas na preferia, no qual o material armazenado transmite tensões à camada compressível, que se desloca lateralmente e pressiona as estacas.

18

UFPR

Efeito Tschebotarioff

Fill H

Strut

Soft clay t

Sand

W.L.

S

0.4σz

S

S

Solo Mole

GE GEO UFPR

19

UFPR

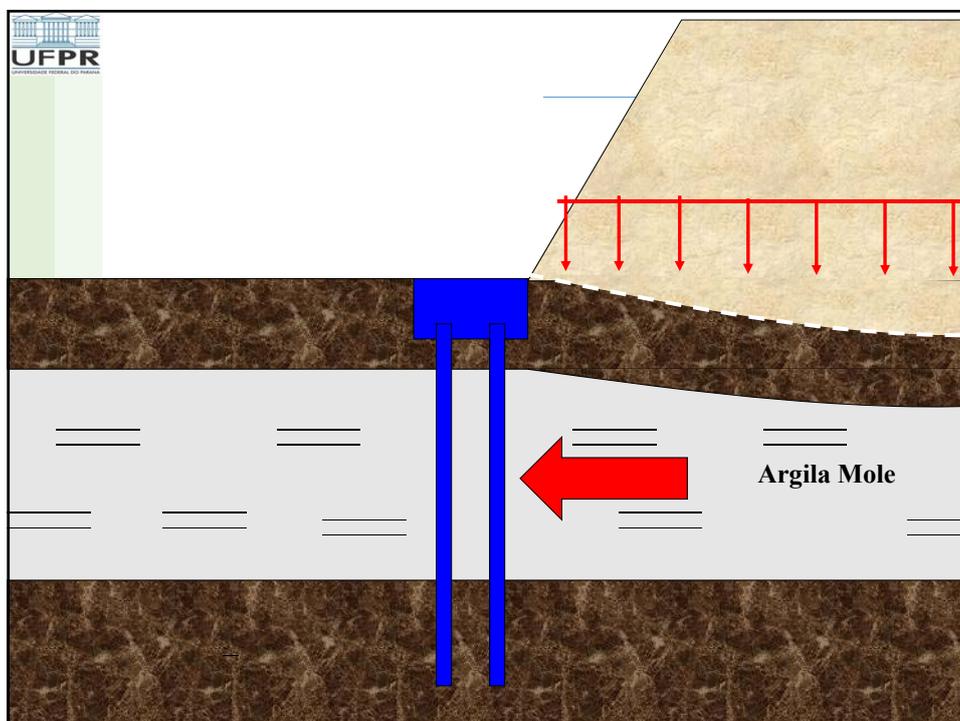
Efeito Tschebotarioff

GE GEO UFPR

20



21



22

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito Tschebotarioff

$$p_h = K\Delta\sigma_z B$$

- p_h - Pressão decorrente do efeito Tschebotarioff;
- K - Coeficiente de empuxo (depósito não amolgado $\sim 0,4$);
- $\Delta\sigma_z$ - acréscimo de tensão vertical;
- B - largura da estaca.

23

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito Tschebotarioff

- Fatores que influenciam na sollicitação lateral de estacas:
 - Intensidade da sobrecarga (altura e peso específico do aterro ou material armazenado);
 - Características da camada compressível;
 - Distância das estacas à sobrecarga;
 - Geometria do estaqueamento;
 - Rigidez das estacas;
 - Tempo.

24

Efeito Tschebotarioff

- Medidas que podem minimizar o fenômeno:
 - Remoção de solos moles;
 - Melhoria da argila mole com pré-carregamento e/ou aceleração dos recalques;
 - Execução de laje estaqueada para receber a sobrecarga;
 - Uso de materiais leves em aterros (redução da sobrecarga);
 - Encamisamento “com folga” nos trechos críticos das fundações;
 - Dimensionamento das estacas para resistirem à flexão.

Diagrama que mostra uma seção transversal de um aterro. No topo, há uma camada de 'cobertura de aterro'. Abaixo, há uma camada de 'Blocos de poliestireno expandido isopor'. A base do aterro é formada por camadas de solo compactado.

GEGEO UFPR

25

Efeito Tschebotarioff

- Solo Cimento – Jet Grouting




Diagrama que ilustra as quatro etapas do processo de solo cimento por jateamento:

- STEP ONE:** ADVANCE STEEL DRILL AND POSITION TO THE DESIGNED COLUMN DEPTH.
- STEP TWO:** SWITCH TO JET GROUTING SYSTEM, APPLY HIGH PRESSURE TO ACTIVATE THE JET.
- STEP THREE:** PULVERISE AND GRINDING ALL JET IS MIXED AND WITHDRAWN AT A CONTROLLED RATE.
- STEP FOUR:** AS THE JET REACHES THE TOP, JET GROUTING COLUMN IS COMPLETED.

GEGEO UFPR

26

Efeito Tschebotarioff

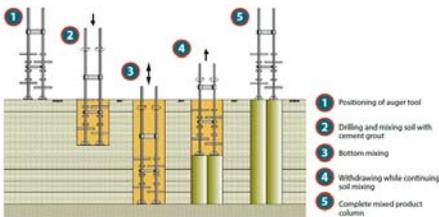
- Solo Cimento – Jet Grouting

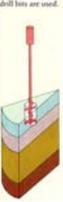
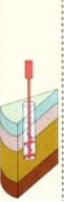
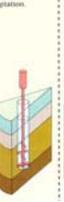
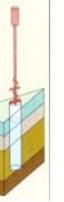



27

Efeito Tschebotarioff

- Solo Cimento – Deep Mixing



<p>Step 1: Setting up auger ring at pile position.</p> 	<p>Step 2: Augering with the required size auger. Tungsten carbide drill bits are used.</p> 	<p>Step 3: Pumping of cement grout while augering.</p> 	<p>Step 4: Mixing is by auger's rotation as a form of mechanical agitation.</p> 	<p>Step 5: Withdraw auger in anti-clockwise rotation.</p> 	<p>Step 6: Installation of cement mix column is completed.</p> 
--	---	--	---	---	---

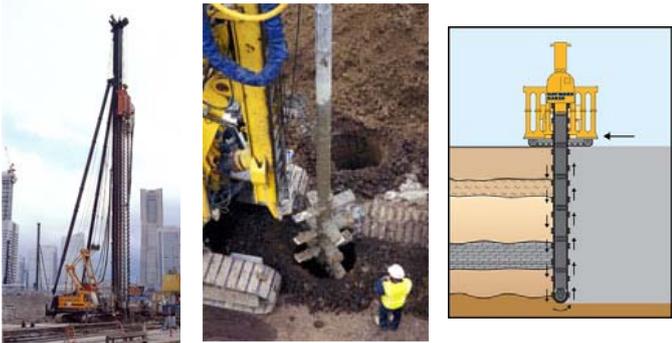


28

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito Tschebotarioff

- Solo Cimento – Deep Mixing

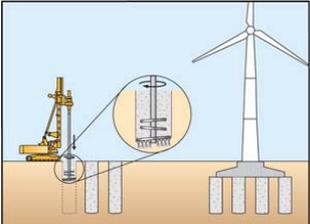
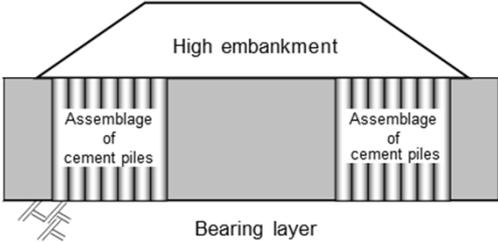


29

UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Efeito Tschebotarioff

- Solo Cimento – Deep Mixing



30



RELAXAÇÃO E SET-UP



31



SET-UP

- É o efeito de “cicatrização” do solo após o processo de cravação de estacas;
- Ocorre aumento de tensão e das propriedades mecânicas com o passar do tempo;
- Aumento de tensões devido à dissipação do excesso de poropressão (gerada no processo de cravação) e devido à acomodação das partículas de solo, melhorando a interface solo-estrutura;
- Pode ocorrer em diferentes tipos de solos (arenosos e argilosos);
- A variação ocorre devido ao tempo de drenagem e ao ganho de resistência característico de cada material e ambiente geológico.



32



SET-UP

- Métodos de avaliar o set-up:
 - Provas de carga: através da aplicação de carregamento (energia crescente) em tempos determinados e com cargas determinadas;
 - Nega e repique: avalia a cravação e a energia empregada no processo, pode utilizar a resistência calculada no CAPWAP (enquadrado nos métodos dinâmicos).



33



Relaxação

- É o efeito oposto ao set-up. Neste processo, o solo perde tensão e capacidade de carga com o passar do tempo;
- Queda gradual das tensões atuantes em um corpo quando este está submetido a deformação e temperatura constante;
- Ainda tem-se poucos estudos sobre este fenômeno;
- Métodos de avaliar a relaxação:
 - Provas de carga;
 - Repique.



34