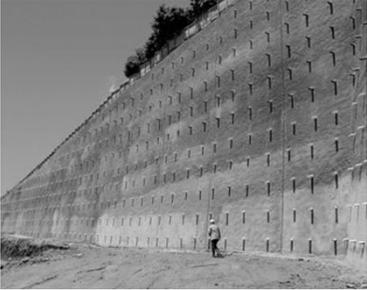


USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

Engenharia Geotécnica e de Fundações




Fontes: Solotrat e Navigare

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

1

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

GEOTECNIA

Aterros, Barragens, Contenções, **Fundações**, Túneis,...

Associada a infraestruturas e grandes ativos e investimentos

Ciência exata? Quais os níveis de incerteza no comportamento de materiais geotécnicos?

↑ Responsabilidades

↑ Custos

↑ Riscos



Conhecimentos associados: estruturas, fluxo, geologia, mecânica dos solos e rochas,...

Grupos e associações da área:
 Nacionais: ABMS, CBMR, IGS, CBT, ...
 Internacionais: ISSMGE, ISRM, ITA, SPG,...

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

2

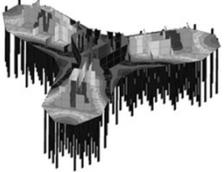
2

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

GEOTECNIA

Burj Khalifa (2010) 828 m





Fontes: Tamoios, Celere e Folha de São Paulo

Túnel Tamoios (12,8 km)




Fontes: Tamoios, Celere e Folha de São Paulo

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

3

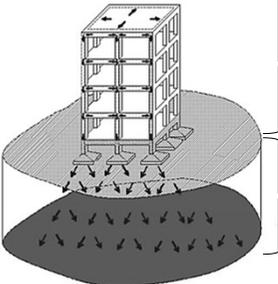
3

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

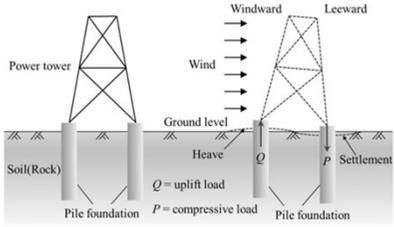
FUNDAÇÕES

Direcionamento e transmissão do carregamento da construção ao solo ou rocha

As fundações precisam atender características específicas da superestrutura



Compressão



Tração

Fontes: Wang et al., Field test in uplift bearing characteristics of transmission tower foundation in mountainous areas of western China

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

4

4

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Solicitações horizontais (Efeito Tschebotarioff/Sísmico)

(a) SOLO RESISTENTE (b) SOLO RESISTENTE

FISSURAS

ENCAMISAÇÃO

1 施工方法在大樓基礎 周圍地下土壤層 鑽孔，並灌漿成系統

2 土壤與基礎土壤 接觸面之土壤層 間隙，為基礎移位 原因之一，造成 破壞

3 大樓與基礎間之土 壤，因土壤層與 水平位移，造成 破壞

倒塌解構圖

Xangai (2009) cisalhamento das estacas 13 andares por efeito Tschebotarioff

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

5

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Transmissão de cargas e respostas

Rupturas

Fontes: Lesics e Practical Engineering

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

6

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Avaliação de respostas estruturais por análise numérica

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

7

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Recalques

Recalques uniformes

Recalque Diferencial com distorção uniforme

Recalque Diferencial

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

8

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Área de influência da solução adotada (sobreposição)

ANTES HOJE

Sapatas 3x4 metros

12 metros - areia

25 metros - argila marinha

Argila mole

Argila marinha dura

Estacas Actas de 50 metros

Actas de 26 metros - areia

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 9

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

Métodos Geofísicos

Como proceder quando não há projetos ou dados históricos da fundação?

Principais métodos: Métodos sísmicos, eletrorresistividade, GPR, Potencial Espontâneo, Magnetometria

PIT (Ensaio de Integridade de Estacas)

Prospeção por sísmógrafo

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 10

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Tipos de fundação

Fundação superficial

Fundação profunda

ESTACA TUBULÃO CAIXÃO

Fundações superficiais/rasas

Fundações profundas

Fundações mistas

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 11

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Mecanismos de ruptura

Critério arbitrário sobre o mecanismo de ruptura alcançar a superfície

Fundações profundas são aquelas cujas bases estão implantadas a uma profundidade superior a duas vezes sua menor dimensão, e a pelo menos 3 m de profundidade. (NBR 6122)

Superficial NT

Profunda

$\sim 2B$

$B = \text{menor dimensão da base}$

Fonte: Velloso e Lopes (2011)

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 12

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Comportamentos a serem verificados

A incerteza nos problemas de fundações gera a necessidade de atribuir um coeficiente de segurança

(a) Deformações excessivas. (b) colapso do solo. (c) tombamento. (d) deslocamento e colapso estrutural, resultantes de projetos deficientes. (e) colapso estrutural, resultantes de projetos deficientes

Fonte: Velloso e Lopes (2011)

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Critério de escolha do tipo de fundação

Atendimento aos estados limites:

ELU: Segurança à ruptura Fator de Segurança global (F.S.) ou coeficiente de ponderação:

$$F.S. = \frac{\sigma_{rup}}{\sigma_{adm}}$$

Tipo de ruptura	Obra	Coef. de segurança	Condição	Coeficiente de segurança
Cisalhamento	Obras de terra	1,3 a 1,5	Capacidade de carga de fundações superficiais	3,0
	Estruturas de arrimo	1,5 a 2,0		
	Fundações	2,0 a 3,0		
Ação da água	Subpressão, levantamento	1,5 a 2,5	Capacidade de carga de estacas ou tubulões sem prova de carga	2,0
	Gradiente de saída, "piping"	3,0 a 5,0	Capacidade de carga de estacas ou tubulões com prova de carga	

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Critério de escolha do tipo de fundação

Atendimento aos estados limites:

ELS: Estimativa recalques e comprovação aceitabilidade em relação a tipo de estrutura/acabamento/função/funcionabilidade

Abertura da fissura (mm)	Intensidade dos danos			Efeito na estrutura e uso do edifício
	Residencial	Comercial ou público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Apenas estética. Deterioração acelerada do aspecto externo.
1 a 2	Leve a moderada	Leve a moderada	Muito leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode, também, estar em risco
2 a 5	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode, também, estar em risco
5 a 15	Moderada a severa	Moderada a severa	Moderada	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode, também, estar em risco
15 a 25	Severa a muito severa	Severa a muito severa	Moderada a severa	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode, também, estar em risco
> 25	Muito severa a perigosa	Severa a perigosa	Severa a perigosa	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade pode, também, estar em risco

Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios (Thornburn e Hutchinson, 1985)

Danos por distorções angulares

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Informações mínimas

Prospecção do subsolo e ensaios *in situ*

Solicitação (Planta de cargas)

Ensaios de Laboratório

Fontes: Suporte, Versal Engenharia, Jacinto e Santos (2011)

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

Zonas de influência

3,0 m
3,0 m

ARÉIA COMPACTA
ARGILA MOLE

I - radior II - tubulões III - estacas profundas

sobreposição de bulbos de tensão
bulbos de tensão

Circular ou quadrada $\approx 2 \cdot B$
Retangular $L = 2 \text{ a } 4B$ $\approx 3 \cdot B$
Cônica $L > 5B$ $\approx 4 \cdot B$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 21

21

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Prova de carga

Simulação de carregamento sobre o elemento de fundação em placa (fundação rasa) (NBR 6489) ou sobre tubulões e estacas (fundação profunda) (NBR 16903)

Possibilita a redução do fator de segurança global de projeto (F.S.) (3,0 -> 2,0) segundo Tabela 1, item 6.2.1.1.1 NBR6122 (2019)

Proporcionar otimização e economia

Fontes: GEOPROVA e CEDRO Engenharia Consultiva

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 22

22

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

FUNDAÇÕES

Prova de carga em placa (NBR 6489/NBR 16903):

- Viga de referência
- Ticante de reação
- Cavidade de apoio
- Medidor de recalque
- Placa e sílcon
- Viga de transição
- Cabeça de carga
- Solo
- Macaco hidráulico
- Estaca de reação

RECALQUE

CARGA

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 23

23

USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

Resultados prova de carga em placa

$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{rup}}{F.S.}$

- Ruptura Geral: $\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_{rup}}{F.S.}$
- Não há ruptura: $\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_{mín}}{F.S.}$ e $\sigma_{adm} \leq \frac{\sigma_{recalque, mín}}{1,5}$
- Recalques elevados (Ruptura local/Punção)

$$\sigma_{adm} \leq \begin{cases} \frac{\sigma_{25mm}}{F.S.} \\ \sigma_{10mm} \end{cases}$$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 24

24

USP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Estruturas e Geotecnia

POLI USP

Leitura indicada

Velloso e Lopes, 2011, Fundações Critérios de Projeto, Capítulos 1 e 2

NBR 6489:2019 – Prova de carga estática em fundação direta

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

25