

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

Aula 2. Sondagens, Correlações empíricas, Recalques em fundações rasas

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

IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

Caracterização geológico-geotécnica da área de interesse:

- Distribuição dos materiais presentes no local
- Parâmetros físicos dos materiais
- Previsão de comportamentos

Indispensável para a definição:

- Indicação do melhor local para obras civis
- Técnicas mais adequadas para intervenção no ter
- Volumes de remoção ou escavação

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

FATORES DE INFLUÊNCIA NA INVESTIGAÇÃO

- Risco
- Complexidade
- Fluxo das etapas de projeto
- Condicionantes Específicos
- Informações de monitoramento

Deslizamento em via expressa em Florianópolis Desabamento de túnel Aeroporto de Heathrow (Reino Unido)

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

CONCEPÇÃO

Definição de características:

- Material (solo, rocha, matacões, colapsível, expansivo, moles, presença de matéria orgânica, liquefação)
- Rupturas (algum processo já se iniciou? Quais rupturas a área está sujeita?)
- Deformações (adensamento ou rápidos elásticos, sobreposição de bulbos de tensões, compressibilidade)
- Erosão (carreamento de materiais? Retirada da camada superficial?)
- Água (nível do N.A., fluxo, capilaridade, variação sazonal)
- Estratigrafia (Camadas que constituem os horizontes do subsolo)

...

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

ASPECTOS RELEVANTES

- Associação entre ensaios próximos (ilhas de investigação) x aleatoriedade geológica

SPT 1 SPT 2 SPT 3 SPT 4

Solo 1
Solo 2

A very conservative geologist's interpretation.
A conservative geologist's interpretation.
An optimistic geologist's interpretation.
An extremely optimistic geologist's interpretation.

- Fatores éticos: utilização de ensaios de vizinhos, projetar sem sondagem, necessidade de F.S. = 3, análise laboratorial, negligência técnica, validade dos ensaios.

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

PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO

- Ensaios complexos de laboratório e campo
- Monitoramento e instrumentação
- Número de prospecções
- Tipos de prospecções

RISCO LOCAL COMPLEXIDADE

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

ETAPAS DE UM PROJETO GEOTÉCNICO

ESTUDO DE VIABILIDADE

PROJETO BÁSICO

PROJETO EXECUTIVO

FASE OPERACIONAL

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

Reconhecimento preliminar

- Mapas topográficos
- Mapas geológicos
- Fotos aéreas/ satélite
- Visita ao local
- Ocupação anterior
- Estado construções vizinhas
- Mapeamento por drones (VANTS)

Deslizamento Ca' Lita, Emilia Romana, Itália (Google Earth Pro)

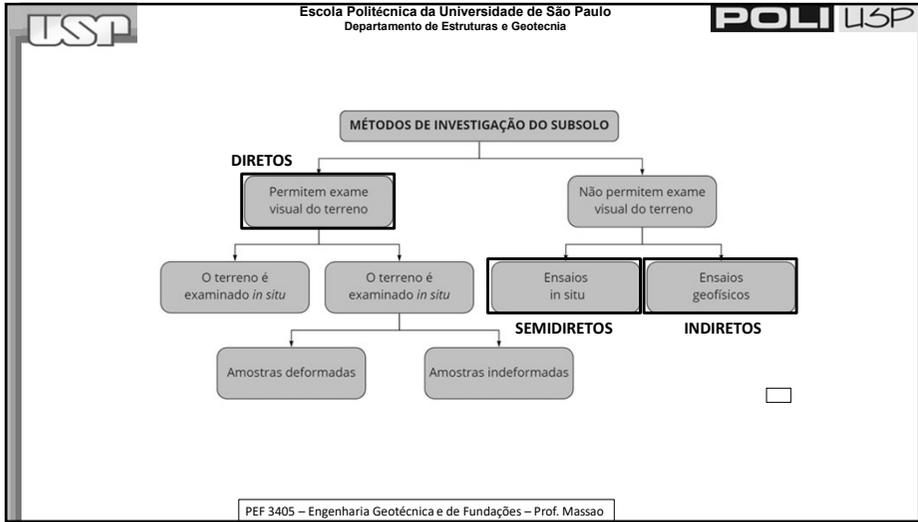
Prospecção (investigação)

- Processos indiretos
- Processos semidiretos
- Processos diretos

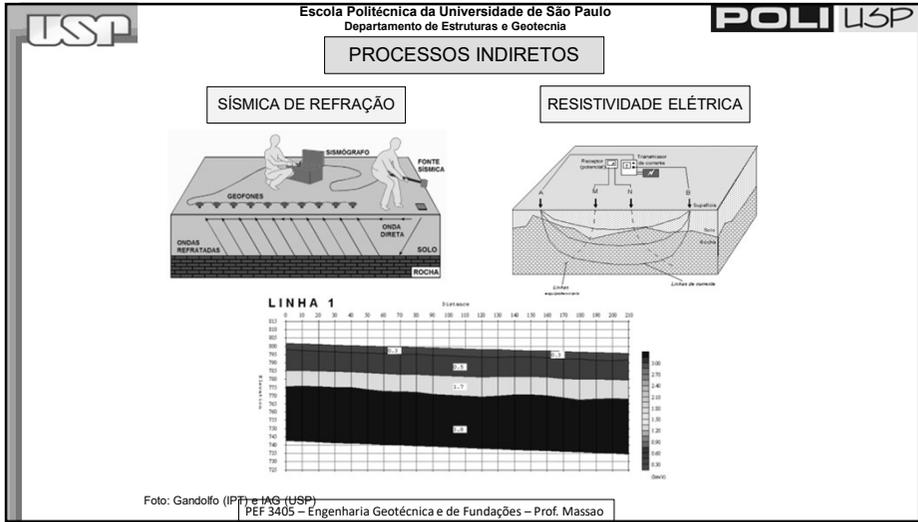
Foto: Arqplan

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

8



9



10

USP POLI USP

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

PROCESSOS DIRETOS

Inspeção *in situ*

Análise em campo através de taludes, poços ou trincheiras para reconhecimento em profundidade

Coleta de amostras

Amostras indeformadas:

Coleta manual (blocos)

Amostradores de parede fina

Amostras deformadas:

Trado

Escavação manual

Amostradores de parede grossa

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

11

USP POLI USP

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

Coleta de amostras indeformadas

A recolha pode se dar através da abertura de poços de inspeção/ extração de amostras

- Adensamento;
- Cisalhamento direto;
- Compressão simples;
- Triaxiais.

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

Coleta de amostras deformadas

Coleta em ensaios SPT pelo próprio amostrador padrão ou por meio de equipamentos de recolha de material como trados.

- Teor de umidade;
- Granulometria;
- Limites de consistência;
- Peso específico real dos grãos

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

13

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

Amostrador de parede fina (SHELBY ou DENISON)

DENISON: Amostras indeformadas de solos mais resistentes (rijos e compactos). Necessário uso de sondagem rotativa

SHELBY: Para argilas e siltes argilosos (solos moles e de baixa resistência)

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao Fonte: PUC-RJ

14

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

Amostrador de parede grossa

Utilização na sondagem de simples reconhecimento com SPT

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

15

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

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (SPT)

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

16

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

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (SPT)

©Copyright Prof. Dias-Segura

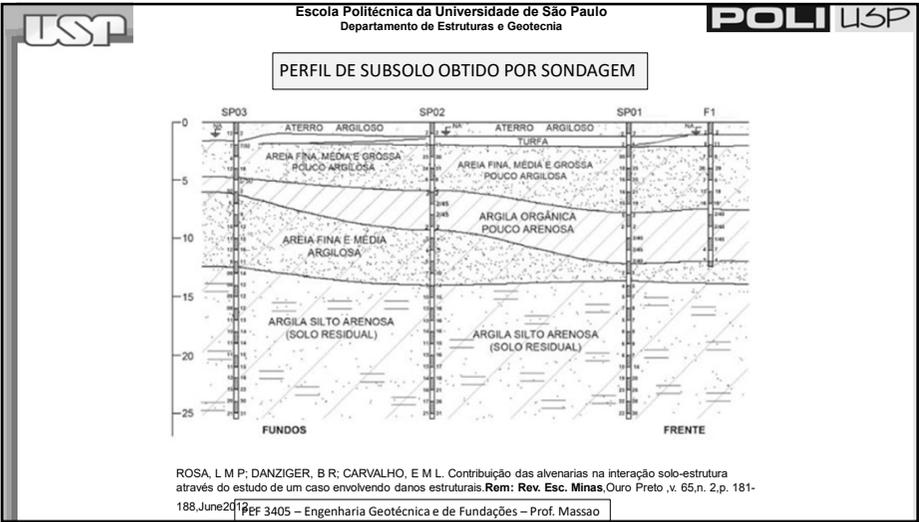
PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao

21

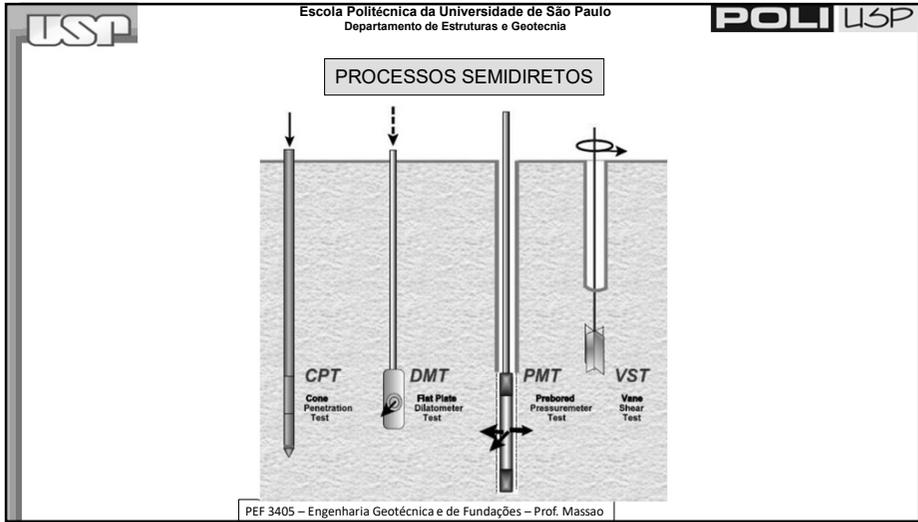
USP Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento de Estruturas e Geotecnia POLI USP

EXEMPLO DE RESULTADO DE SONDAGEM (SPT)

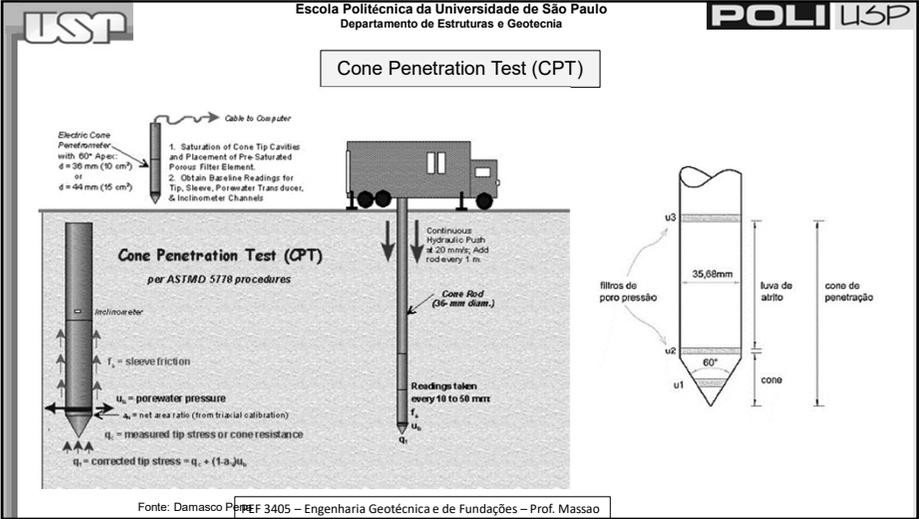
| PROFUNDIDADE (m) | RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO SPT (blows/30cm) | DESCRIÇÃO DO MATERIAL | AVANÇO (cm) |
|------------------|---|---|-------------|
| 0.00 - 0.15 | 2 | ATERRO DE AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR MARROM E CINZA VARIADO | TC |
| 0.15 - 0.30 | 8 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR AMARELO E CINZA VARIADO | TC |
| 0.30 - 0.45 | 15 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 0.45 - 0.60 | 22 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 0.60 - 0.75 | 36 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 0.75 - 0.90 | 55 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 0.90 - 1.05 | 72 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.05 - 1.20 | 90 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.20 - 1.35 | 108 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.35 - 1.50 | 126 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.50 - 1.65 | 144 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.65 - 1.80 | 162 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.80 - 1.95 | 180 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 1.95 - 2.10 | 198 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 2.10 - 2.25 | 216 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 2.25 - 2.40 | 234 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 2.40 - 2.55 | 252 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 2.55 - 2.70 | 270 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 2.70 - 2.85 | 288 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 2.85 - 3.00 | 306 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.00 - 3.15 | 324 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.15 - 3.30 | 342 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.30 - 3.45 | 360 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.45 - 3.60 | 378 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.60 - 3.75 | 396 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.75 - 3.90 | 414 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 3.90 - 4.05 | 432 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.05 - 4.20 | 450 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.20 - 4.35 | 468 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.35 - 4.50 | 486 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.50 - 4.65 | 504 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.65 - 4.80 | 522 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.80 - 4.95 | 540 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 4.95 - 5.10 | 558 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 5.10 - 5.25 | 576 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 5.25 - 5.40 | 594 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 5.40 - 5.55 | 612 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 5.55 - 5.70 | 630 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 5.70 - 5.85 | 648 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 5.85 - 6.00 | 666 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.00 - 6.15 | 684 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.15 - 6.30 | 702 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.30 - 6.45 | 720 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.45 - 6.60 | 738 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.60 - 6.75 | 756 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.75 - 6.90 | 774 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 6.90 - 7.05 | 792 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.05 - 7.20 | 810 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.20 - 7.35 | 828 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.35 - 7.50 | 846 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.50 - 7.65 | 864 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.65 - 7.80 | 882 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.80 - 7.95 | 900 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 7.95 - 8.10 | 918 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 8.10 - 8.25 | 936 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 8.25 - 8.40 | 954 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 8.40 - 8.55 | 972 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 8.55 - 8.70 | 990 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 8.70 - 8.85 | 1008 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 8.85 - 9.00 | 1026 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.00 - 9.15 | 1044 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.15 - 9.30 | 1062 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.30 - 9.45 | 1080 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.45 - 9.60 | 1098 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.60 - 9.75 | 1116 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.75 - 9.90 | 1134 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 9.90 - 10.05 | 1152 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.05 - 10.20 | 1170 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.20 - 10.35 | 1188 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.35 - 10.50 | 1206 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.50 - 10.65 | 1224 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.65 - 10.80 | 1242 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.80 - 10.95 | 1260 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 10.95 - 11.10 | 1278 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 11.10 - 11.25 | 1296 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 11.25 - 11.40 | 1314 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 11.40 - 11.55 | 1332 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 11.55 - 11.70 | 1350 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 11.70 - 11.85 | 1368 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 11.85 - 12.00 | 1386 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.00 - 12.15 | 1404 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.15 - 12.30 | 1422 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.30 - 12.45 | 1440 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.45 - 12.60 | 1458 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.60 - 12.75 | 1476 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.75 - 12.90 | 1494 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 12.90 - 13.05 | 1512 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.05 - 13.20 | 1530 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.20 - 13.35 | 1548 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.35 - 13.50 | 1566 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.50 - 13.65 | 1584 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.65 - 13.80 | 1602 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.80 - 13.95 | 1620 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 13.95 - 14.10 | 1638 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 14.10 - 14.25 | 1656 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 14.25 - 14.40 | 1674 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 14.40 - 14.55 | 1692 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 14.55 - 14.70 | 1710 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 14.70 - 14.85 | 1728 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 14.85 - 15.00 | 1746 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.00 - 15.15 | 1764 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.15 - 15.30 | 1782 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.30 - 15.45 | 1800 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.45 - 15.60 | 1818 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.60 - 15.75 | 1836 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.75 - 15.90 | 1854 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 15.90 - 16.05 | 1872 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.05 - 16.20 | 1890 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.20 - 16.35 | 1908 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.35 - 16.50 | 1926 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.50 - 16.65 | 1944 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.65 - 16.80 | 1962 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.80 - 16.95 | 1980 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 16.95 - 17.10 | 1998 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 17.10 - 17.25 | 2016 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 17.25 - 17.40 | 2034 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 17.40 - 17.55 | 2052 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 17.55 - 17.70 | 2070 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 17.70 - 17.85 | 2088 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 17.85 - 18.00 | 2106 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.00 - 18.15 | 2124 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.15 - 18.30 | 2142 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.30 - 18.45 | 2160 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.45 - 18.60 | 2178 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.60 - 18.75 | 2196 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.75 - 18.90 | 2214 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 18.90 - 19.05 | 2232 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.05 - 19.20 | 2250 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.20 - 19.35 | 2268 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.35 - 19.50 | 2286 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.50 - 19.65 | 2304 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.65 - 19.80 | 2322 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.80 - 19.95 | 2340 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 19.95 - 20.10 | 2358 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 20.10 - 20.25 | 2376 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 20.25 - 20.40 | 2394 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 20.40 - 20.55 | 2412 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 20.55 - 20.70 | 2430 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 20.70 - 20.85 | 2448 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 20.85 - 21.00 | 2466 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.00 - 21.15 | 2484 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.15 - 21.30 | 2502 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.30 - 21.45 | 2520 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.45 - 21.60 | 2538 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.60 - 21.75 | 2556 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.75 - 21.90 | 2574 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 21.90 - 22.05 | 2592 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.05 - 22.20 | 2610 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.20 - 22.35 | 2628 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.35 - 22.50 | 2646 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.50 - 22.65 | 2664 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.65 - 22.80 | 2682 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.80 - 22.95 | 2700 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 22.95 - 23.10 | 2718 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 23.10 - 23.25 | 2736 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 23.25 - 23.40 | 2754 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 23.40 - 23.55 | 2772 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 23.55 - 23.70 | 2790 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 23.70 - 23.85 | 2808 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 23.85 - 24.00 | 2826 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.00 - 24.15 | 2844 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.15 - 24.30 | 2862 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.30 - 24.45 | 2880 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.45 - 24.60 | 2898 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.60 - 24.75 | 2916 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.75 - 24.90 | 2934 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 24.90 - 25.05 | 2952 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.05 - 25.20 | 2970 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.20 - 25.35 | 2988 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.35 - 25.50 | 3006 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.50 - 25.65 | 3024 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.65 - 25.80 | 3042 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.80 - 25.95 | 3060 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 25.95 - 26.10 | 3078 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 26.10 - 26.25 | 3096 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 26.25 - 26.40 | 3114 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 26.40 - 26.55 | 3132 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 26.55 - 26.70 | 3150 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 26.70 - 26.85 | 3168 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 26.85 - 27.00 | 3186 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 27.00 - 27.15 | 3204 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 27.15 - 27.30 | 3222 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 27.30 - 27.45 | 3240 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |
| 27.45 - 27.60 | 3258 | AREIA FINA POUCA ARGILOSA, COR CINZA AMARELADO | TC |



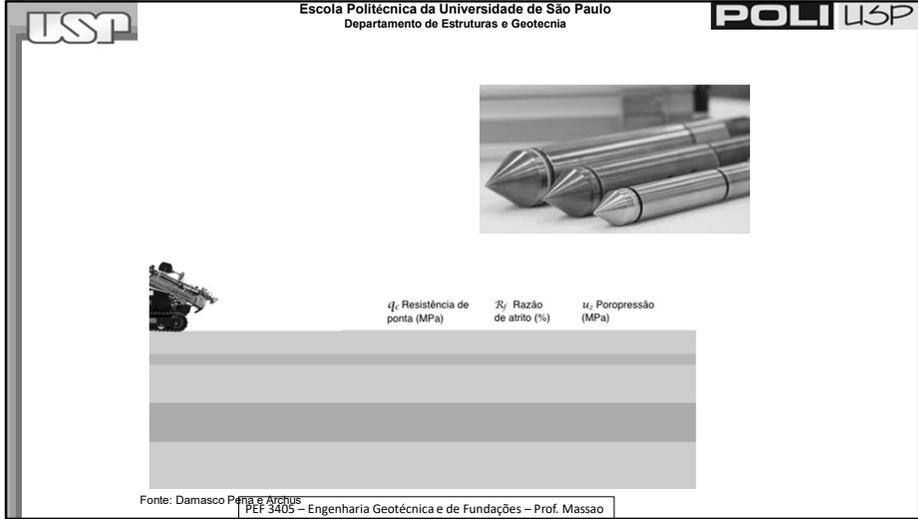
29



30



31



32

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

RESULTADO CPTu

Atrito lateral ← f_s

Poros-pressão ← u_b

Resistência de ponta ← q_t

Razão de atrito: $R_f(\%) = \frac{f_s}{q_t} \cdot 100$

Fonte: Damasco Pena

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

33

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

Carta de classificação dos solos - CPTu (Robertson et al., 1986)

Célula de carga (q_c)

Poropressão (u_2)

Resistência de ponta (q_t)

$$a = \frac{A_n}{A_t}$$

$$q_t = q_c + u_2 \cdot (1 - a)$$

| SBT | Tipo de comportamento do solo |
|-----|-------------------------------|
| 1 | Solos finos sensíveis |
| 2 | Solos orgânicos |
| 3 | Argila |
| 4 | Argila silty a argila |
| 5 | Silt argiloso a argila silty |
| 6 | Silt arenoso a silt argiloso |
| 7 | Areia silty a silt arenoso |
| 8 | Areia a areia silty |
| 9 | Areia |
| 10 | Areia pedregulhosa a areia |
| 11 | Solo fino muito rijo* |
| 12 | Areia a areia pedregulhosa* |

SBT: Soil Behavior Type

Fonte: Damasco Pena

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

34

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

DMT

Calibrations of Membrane Stiffness in Air: $\Delta A = 10$ to 30 kPa (junction) $\Delta A = 20$ to 60 kPa (inlet)

Incremental Hydraulic Push at 20 mm/s; Stop to test every 200 mm (or 300 mm)

Note: both positive values

Cone or Drill Rod

Pneumatically-Inflated Flexible Steel Membrane ($d = 60$ mm)

Flat Plate Dilatometer Tapered Blade 95 mm wide by 240 mm long by 15 mm thick

1. Initial

2. Push

3. A-reading

4. B-reading

5. Deflate Rapidly

Membrane collapsed due to soil stresses

Membrane expanded outward 1.1 mm

Readout Panel and Gas Supply

FLAT DILATOMETER TEST (DMT)

p_1 = Lift-off pressure (corrected "A" reading)

p_2 = Expansion pressure (corrected "B" reading)

Eurocode 7 – Geotechnical Design – Part 3 – “Design assisted by field testing” – Section 9 – Flat Dilatometer Test (DMT)

Fonte: Damasco Pena

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

35

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

Pressiômetro de Ménard PMT

Pressuremeter Test (PMT) ASTM D 4719

Temporary Casing

Pressuremeter Probe: $d = 73$ mm $L = 440$ mm

Drill Rod ("A" or "B" Type)

Lower Probe into Pre-Bored Hole and Expand with Pressurized Water

Screw Pump: 1. Each Full Rotation of Piston Cylinder Forces an Incremental Volume of Water (or Gas or Oil) into the PMT Probe. 2. Measure Corresponding Pressure at each increment.

Rubber Membrane of Probe Expands as a right cylinder. Evaluated per Cylindrical Cavity Expansion Theory.

Plot Pressure u versus Volume Change ΔV (or alternatively, Volumetric Strain or Cavity Strain) to Find Pressuremeter Parameters:

- p_1 = Lift-Off Pressure
- e = Elastic Modulus
- T_{max} = Shear Strength
- F_1 = Limit Pressure

Fonte: Damasco Pena

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

36

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

Vane Test

Torque

Palheta

Superfície de Cisalhamento

condição indistúrbada

condição remoldada

relação (graus)

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

37

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

CORRELAÇÕES

argila arenosa-siltosa

solo arenoso-siltoso

IMPENETRÁVEL

$\gamma_{sat} = 15kN/m^3$ $Surgão = 50kPa$
 $w = 26\%$ $N_{60} = 4$
 $c = 5kPa$ $f_c = 40kPa$
 $\phi = 20^\circ$ $q_c = 23kPa$
 $e = 1,5$ $T_{un} = 0,02kN/m$
 $E = 12kPa$

$\gamma_{sat} = 16kN/m^3$ $Surgão = 60kPa$
 $w = 32\%$ $N_{60} = 17$
 $c = 26kPa$ $f_c = 160kPa$
 $\phi = 22^\circ$ $q_c = 2,2kPa$
 $e = 1,6$ $T_{un} = 0,19kN/m$
 $E = 13kPa$

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

38

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

CORRELAÇÕES

Peso específico (γ)

| Godoy (1972) Solos argilosos | | | Godoy (1972) Solos arenosos | | | | |
|------------------------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------|----------|
| N_{SPT} | Compacidade | Peso específico (kN/m ³) | N_{SPT} | Compacidade | Peso específico (kN/m ³) | | |
| | | | | | Areia seca | Úmida | Saturada |
| ≤ 2 | Muito mole | 13 | < 5 | Fofa | 16 | 18 | 19 |
| 3 a 5 | Mole | 15 | 5 a 8 | Pouco compacta | 17 | 19 | 20 |
| 6 a 10 | Média | 17 | 9 a 18 | Medianamente compacta | 18 | 20 | 21 |
| 11 a 19 | Rija | 19 | 19 a 40 | Compacta | | | |
| ≥ 20 | Dura | 21 | >40 | Muito compacta | | | |

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

39

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

CORRELAÇÕES

Peso específico (γ)

Robertson (2010)

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0,27 \cdot [\log R_f] + 0,36 \cdot \log \left(\frac{q_c}{P_a} \right) + 1,236$$

R_f = razão de atrito
 γ_w = peso específico da água
 P_a = pressão atmosférica, mesma unidade de q_c
 $P_a = 101 kPa$

Dimensionless Cone Resistance (q/P_a)

Friction Ratio, $R_f = (f_s/q_c) \times 100(\%)$

Dimensionless Soil Unit Weights, γ/γ_w (γ_w = unit weight of water)

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

40

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

CORRELAÇÕES

Ângulo de atrito (ϕ)

CPTU

Robertson & Campanella (1983)

$$\tan \phi' = \frac{1}{2,68} \left[\log \left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) + 0,29 \right]$$

Kulhawy & Mayne (1990)

$$\phi = \tan^{-1} \left(0,1 + 0,381 \cdot \log \left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) \right)$$

SPT

Godoy (1983)

$$\phi = 28^\circ + 0,4 \cdot N_{SPT}$$

Teixeira (1996)

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N_{SPT}} + 15^\circ$$

Hatanaka e Uchida (1996)

$$\phi = \sqrt{20 \cdot N_{SPT}} + 20^\circ$$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 41

41

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

CORRELAÇÕES

Coesão do solo (c)

Teixeira & Godoy (1996)

$$c = 10 \cdot N_{SPT} \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

Décourt (1989)

$$c = 12,5 \cdot N_{SPT} \text{ (kN / m}^2\text{)}$$

Importante

Deve-se ter cuidado ao utilizar as correlações para a coesão do solo, um parâmetro de coesão alto pode estar associado aos efeitos aparentes. Desta forma, sendo possível superestimar a superfície de ruptura.

Qual a coesão de um aterro e solos arenosos?

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 42

42

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

CORRELAÇÕES

Resistência não drenada (S_u)

Lunne e Kleven (1981)

$$S_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}}{N_K}$$

N_K -varia entre 15 e 28,4

$\Rightarrow c_u = S_u \cdot 0,5$

| Soil Type | Name and Year | N_K values |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Normally consolidated clay | Lunne and Kleven (1981) | 11-19 |
| Medium soft clay | Kiousis et al. (1988) | 8,5 |
| Scandinavian Marine clays | Jøss (1998) | 20 (Marine clay) 15 (Boulder clay) |
| Different soil types | Gebreselassie (2003) | 7,6-28,4 |
| Malaysia soils | Chen (2001) | 5-12 |
| Boom clay | Van Empe (2004) | 13-24 |
| Fine-grained soils | Almeida et al. (2010) | 4-16 |

Robertson e Cabal (2012)

$$S_u = \frac{q_t - \sigma_v}{N_{Kt}}$$

N_{Kt} -varia entre 10 e 18

Bowles (1988)

$$N_{Kt} = 13 + \frac{5,5}{50} I_p \pm 2$$

I_p é o índice de plasticidade

| Autor | Local/Solo | N_{Kt} |
|--------------------------------------|------------------|----------|
| Rocha Filho e Alencar (1985) | Sarapuí/RJ | 10-15 |
| Danziger (1990) | Sarapuí/RJ | 8-12 |
| Coutinho, Oliveira e Danziger (1993) | Recife/PE | 10-15 |
| Árabe (1995b) | Vale Quilombo/SP | 12-15 |
| Soares, Schimid e Bica (1997) | Porto Alegre/RS | 8-16 |
| Sandroni et al. (1997) | Sergipe | 14-18 |
| Balista e Sayão (1998) | Salvador/BA | 12-18 |

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 43

43

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

CORRELAÇÕES

Módulo de deformabilidade (E_s)

Schmertmann (1978) - solos

$$E_s = 2,5 \cdot \left[1 + 0,4 \cdot \log \left(\frac{L}{B} \right) \right] \cdot q_c$$

Trofimenkov (1974) - areias

$$E_s = 130 + 3,4 \cdot q_c$$

Kulhawy e Mayne (1990) - solos

$$E_s = 8,25 \cdot (q_c - \sigma_{v0})$$

Teixeira e Godoy (1996)

$$E_s = \alpha \cdot q_c = \alpha \cdot K \cdot N_{SPT}$$

| Solo | α | Solo | K(MPa) |
|--------|----------|-----------------------|--------|
| Areia | 3 | Areia com pedregulhos | 1,1 |
| Silte | 5 | Areia | 0,9 |
| Argila | 7 | Areia siltosa | 0,7 |
| | | Areia argilosa | 0,55 |
| | | Silte arenoso | 0,45 |
| | | Silte | 0,35 |
| | | Argila arenosa | 0,3 |
| | | Silte argiloso | 0,25 |
| | | Argila siltosa | 0,2 |

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 44

44

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

Módulo de deformabilidade (E_s)

Décourt (1995)

$$E_s = \alpha \cdot N_{SPT}$$

| Solo | α |
|----------------------|----------|
| Areias | 3,5 |
| Solos intermediários | 3,0 |
| Argilas saturadas | 2,5 |

Módulo de cisalhamento (G_0)

Stroud (1988)

$$G_0 = 7,0 \cdot N_{SPT} (MN / m^2)$$

Barros (1992)

$$G_0 = 47,5 \cdot N_{SPT}^{0,72} (MN / m^2)$$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 45

45

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

CORRELAÇÕES

Rochas

(Hoek e Diederichs, 2006)

Módulo de elasticidade do **maciço**

$$E_{rm} = 10^5 \frac{1 - D/2}{1 + \exp[(75 + 25D - GSI)/11]}$$

Conhecendo o módulo da rocha intacto:

$$E_{rm} = E_i \left\{ 0,02 + \frac{1 - D/2}{1 + \exp[(60 + 15D - GSI)/11]} \right\}$$

GSI: Geological Strength Index (mapeamento de campo)

D: Dano oriundo do processo construtivo (não aplicável a todo o maciço), varia de 0 até 1,0

Lista de valores típicos:

| Rock Type | ρ (lb/ft ³) [kg/m ³] | Porosity % | E (ksi) [GPa] | Poisson's Ratio |
|--------------|---|-------------|---------------------------|-----------------|
| Igneous | (138 - 187) [2210 - 3000] | 0.10 - 22.1 | (1450 - 14504) [10 - 100] | 0.10 - 0.40 |
| Granite | (158 - 164) [2530 - 2620] | 1.02 - 2.87 | (4351 - 10153) [30 - 70] | 0.17 |
| Diorite | (175 - 187) [2800 - 3000] | 0.10 - 0.50 | (4351 - 14504) [30 - 100] | 0.10 - 0.20 |
| Gabbro | (170 - 187) [2730 - 3000] | 1.00 - 5.57 | (5802 - 14504) [40 - 100] | 0.20 - 0.35 |
| Rhyolite | (150 - 162) [2400 - 2600] | 0.40 - 4.00 | (1450 - 7252) [10 - 50] | 0.20 - 0.40 |
| Andesite | (156 - 175) [2500 - 2800] | 0.20 - 8.00 | (1450 - 10153) [10 - 70] | 0.20 |
| Basalt | (138 - 173) [2210 - 2770] | 0.22 - 22.1 | (5802 - 11603) [40 - 80] | 0.10 - 0.20 |
| Sedimentary | (114 - 172) [1820 - 2760] | - | (725 - 13053) [5 - 90] | 0.10 - 0.30 |
| Conglomerate | (154 - 172) [2470 - 2760] | - | (1450 - 13053) [10 - 90] | 0.10 - 0.15 |
| Sandstone | (119 - 161) [1910 - 2580] | 1.62 - 26.4 | (2176 - 7252) [15 - 50] | 0.14 |
| Shale | (125 - 150) [2000 - 2400] | 20.0 - 50.0 | (725 - 4351) [5 - 30] | 0.10 |
| Mudstone | (114 - 170) [1820 - 2720] | - | (725 - 10153) [5 - 70] | 0.15 |
| Dolomite | (137 - 169) [2200 - 2700] | 0.30 - 4.00 | (4351 - 10153) [30 - 70] | 0.15 |
| Limestone | (167 - 170) [2670 - 2720] | 0.27 - 4.10 | (2901 - 10153) [20 - 70] | 0.30 |
| Metamorphic | (136 - 206) [2180 - 3300] | - | (725 - 13053) [5 - 90] | 0.15 - 0.30 |
| Gneiss | (163 - 195) [2610 - 3120] | 0.32 - 1.16 | (4351 - 11603) [30 - 80] | 0.24 |
| Schist | (162 - 178) [2600 - 2850] | 10.0 - 30.0 | (725 - 8702) [5 - 60] | 0.15 - 0.25 |
| Phyllite | (136 - 206) [2180 - 3300] | - | (1450 - 12239) [10 - 85] | 0.26 |
| Slate | (169 - 174) [2710 - 2780] | 1.84 - 3.64 | (2901 - 13053) [20 - 90] | 0.20 - 0.30 |
| Marble | (157 - 179) [2510 - 2860] | 0.65 - 0.81 | (4351 - 10153) [30 - 70] | 0.15 - 0.30 |
| Quartzite | (163 - 167) [2610 - 2670] | 0.40 - 5.9 | (7252 - 13053) [50 - 90] | 0.17 |

Fonte: J. Schön, Physical Properties of Rocks, Volume 65: Fundamentals and Principles of Petrophysics. Netherlands.

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 46

46

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

CORRELAÇÕES

Rochas

Resistência à compressão uniaxial (UCS)

| Field Estimate of Strength | Examples | Strength (MPa) |
|--|--|----------------|
| Specimen can only be chipped with a geological hammer. | Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite. | >250 |
| Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it. | Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff. | 100-250 |
| Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it. | Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale. | 50-100 |
| Cannot be scraped or peeled with a pocket knife; specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer. | Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone. | 25-50 |
| Can be peeled with a pocket knife with difficulty; shallow indentations made by firm blow with point of a geological hammer. | Chalk, rocksalt, potash. | 5-25 |
| Crumbles under firm blows with point of a geological hammer; can be pested by a pocket knife. | Highly weathered or altered rock. | 1-5 |
| Indented by thumbnail. | Stiff fault gouge. | 0.25-1 |

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 47

47

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

RECALQUES EM FUNDAÇÕES RASAS

The diagram illustrates the relationship between foundation stiffness and soil behavior. It is divided into four quadrants based on foundation type (flexible vs. rigid) and soil type (sand vs. clay).
 - **Top-Left (Areias, Fundação flexível):** Shows a trapezoidal contact pressure distribution on sand, with settlement concentrated at the center.
 - **Top-Right (Argilas, Fundação flexível):** Shows a trapezoidal contact pressure distribution on clay, with settlement concentrated at the center.
 - **Bottom-Left (Areias, Fundação rígida):** Shows a parabolic contact pressure distribution on sand, with settlement concentrated at the edges.
 - **Bottom-Right (Argilas, Fundação rígida):** Shows a parabolic contact pressure distribution on clay, with settlement concentrated at the edges.
 Arrows indicate the direction of contact pressure and the resulting settlement profile.

Fonte: DAS (2006)

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 48

48

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

RECALQUES EM FUNDAÇÕES RASAS

Equação geral para cálculo de recalques

$$S_T = S_c + S_s + S_e$$

S_T = recalque total
 S_c = Recalque de adensamento (consolidação) primária
 S_s = Recalque de adensamento secundária
 S_e = Recalque elástico

Stage I (S_c): compressão inicial (pré-carregamento)
 Stage II (S_s): adensamento primário durante o qual o excesso de pressão neutra é gradualmente transferida para a tensão efetiva por causa da expulsão da água nos poros
 Stage III (S_s): adensamento secundário que ocorre após a completa dissipação da pressão neutra, quando alguma deformação ocorre devido ao reajuste plástico ou viscoplastico.

Fonte: DAS (2006)

49

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

Recalque elástico (S_e)

Boussinesq (1885)

$$S_e = \sigma \cdot B \cdot \left[\frac{1 - \nu^2}{E_s} \right] \cdot I_w$$

σ = tensão média
 B = menor dimensão em planta da sapata
 E_s = módulo de deformabilidade do solo
 ν = coeficiente de Poisson
 I_w = fator de influência

| Tipo de Placa | Flexível | |
|---------------|----------|----------------|
| | Centro | Borda ou Canto |
| Circular | 0,79 | 1,00 |
| Quadrada | 0,85 | 1,11 |
| Retangular | LB = 2 | 1,17 |
| | LB = 5 | 1,66 |
| | LB = 10 | 2,00 |

Fator de influência I_w

Camada semi-infinita e recalque imediato em meio elástico homogêneo em placa flexível ou rígida, quadrada ou retangular

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

50

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

Recalque elástico (S_e)

Janbu et al. (1956)

$$S_e = \frac{\mu_0 \cdot \mu_1 \cdot \sigma \cdot B}{E_s}$$

σ = tensão média
 B = menor dimensão em planta da sapata
 E_s = módulo de deformabilidade do solo
 μ_0 e μ_1 = embutimento da sapata e espessura da camada de solo

Camada finita e recalque imediato em meio elástico homogêneo sobre material indeslocável

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

51

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

Recalque adensamento primário (S_c)

$$\Delta H = \frac{H}{1 + e_0} \cdot \left(C_r \cdot \log \frac{\sigma'_a}{\sigma'_{vo}} + C_c \cdot \log \frac{\sigma'_{vo} + \Delta \sigma}{\sigma'_a} \right)$$

e_0 = índice de vazios inicial
 H = espessura da camada
 C_c = índice de compressão
 C_r = índice de recompressão
 σ'_{vo} = tensão inicial
 σ'_a = tensão de pré-adensamento
 $\Delta \sigma$ = tensão aplicada

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

52

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

Recalque adensamento secundário (S_z)

Em função da **deformação específica**:

$$C_{\alpha\epsilon} = \frac{\Delta H/H_0}{\Delta \log_{10} t}$$

Em função do índice de vazios:

$$C_{\alpha\epsilon} = \frac{\Delta e}{\Delta \log_{10} t}$$

Correlação entre as definições:

$$C_{\alpha\epsilon} = \frac{C_{\alpha\epsilon}}{1 + e_0}$$

C_α (coeficiente de adensamento secundário) em função da deformação específica varia de 0,5% a 2% para argilas normalmente adensadas e podendo atingir valor de 3% ou mais para argilas muito plásticas

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 53

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

Recalque total para solos arenosos

Schmertmann (1970,1978)

$$\rho_d = C_1 \cdot C_2 \cdot \sigma^* \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_z}{E_s} \cdot \Delta z \right)_i$$

$$C_1 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{q}{\sigma^*} \right) \geq 0,5$$

$$C_2 = 1 + 0,2 \cdot \log \left(\frac{t}{0,1} \right)$$

Tensão líquida: $\sigma^* = \sigma - q$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 54

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

Recalque total para solos arenosos

Schmertmann (1970,1978)

$$\rho_d = C_1 \cdot C_2 \cdot \sigma^* \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_z}{E_s} \cdot \Delta z \right)_i$$

Sapatas quadradas ou circulares

Para $0 \leq z \leq \frac{B}{2}$

$$I_z = 2 \left(\frac{z}{B} \right) \cdot (I_{z,max} - 0,1) + 0,1$$

Para $\frac{B}{2} \leq z \leq 2B$

$$I_z = \left[\frac{4}{3} - \frac{2}{3} \left(\frac{z}{B} \right) \right] I_{z,max}$$

Sapatas corridas

Para $0 \leq z \leq B$

$$I_z = \left(\frac{z}{B} \right) \cdot (I_{z,max} - 0,2) + 0,2$$

Para $\frac{B}{2} \leq z \leq 2B$

$$I_z = \left[\frac{4}{3} - \frac{1}{3} \left(\frac{z}{B} \right) \right] I_{z,max}$$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 55

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

Recalque total para solos arenosos

Schmertmann (1970,1978)

$$\rho_d = C_1 \cdot C_2 \cdot \sigma^* \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_z}{E_s} \cdot \Delta z \right)_i$$

Sapatas retangulares

Para $0 \leq z \leq \frac{3}{4}B$

$$I_z = \frac{4}{3} \left(\frac{z}{B} \right) \cdot (I_{z,max} - 0,15) + 0,15$$

Para $\frac{3}{4}B \leq z \leq 3B$

$$I_z = \left[\frac{4}{3} - \frac{4}{9} \left(\frac{z}{B} \right) \right] I_{z,max}$$

PEF 3405 – Engenharia Geotécnica e de Fundações – Prof. Massao 56

USP

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

POLI USP

Sugestões de leitura

Velloso e Lopes, 2011, Fundações Critérios de Projeto, Capítulos 3 e parte do 5

DAS, B. M., 2006, Principles of Geotechnical Engineering , capítulo 10 e 11

HACHICH, W., 2002, Fundações: Teoria e Prática. 2ª ed. Editora Pini, São Paulo

Pinto, C.S., 2006, Curso Básico de Mecânica dos Solos, Oficina de Textos

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

57