

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

Aula 7. Escolha do tipo de fundação

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

VIABILIDADE TÉCNICA

COMPLEXIDADE E CUSTO

Sapata corrida

Sapata isolada, associada, alavancada

Radier

Tubulão a céu aberto

Estacas: broca, madeira, Strauss, pré-moldada concreto, hélice contínua, Franki, estacação, estaca raiz, estaca de aço.

Tubulão a ar comprimido

PEF 3405- Engenharia Geotécnica e de Fundações Prof. Massao

3

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

INTRODUÇÃO

Estudo de viabilidade técnico

Custos/Disponibilidade

Implementação

Para qual tipo de estrutura minhas fundações serão projetadas? (cargas solicitantes e risco)

Limitações topográficas? Obras adjacentes limitantes?

Solicitação de ensaios (Ensaio de campo e laboratório)

Os ensaios foram suficientes? camadas de solo? N.A.? Tensão admissível? Classificação?

Quais características de fundações se relacionam aos dados obtidos?

Quais normas e literaturas devo consultar? Existe alguma atualização dos conhecimentos?

Dimensionamento

Custos diretos e indiretos

A técnica vem antes da economia, mas em casos em que mais soluções são adequadas?

Prazo de execução

Existe dimensionamento de fundações sem ensaios?

Disponibilidade de empresas e mão de obra para execução do projeto

PEF 3405- Engenharia Geotécnica e de Fundações Prof. Massao

2

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Solicitações e riscos

Magnitude

Complexidade das solicitações

Tipo

Nome	Single	Tip	Nome	Single	Tip
PI	2000	100,0	PI1	2000	100,0
PI2	2000	100,0	PI2	2000	100,0
PI3	2000	100,0	PI3	2000	100,0
PI4	2000	100,0	PI4	2000	100,0
PI5	2000	100,0	PI5	2000	100,0
PI6	2000	100,0	PI6	2000	100,0
PI7	2000	100,0	PI7	2000	100,0

Fontes: Kong e Zhang, 2007

PEF 3405- Engenharia Geotécnica e de Fundações Prof. Massao

4

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

VIABILIDADE TÉCNICA

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Características do subsolo
 Ensaios de campo e amostragens necessárias
 Conhecer os ensaios, seus resultados e aplicabilidades para entendimento das características geotécnicas para a escolha da fundação

Classificação	Valor RQD (%)
Muito boa	75-100
Bom	50-75
Regular	25-50
Ruim	10-25
Extremamente ruim	0-10

Fontes: Mayne, 2012

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Limitações topográficas e obras adjacentes

Taludes

Rio de Janeiro

Proximidade a água (erosão, variação do N.A.,...) Cascais, Portugal

Escavações subterrâneas próximo a edificação vizinha em Benfica, Lisboa

Escavações do metrô de São Paulo

Lixo no local da obra

Recomendações internacionais

Para o dimensionamento próximo ou em taludes recomenda-se a leitura do capítulo 4, itens 4.6 até 4.8, Foundation Principles (DAS), em que é explicado a metodologia de Meyerhof (1957)

Fontes: Los Angeles County Public Works Guidelines

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Características do subsolo
 Ensaios de laboratório
 Compreender necessidades, custo e tempo dos ensaios

Para o dimensionamento próximo ou em taludes recomenda-se a leitura do capítulo 4, itens 4.6 até 4.8, Foundation Principles (DAS), em que é explicado a metodologia de Meyerhof (1957)

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Características dos diferentes tipos de fundações

Fundações superficiais/rasas

Fundações profundas

Fundações mistas

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

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Posteriormente

Sendo viável a fundação direta, deve-se compará-la com os tipos viáveis de fundação profunda (**critério econômico**)

Caso contrário serão analisadas opções de fundações profundas (estacas e tubulão)

Determina-se a **fundação profunda** mais apropriada

- Estacas
 - Tipo
 - Carga de trabalho
 - profundidade
- Tubulão
 - Tensão admissível no subsolo (cota de apoio)
 - Método de execução

Estacas atrito + ponta

Estaca de ponta

Estacas recomenda-se carga de trabalho de 1/3 da carga do pilar médio, assim pilares de carga mínima 1 a 2 estacas e de carga máxima 5 a 6 (caso seja possível)

Mello (1975) estimativa de comprimento das estacas:

- Estacas atrito + ponta: $\sum N_{SPT} \cong 15 \cdot \sigma_c$
- Estaca de ponta: $N_{SPT} = 5 \cdot \sigma_c$

Tensão admissível do concreto: $\sigma_c = 5 \text{ MPa}$ (Tabela 6. NBR 6122)

Cuidado, não considera capacidade de carga do solo

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

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Conhecidas as características do solo e cargas:

Análise do emprego de fundações diretas:

Tensão admissível

$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50}$ [MPa] → para SPT ≤ 20 ou $\sigma_{adm} = 0,1 \cdot \sqrt{N_{SPT} - 1}$ [MPa] → para SPT ≤ 16

$\sigma_{adm} > 1,5 \cdot \sigma_{solicitante}$

$\frac{\sigma_{predio}}{\sigma_{adm}} \leq 60\%$, $\sigma_{predio} = n \cdot \sigma_{spp}$ **critério econômico**

n é o número de andares e σ_{spp} é a carga média típica por andar.

Recalques elásticos

$S_e = \sigma \cdot B \cdot \left[\frac{1 - \nu^2}{E_s} \right] \cdot J_w$ Boussinesq (1885)

$S_e = \mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \frac{\sigma \cdot B}{E_s}$ Janbu et al. (1956)

Área mínima (critério econômico)

$A_{min} (L \times B) = \frac{P_d}{\sigma_{adm}}$

$A_{sapatas} < 70\% A_{projetada}$

O N_{SPT} médio é calculado no bulbo de tensões da sapata

Avaliação de sobreposição e profundidade do bulbos em camadas inferiores. Verificação em duas camadas, Aula 3.

De maneira geral não deve ser usada em:

- Aterro não compactado;
- Argila mole;
- Areia fofa e muito fofa;
- Necessidade de escavar solos saturados;
- Existência de água em que o rebaixamento do lençol freático não se justifica economicamente;

estimar $\sigma_{spp} = 12 \text{ kPa}$, quando não há dados

$\sigma_{predio} [kPa] = 12 \cdot [n_{pav} + (n_{subs} - 1) + 2]$

n_{pav} é o número de pavimentos tipo

n_{subs} é o número de subsolos

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Situações para o uso de estacas segundo VESIC (1977)

A camada de rocha **sã** ou **impenetrável** não são encontrados a uma profundidade **razoável**, estacas são utilizadas para a transmissão gradual das cargas no solo. Resistência principalmente do atrito na interface solo-estaca.

Quando uma ou mais **camadas superiores do solo são altamente compressíveis** e muito fracas para suportar a carga transmitida pela superestrutura, as estacas são usadas para transmitir a carga para rocha subjacente ou uma camada de solo mais forte.

Soft soil

Rock

Submetidas a solicitações horizontais, resistência por flexão enquanto ainda suportam a carga vertical. (Contenções, estruturas altas sujeitas a ação do vento ou sísmica).

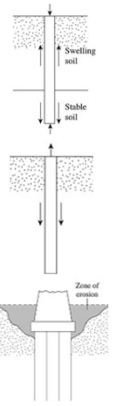
PEF 3405- Engenharia Geotécnica e de Fundações Prof. Massao 12

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

VIABILIDADE TÉCNICA

Situações para o uso de estacas segundo VESIC (1977)

Presença de solos colapsíveis e/ou expansivos. As estacas podem se estender além da zona ativa, em que ocorrem as dilatações e retrações pela variação do teor de umidade (danos severos em fundações rasas).



Estruturas submetidas a forças de soerguimento (tração), como torres de transmissão, plataformas offshore e lajes subterrâneas abaixo do nível freático.

Encontros de pontes e pilares são geralmente construídos sobre fundações de estacas para evitar a perda de capacidade de carga que uma fundação rasa pode sofrer por causa da erosão do solo erosão superficial.

13

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

VIABILIDADE TÉCNICA

ESTACAS	Tipo	Dimensões (cm) valor único e diâmetro	Carga de trabalho (kN)	diâmetro d (cm)	diâmetro-a (cm)	borda-estaca c (cm)	Comprimentos Disponíveis (m)	Vantagens	Desvantagens
	Madeira	15 a 30	100 a 300	60	30	20	3 a 15	custo; durabilidade (abaixo do N.A.) resistência a esforços de tração e transporte	Apostre acima do N.A. necessidade de emendar cabeça com concreto (baixas cargas); preço alto em zona urbana
	Pré-moldada de Concreto	15x15 18x18 20x20 26x26 33x33	150 200 300 450 700	50 60 70 85	30 30 30 40 40	15 20 20 30 35	Sem emenda 4 a 14 4 a 14 4 a 14 5 a 14 emendas soldadas > 14 m	praticamente qualquer solo (exceto com cascalhos grossos e malacões); rapidez de execução cargas variadas.	Custo (em locais distantes dos grandes centros produtores); comprimento pré-determinado (mas permite emendas de boa qualidade); eventual dificuldade no transporte; vibração e ruído na cravação; peso dos elementos, necessidade de enrocamento.
	Pré-Moldada de Concreto	20 25 33 38 42 58 60 70	200 300 500 700 800 1300 1600 2300	50 65 75 90 100 125 150 175	30 30 35 35 40 40 40	30 30 30 30 35 50 60 70	idem	Idem; peso menor; concreto de melhor qualidade.	Idem, mas com custo um pouco maior.
	Perfis de aço	composição de perfil: ou C/S para aço ASTM A36 / MR-250	100 x 10 ⁴ kPa	variável			20 a 30	qualquer, emendas por solda	Custo consoante ao tipo de aço; grande resistência para cravação e transporte (facil emenda solda)
	Brocas	20 25 30 40 50 60 80	150 200 300 400 600 800	40 60 70 80 90 115	25 25 25 25 30 30	20 20 20 20 25 30	3 a 6	Qualquer solo (concreto com malacões); Fácil execução	Custo envolvido quando no solo acima do N.A. ou em lâmina d'água.
	Escavadas com trado mecânico	20 25 30 40 50 60	150 200 300 400 600 800	40 60 70 80 90 115	25 25 25 25 30 30	20 20 20 20 25 30	3 a 11	Qualquer solo (concreto com malacões); Custo baixo	Qualidade do concreto envolvido abaixo do N.A. em argilas e siltes, bem como em argilas orgânicas moles
	Tipo "Ovasas"	20 25 30 38 45 55	150 200 300 400 600 800	40 60 70 80 90 115	25 25 25 25 30 30	20 20 20 20 25 30	máx. 15 a 20m, depende do equipamento.	Custo baixo; Boa qualidade do concreto	Risco de estrangulamento de fuste; Argilas orgânicas moles
	Tipo Franki Standard	35 40 52 60 70	50 70 130 200 300	60 70 100 150 210	30 30 40 40 45	30 35 40 40	5 a 15 5 a 30 5 a 30	Comprimento variável; Boa qualidade do concreto	vibrações elevadas e ruído

15

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

VIABILIDADE TÉCNICA

TIPO DE ESTACA/ TUBULÃO	NÚMERO DE GOLPES DO "IMPENETRÁVEL"	OBSERVAÇÃO	CAPACIDADE DE CARGA	PRODUTIVIDADE	PROFUNDIDADE MÁXIMA
Pré-moldada de concreto	Ø < 30 cm Σ N = 80 golpes / 30 cm Ø ≥ 30 cm	Cuidado com tensão de compressão ou tração excessiva na cravação	25 a 170 tf	50 m diários	8 a 12 m, podendo ser emendadas
Perfil metálico	25 < N ≤ 55	Pode haver desvio na cravação	20 a 200 tf	50 m diários	12 m, podendo ser emendada
Strauss	10 < N ≤ 25	Nível d'água é limitante	20 a 100 tf	30 m diários	20 a 25 m
Franki	solo arenoso solo argiloso	8 < N ≤ 15. Cuidado com a transição de camadas moles 20 < N ≤ 40. Cuidado com execução em argila mole, pega	60 a 400 tf	40 m diários	Até 36 m
Escavada/diafragma, sob lama bentonítica	30 < N ≤ 80	Cuidado com a limpeza do fundo da cava abastecimento de concreto e bota-fora, pega	20 a 250 tf	40 m diários	35 m
Tubulão	ar comprimido céu aberto	20 < N ≤ 60. Cuidado com as normas de trabalho 20 < N ≤ 60. Nível d'água é limitante	800 a 1000 tf 150 a 1000 tf	variável variável	34 m abaixo do N.A. Limitado ao N.A.
Hélice contínua	20 < N ≤ 45	Abastecimento de concreto, bota-fora, solo mole	25 a 390 tf	150 a 400 m diário	até 30 m
Ralz	N ≥ 60 (penetra na rocha sã)	Peculiaridades executivas, solo mole, pega	10 a 180 tf	30 m diários	-

Fonte: ABCP, 2008

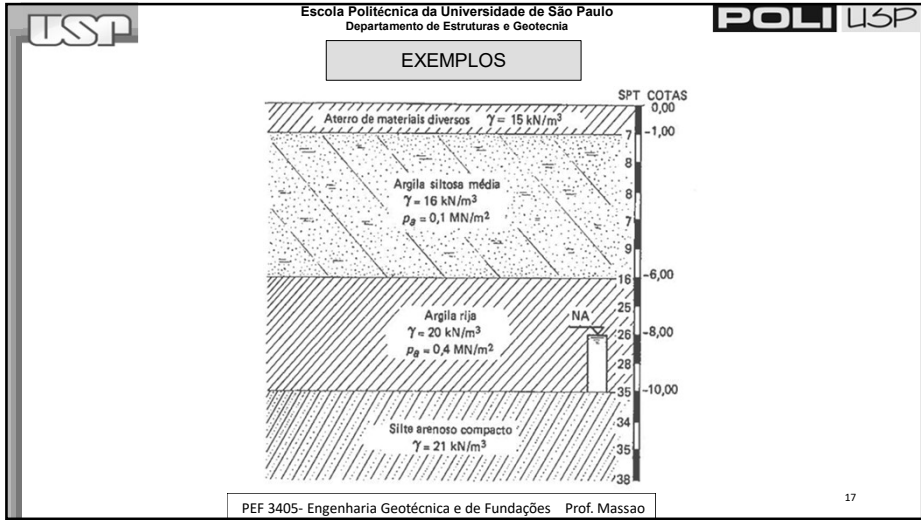
14

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

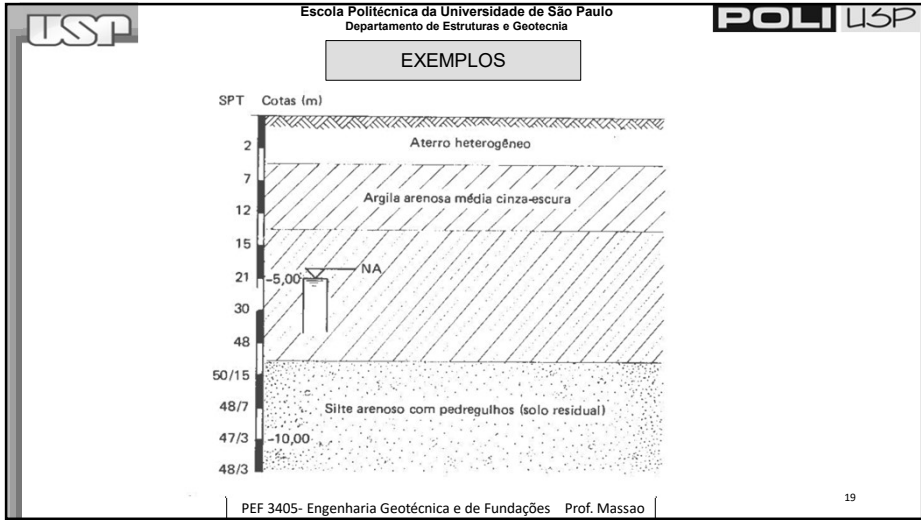
VIABILIDADE TÉCNICA

ESTACAS	Tipo	DIMENSÕES (cm)	CARGA DE TRABALHO (kN)	COMPRIMENTOS DISPONÍVEIS (m)	ALGUMAS VANTAGENS	ALGUMAS DESVANTAGENS
	Hélice contínua	Diâmetro 30 a 100	40 a 400	Até 24 m	- Fácil execução; - Alta produtividade; - Não causa vibração; - Serve para quase todos os tipos de terreno (exceto com cascalhos grossos e malacões)	- Requer equipamento especial só disponível nas metrópoles; - Riscos executivos maiores em argilas orgânicas muito moles; - Dificuldade para descer armações (em especial as muito compridas)
	Pré-moldada de Concreto	Diâmetro 10 a 40	Estimada admitindo-se perfuração (há notícias de ser possível atingir até 100 m)	Função do equipamento de perfuração (há notícias de ser possível atingir até 100 m)	Cargas elevadas Qualquer tipo de solo e rocha. Serve também (principalmente) para serviços de sub-fundação, reforços.	Custo muito alto, difícil controle de qualidade (risco de redução da reação da ponta). Exige equipamentos especiais e operadores qualificados.
	Estacas escavadas mecanicamente (abaixo do N.A. com auxílio de lama bentonítica)	Circular (estaca), diâmetro de 60 a 250	Calculada admitindo-se $\sigma_{adm} = 4 a 5 \times 10^4$ kPa (concreto simples) carga de 800 a 20000 kN	Função do equipamento de perfuração (há notícias de ser possível atingir até 60 m)	Alta carga de trabalho	Custo alto, controle rigoroso de execução para minimizar riscos de comportamento instabilizante (em especial, redução da reação da ponta).
	Estacas "Barreto"	Retangular 40 x 150 60 x 250 50 X 150 70 X 250 30 X 250 80 X 250 40 X 250 100 X 250	Idem acima, cargas até 12500 kN	Idem acima	Idem acima, utiliza os equipamentos para paredes diafragma, permitindo "sonegar" quando há tais paredes na obra.	Idem acima e maior dificuldade para atravessar "solos difíceis".
	TUBULÕES	A céu aberto A ar comprimido	60 cm (mínimo p/ escavação mecanizada); 70 cm p/ escavação manual Externo: 120 cm mínimo (corresp. a 80cm interno)	Calculada admitindo-se $\sigma_{adm} = 4 a 5 \times 10^4$ kPa (concreto simples) cargas de 5000 a 12000 kN	- Mínimo 4 m - Máximo é função do perfil do subsolo Máximo - 25 m abaixo do N.A.	Custo baixo; logística e equipamento; alta carga de trabalho; permite atravessar qualquer solo ou rocha acima do N.A. Execução muito artesanal. Custo muito alto. Condições de segurança do trabalho muito restritas para controlar risco. Profundidade baixa.

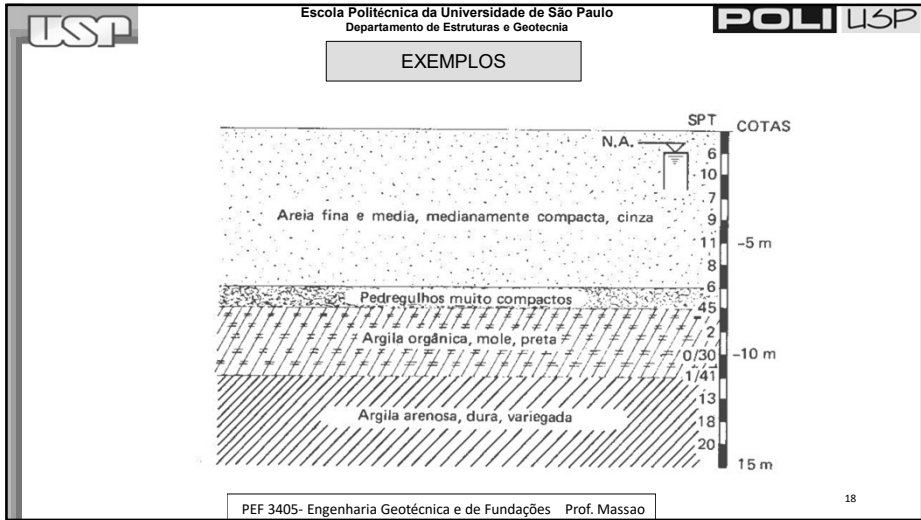
16



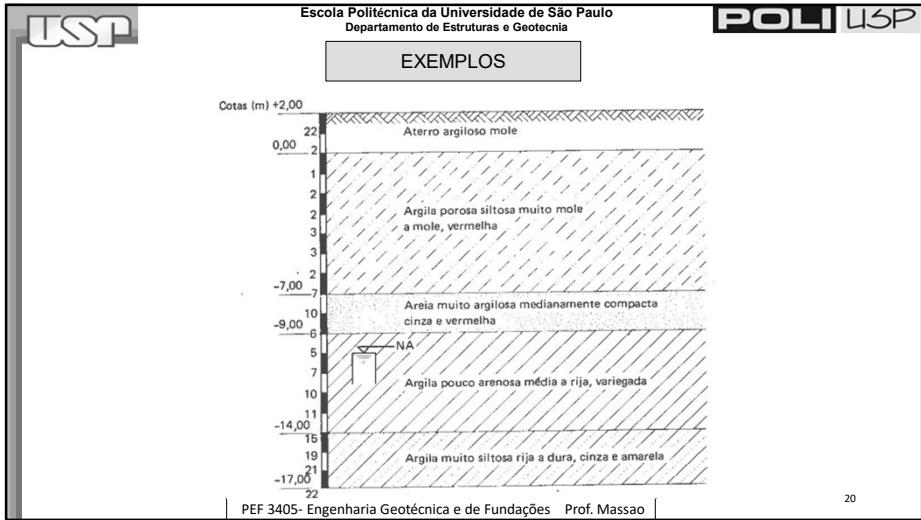
17



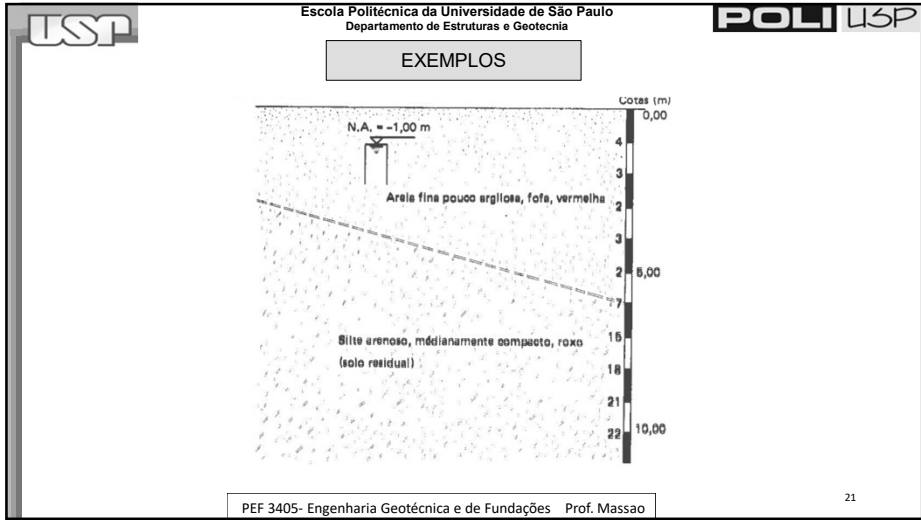
19



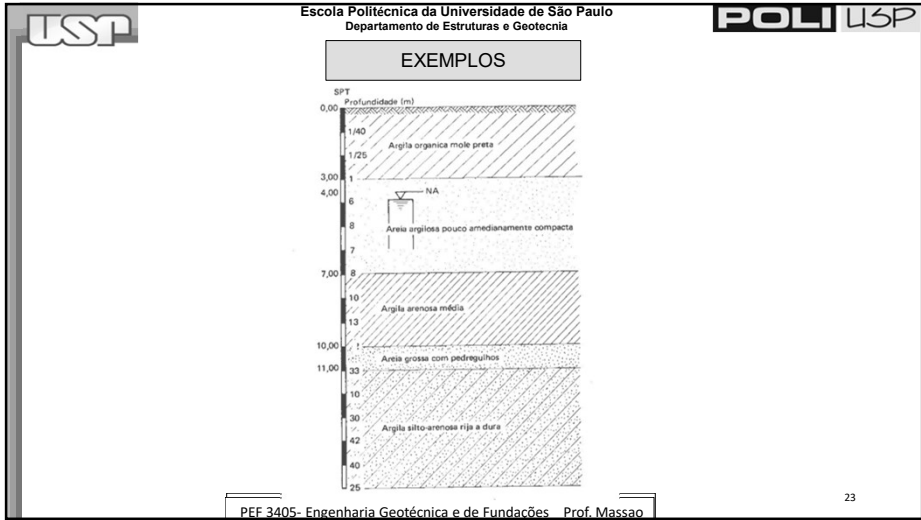
18



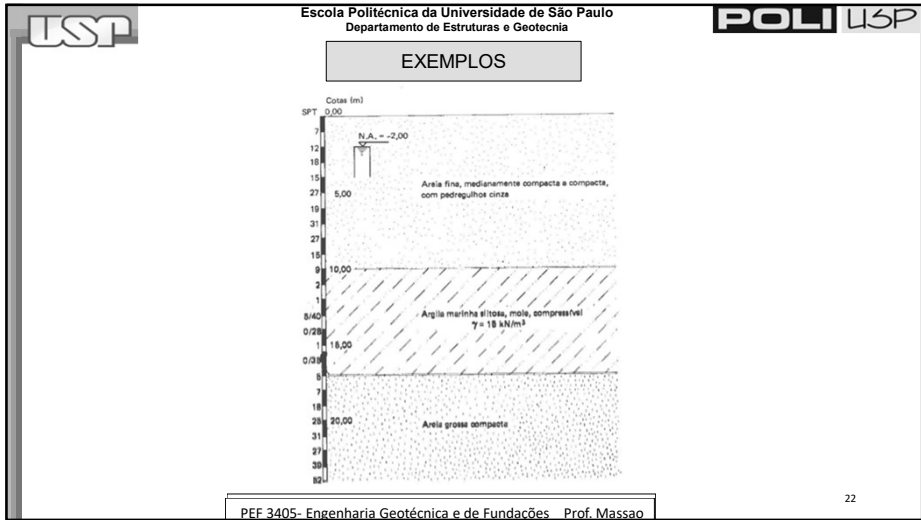
20



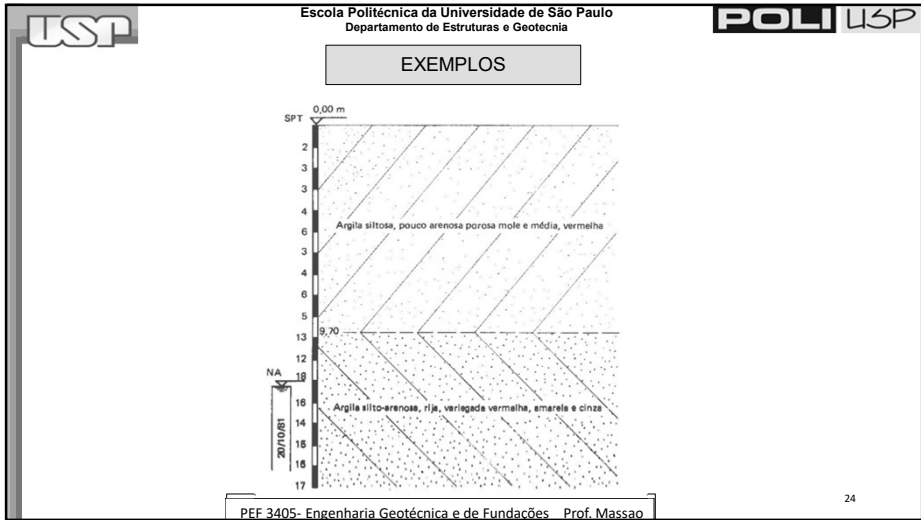
21



23



22



24

USP

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

POLI USP

Sugestões de leitura

ALONSO, U. R., Exercícios de Fundações, capítulo 5 – Escolha do tipo de Fundação

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6122 – PROJETO E EXECUÇÃO DE FUNDAÇÕES

HACHICH, W. Fundações: Teoria e Prática, São Paulo, 2002

LOPES, D. A. e VELLOSO, F. R. Fundações, São Paulo, 2011

PEF 3405- Engenharia Geotécnica e de Fundações Prof. Massao

29