Aterros sobre solos moles

Heloisa Helena Silva Gonçalves

Obras em solos moles

Curiosidades:

No século XIX a ligação entre São Paulo e Cubatão era feita por diligências e de Cubatão para Santos por meio de barcas

A ligação entre Petrópolis e Mauá era feita pela primeira estrada de ferro brasileira e de Mauá ao Rio de Janeiro através da barca de Petrópolis

A estrada de ferro Santos-Jundiaí atravessou regiões de mangue com uso de estiva

A primeira estrada de rodagem da Baixada Santista foi feita através de lançamento de aterro em ponta

Obras em solos moles

Problemas Característicos de Obras em região de solos moles:

- Estabilidade
- Recalques
- Interferência dos recalques do solo nos elementos estruturais como por exemplo:
  - Atrito negativo
  - Efeito Thebotarioff

Preocupações:

- Estabilidade das fundações de obras de arte
- Recalques diferenciais entre as obras de arte (da ordem de decímetro) e os aterros de encontros (da ordem de metro) formando degraus
- Estabilidade das fundações de edificações próximas a solos moles

Obras em solos moles

- **Abertura de valas**
- **Escavação de túneis**
- **Travessias subterrâneas**
- **Fundações em solos moles**
- **Aterros sobre solos moles**

Obras em solos moles

Rupturas em sobre solos moles

Obras em solos moles

Ruptura - dado histórico:

A ponte sobre o rio Guandu na variante Rio-Petrópolis foi derrubada por um "aterro de encontro" de apenas 2m de altura.

Lição: Deve-se sempre que possível construir primeiro os aterros e somente após grande parte dos recalques terem ocorrido, construir as fundações próximas; caso contrário deve-se considerar no projeto das fundações o acréscimo de cargas.

Exemplo de ruptura em solo mole: Edifício Anêmona - Ubatuba

Ruptura da Vala de Cubatão: Fábrica da Rhodia

Ruptura

Ruptura

Construção de aterros sobre solos moles

Características dos solos moles

Definição:

Solos moles são solos sedimentares com baixa resistência à penetração (SPT≤ 4) em que a fração argila imprime as características de solo coesivo e compressível. São em geral, argilas moles ou areias argilosas fofas de deposição recente (formadas durante o Quaternário)

Meios de deposição:
Água doce
Água salgada
Água salobra

Processo de deposição:
Fluvial
Marinho

Características dos solos moles

Meios de deposição:

- Água doce
- Água salgada
- Água salobra

Processo de deposição:

- Fluvial
- Marinho

Local de deposição:

- Várzeas
- Planícies de inundação
- Praias
- Canais de mar
- Etc

Características dos solos moles

Fatores que afetam a deposição:

•Velocidade das águas
•Quantidade e composição da matéria em suspensão na água
Salinidade e floculação das partículas
•Presença de matéria orgânica, tais como, húmos, detritos vegetais, conchas, etc

Solos moles de origem fluvial

Deposição de sedimentos nas planícies de inundação ou várzeas dos rios

Nas partes mais baixas da planície (pobremente drenada) ocorre a decantação de sedimentos mais finos (argilas e siltes) podendo haver estratificações e intercalações com areias finas
$\Rightarrow$ Heterogeneidade vertical

Forma meandrante dos cursos dos rios com escavações na margem côncava e deposição na convexa, com predominância de materiais finos tanto no leito dos rios quanto na carga (suspensão)
$\Rightarrow$ Heterogeneidade horizontal

Exemplos brasileiros: Pantanal matogrossense, áreas de igapós do Amazonas, bacias do Alto Xingu, regiões do alto e médio rio São Francisco

Solos moles de origem fluvial

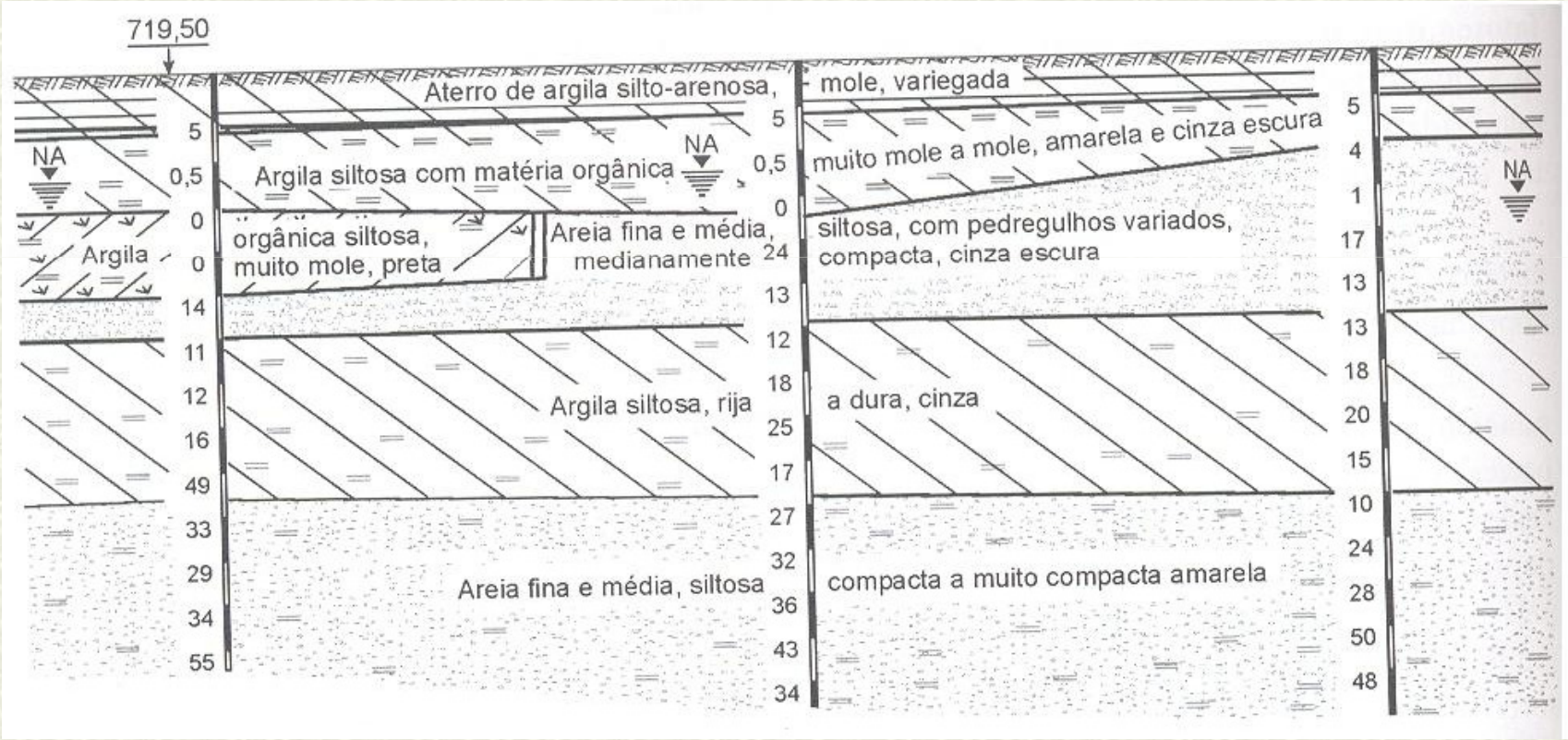
São Paulo:

Várzeas dos rios que cortam as cidades de São Paulo e Taubaté são as mais extensas

Extensos depósitos de turfa nas várzeas do rio Paraíba do Sul, Bacia de Taubaté

Solos moles de origem fluvial

Várzea do Rio Pinheiros (Massad, 2003)

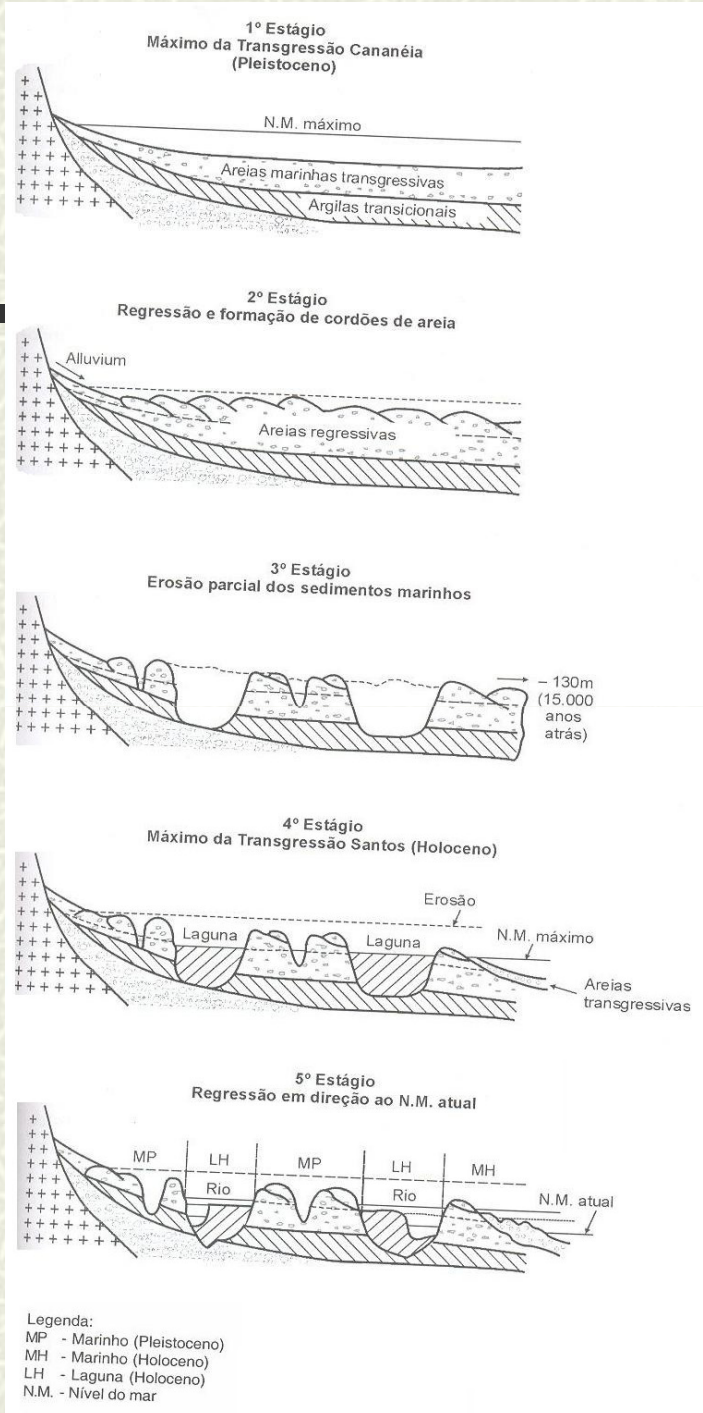


Solos moles de origem Marinha (Massad, 2003)

Dois ciclos de sedimentação no quaternário:
no Pleistoceno
No Holoceno

Entremeados por um processo erosivo muito intenso durante a última glaciação cujo máximo ocorreu 15.000 anos atrás.

Dois episódios de ingressão do mar em direção ao continente:
Transgressão Cananéia que ocorreu há 120.000 anos (Pleistoceno)
Nível marinho mais elevado (8 +- 2m)

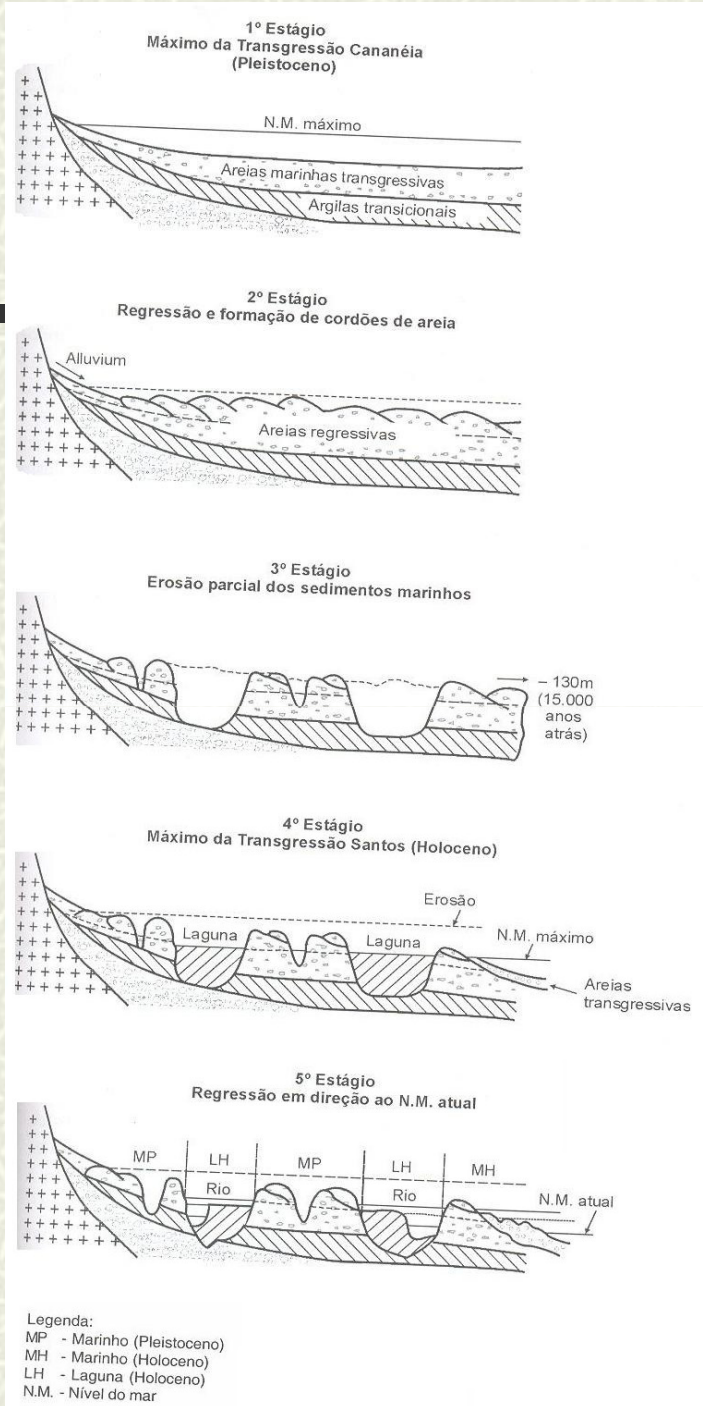


Solos moles de origem Marinha (Massad, 2003)

Dois episódios de ingressão do mar em direção ao continente:

Transgressão Cananéia que ocorreu há 120.000 anos (Pleistoceno)
Nível marinho mais elevado (8 +- 2m)

Transgressão Santos, iniciada há 7000 anos (Holoceno) de nível marinho mais baixo (4+-2m) que deram origem a dois tipos diferentes de sedimentos

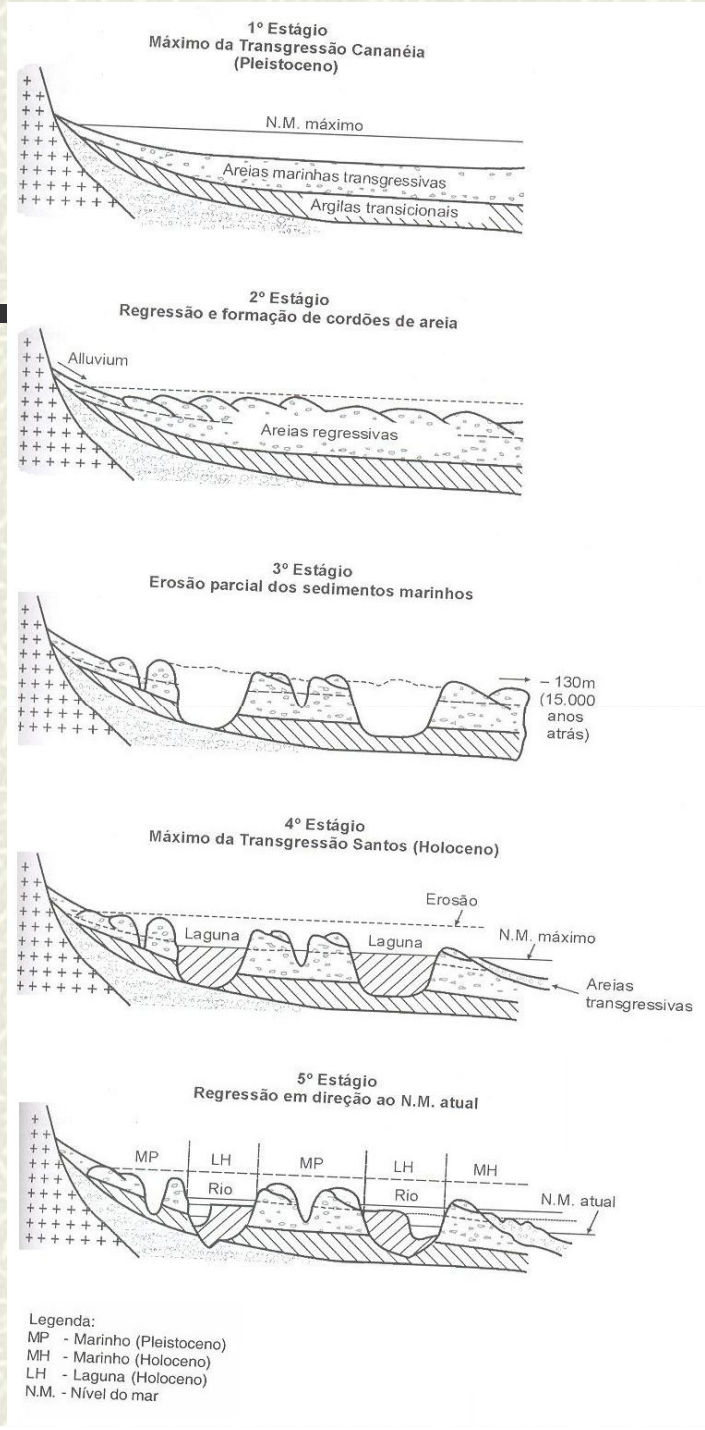


Solos moles de origem Marinha (Massad, 2003)

Dois tipos de sedimentos:

Formação Cananéia depositado há 100.000 - 120.000 anos é argiloso **(Argilas Transicionais - AT)** ou arenoso em sua base e arenoso no topo **(Areias Transgressivas)**

Sedimentos Holocênicos depositado há 7000-5000 anos. Com o término da glaciação teve início a Transgressão Santos, com o mar afogando os vales escavados pela rede hidrográfica. Os sedimentos holocênicos preencheram lagunas e baías **(Sedimentos Flúvio – Lagunares – SFL)**



Solos moles de origem marinha

Variações relativas do nível do mar – São Paulo (Suguio e Martin, 1978)

Nível do mar baixou 130m há 15.000anos (fig.a)

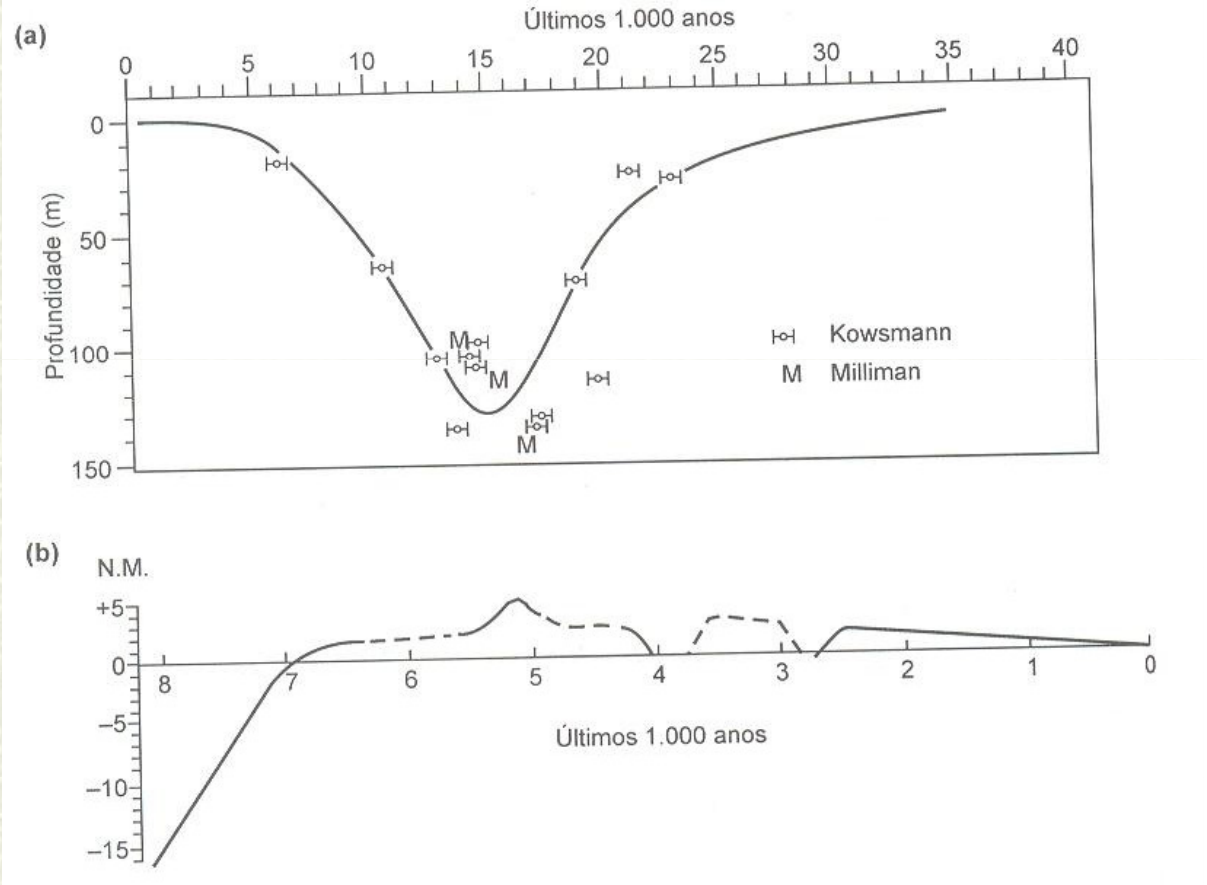
⇓

AT fortemente sobreadensadas

Leve oscilação do NM – oscilações negativas da ordem de 2m há 4.000 anos (fig. b)

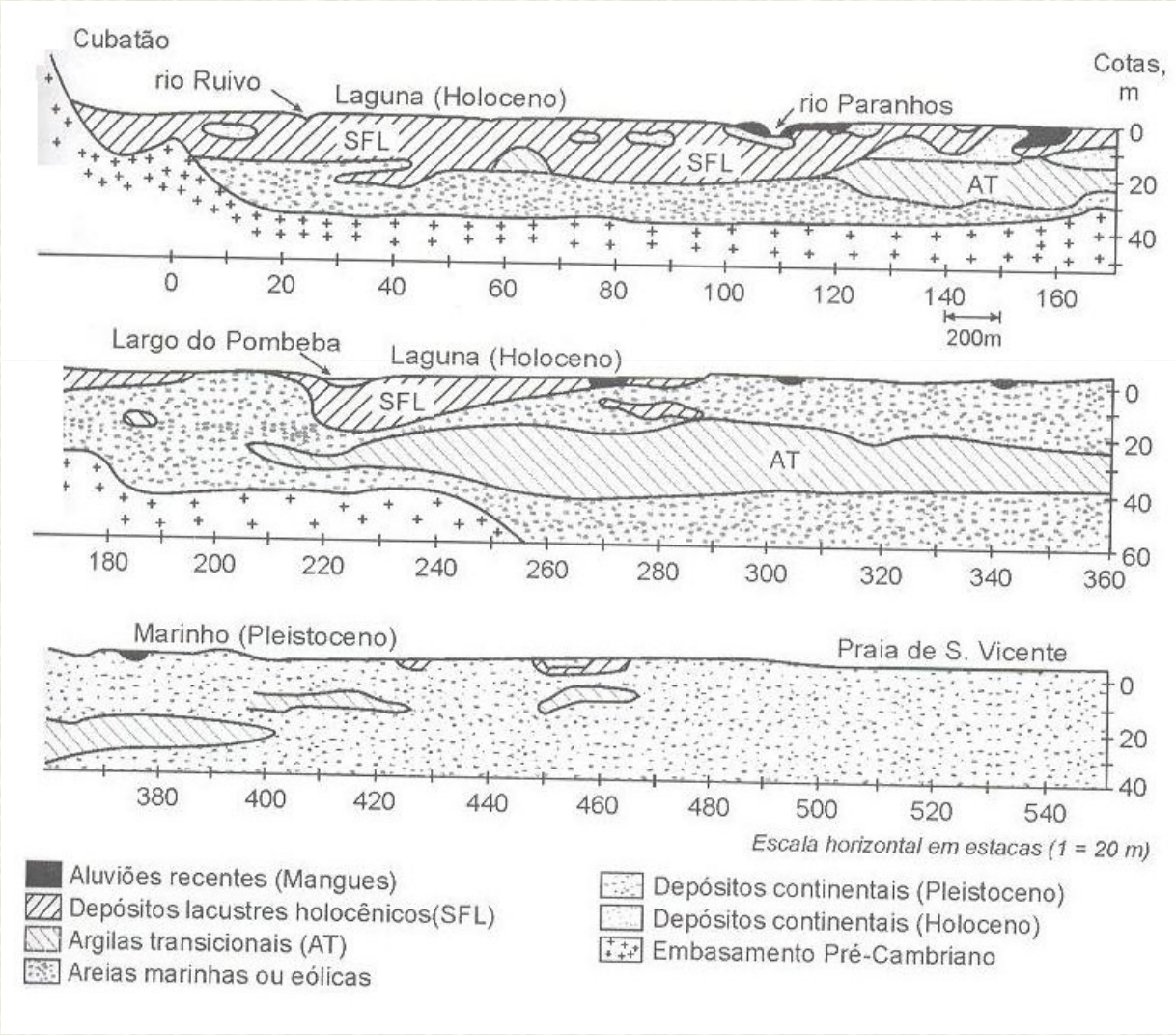
⇓

SFL levemente sobreadensadas



Solos moles de origem marinha

Seção geológica esquemática – Via dos Imigrantes (Massad, 2003)



Solos moles de origem marinha

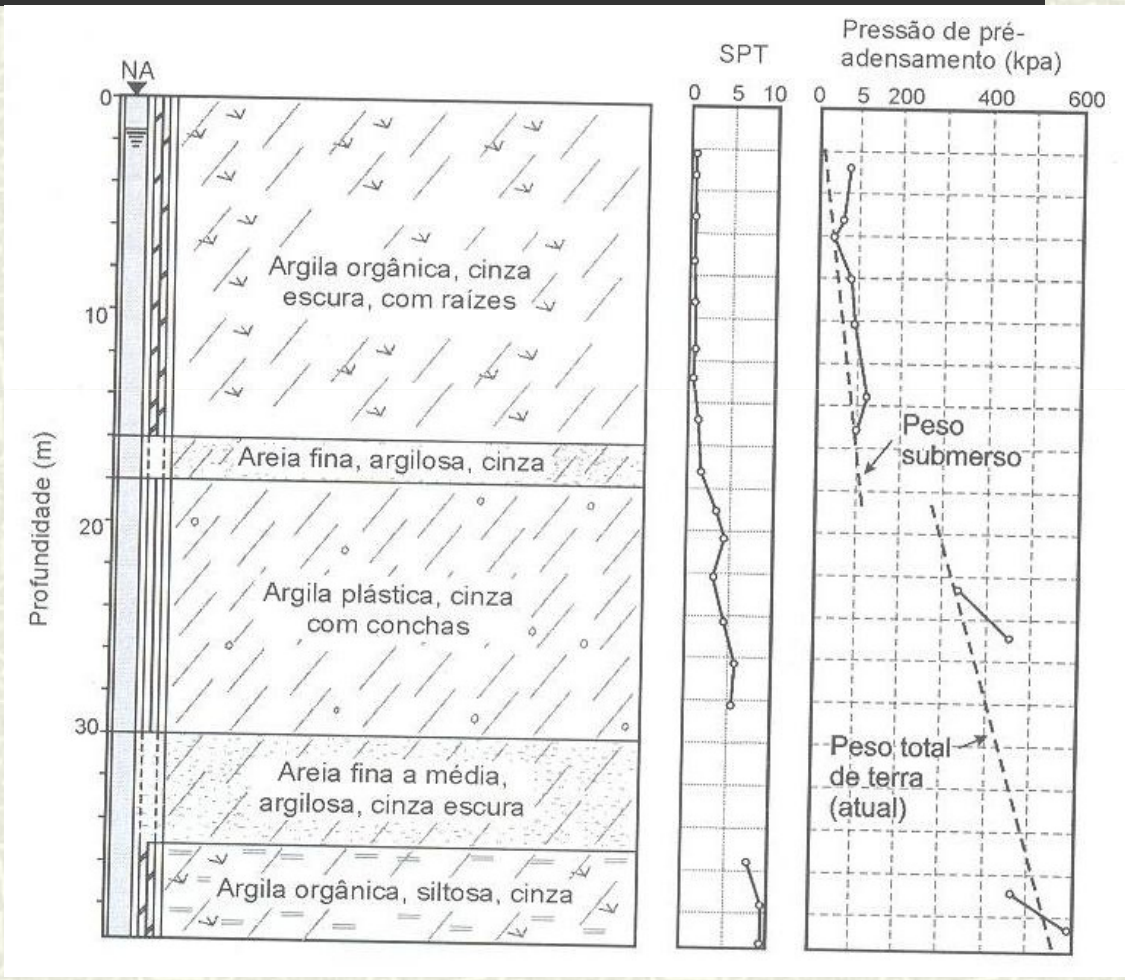
Sobreadensamento das argilas – Baixada santista (Massad, 2003)

SFL - levemente sobreadensadas

$\sigma_a = \gamma_{sub} . Z + 20$ (kPa) (Variação negativa de 20 do NM))

AT- fortemente sobreadensadas

σ_a da ordem de 300 a 600kPa (equivale ao peso de um aterro de 15 a 30m de altura)



Aterros sobre solos moles

Parâmetros para projeto

Recalques

Parâmetros para cálculo de recalque:

σ'

$Cc/(1 + e_0)$

$Cr/ (1+e_0)$

Parâmetros para cálculo de tempo:

Cv

Ensaios de laboratório $\Rightarrow$ amolgamento das amostras, diminui σ'_a e portanto OCR

Confirmar OCR por correlações

Cvh $\Rightarrow$ CPTU

Ideal: aterro experimental

Resistência

Parâmetros para cálculo da resistencia

su $\Rightarrow$ Vane, CPTU, ensaios de laboratorio CU anisotrópico

Correlações

Aterros sobre solos moles

Estabilidade

Solução de Fellenius

Problema:

Carga distribuída na superfície de uma camada de solo mole

Hipóteses:
Coesão constante
Grande espessura
Superfície circular de ruptura
Momentos atuantes = Momentos resistentes

Pesquisa do círculo crítico

Conclusão: carga que leva à ruptura: $q_r = 5{,}5\ c$

Aterros sobre solos moles

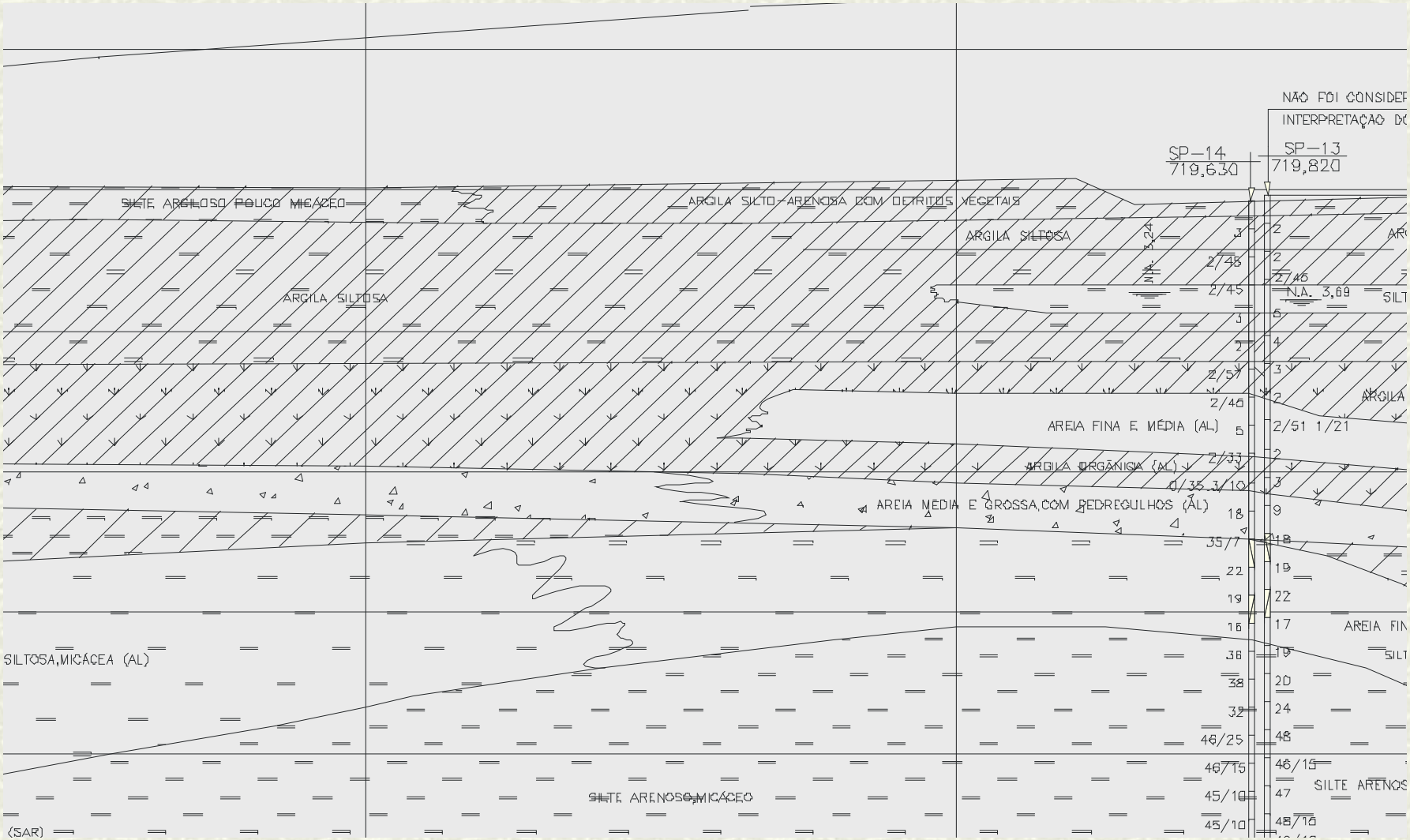
Estabilidade

Coesão constante
Grande espessura
Superfície circular de ruptura
Momentos atuantes = Momentos resistentes

Pesquisa do círculo crítico

Conclusão: carga que leva à ruptura: $q_r = 5{,}5\ c$

Várzea Paulista: Perfil Geotécnico



Aterros sobre solos moles:
Complexo Viário de Várzea Paulista

Aterro até 3m de altura

Aterro com mais de 3m de altura:

- Utilização de pré-carga com drenos fibro-químicos
- Aterro com stiropor

Corte do aterro

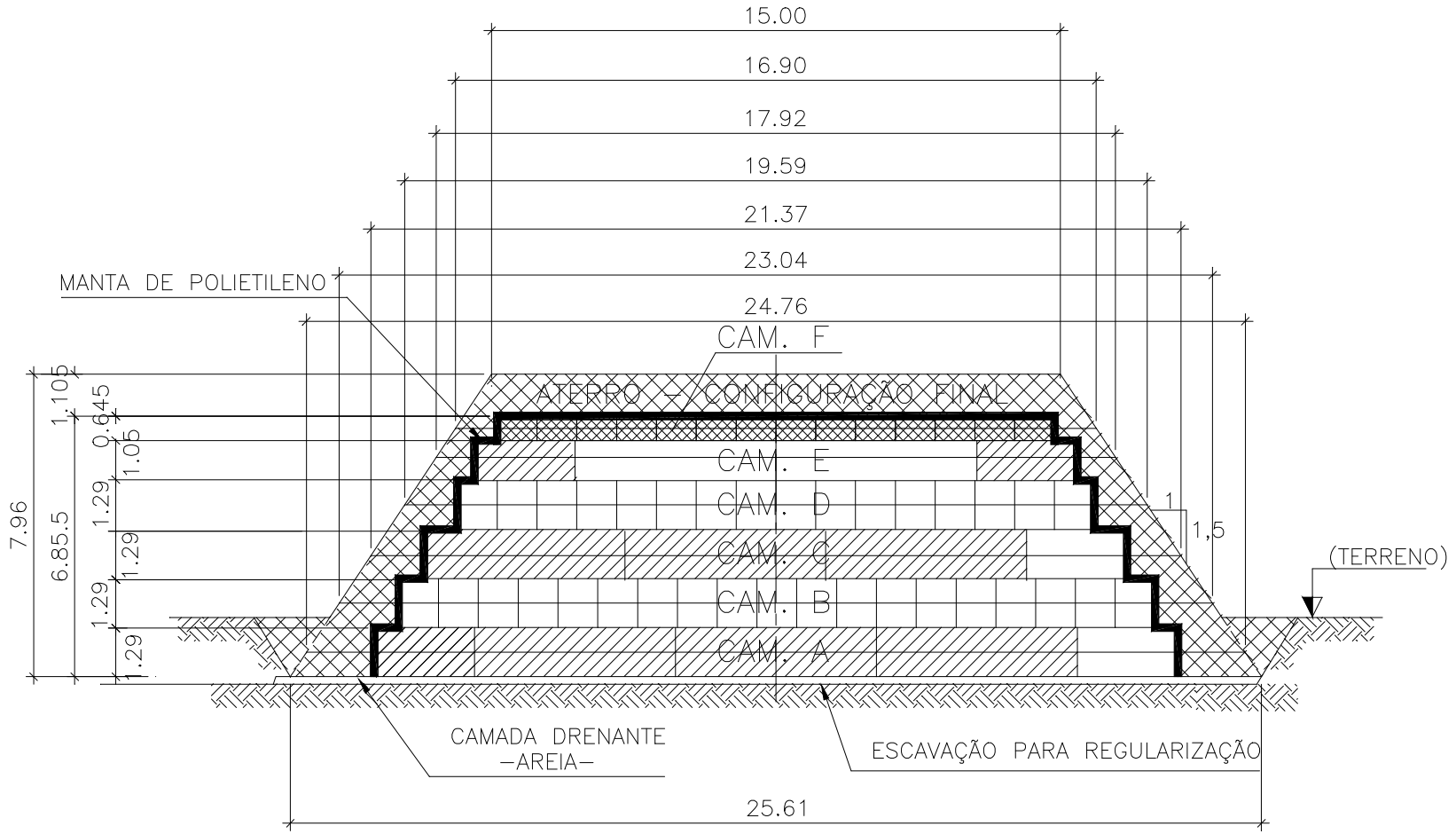
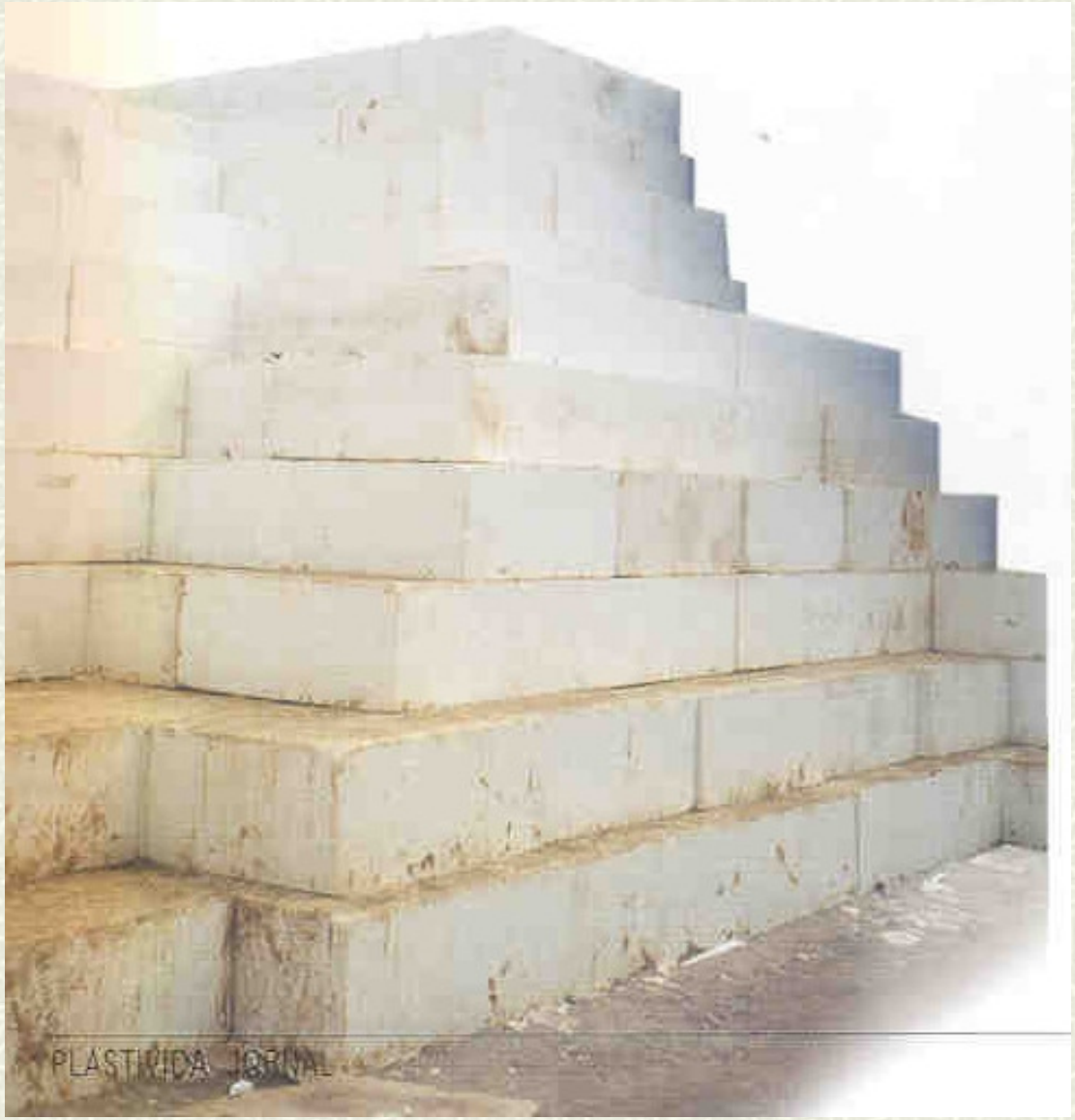


Foto do aterro de stiropor



Detalhe do grampo que prende os blocos de stiropor

Manta de poliestireno sobre os blocos de stiropor

Transporte dos blocos

Pesquisas e aplicações em obras com existência de argila mole no subsolo

Edificações construídas em cidades litorâneas ou não, cujo subsolo apresenta argila mole

Obras subterrâneas

- Abertura de valas em solos moles
- Métodos construtivos de túneis em solo mole

Métodos construtivos de túneis em solo mole

Construção de aterros sobre solos moles

Obras em solos moles com soluções diferenciadas

Obras em solos moles com soluções diferenciadas: *Utilização de jet grouting*

Passagem subterrânea da Praça XV

Recuperação da Av. Jaguaré

Obras portuárias: Aumento de calado

Pesquisa sobre Jet grouting:

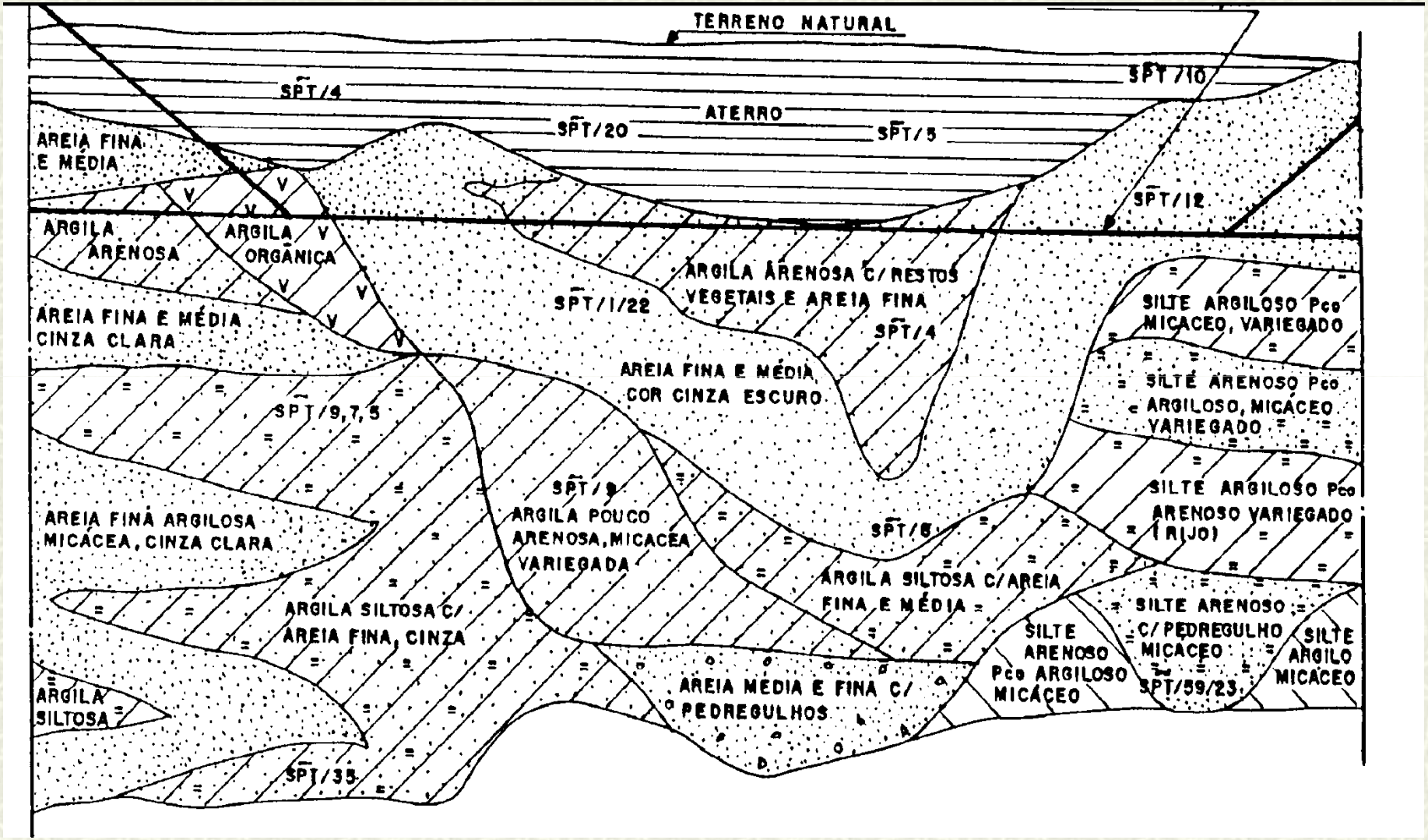
Técnicas

Parâmetros do jet grouting

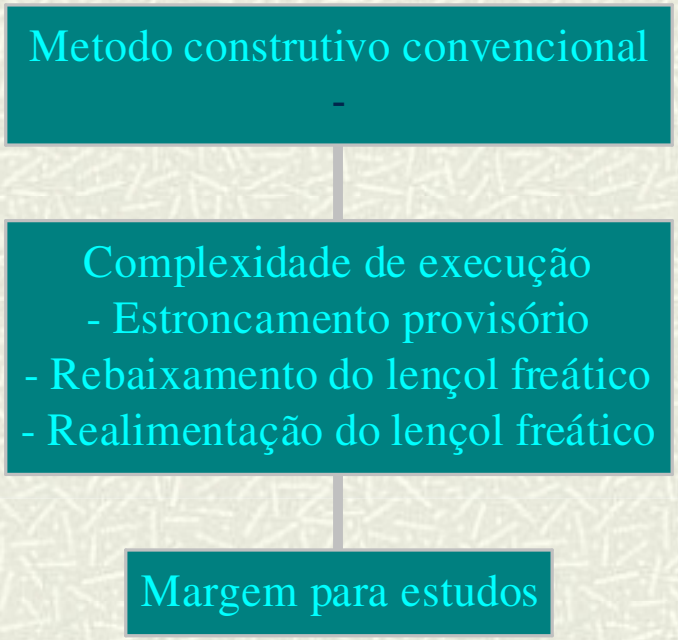
Melhoria nos diferentes tipos de solos

Reurbanização da praça XV: passagem subterrânea

Praça XV Perfil geotécnico

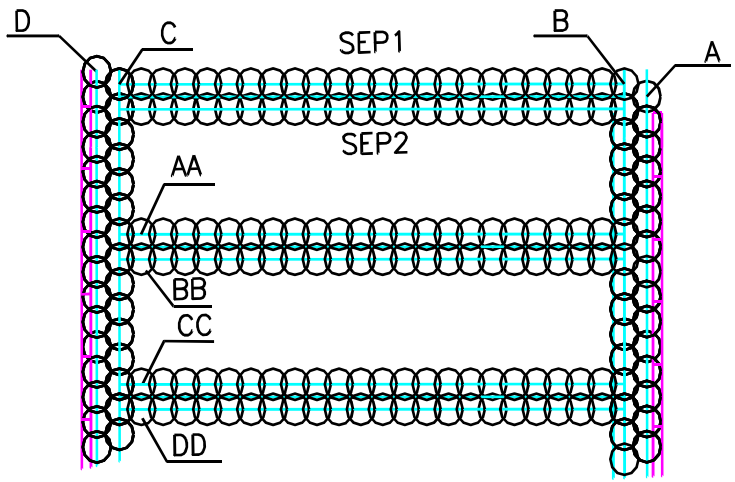


Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

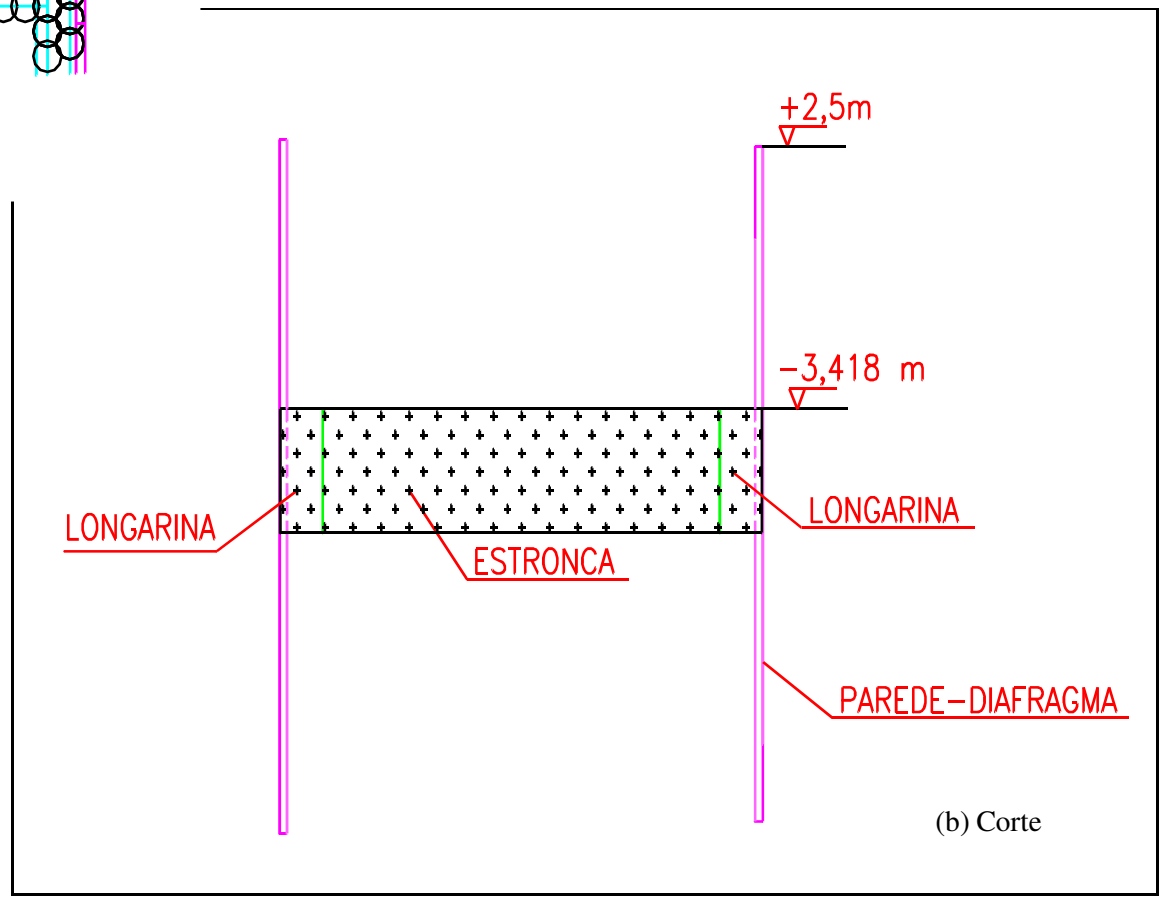


Sistema misto de contenção (PD e JG)

- **Dispensa de escoramento provisório**
- **Redução espessura parede diafragma (60 cm para 40 cm)**
- **Redução comprimento de ficha (15 m para 6 m)**



(a) Planta



(b) Corte

Obras em solos moles com soluções diferenciadas: *Utilização de jet grouting*

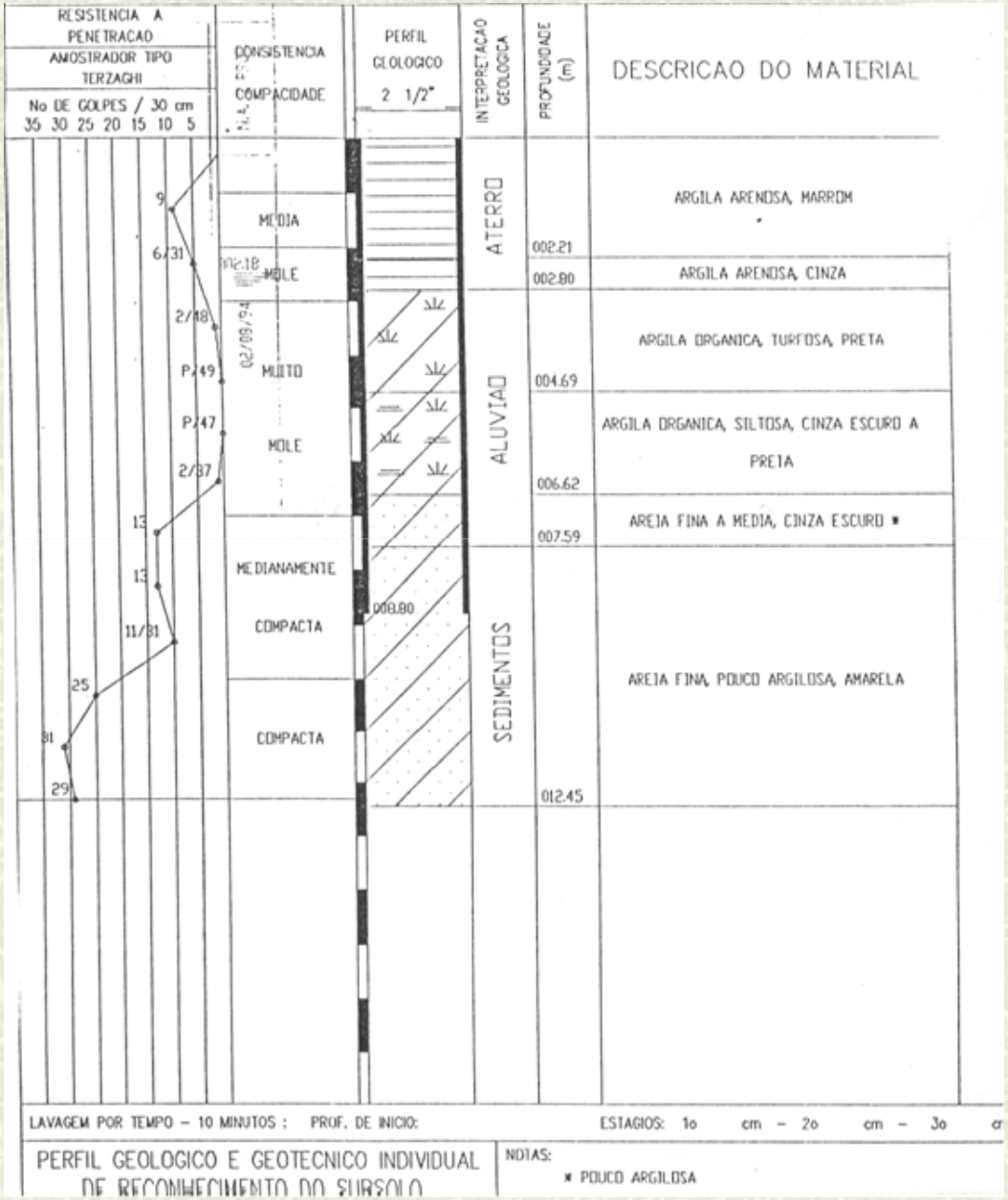
Passagem subterrânea da Praça XV

Recuperação da Av. Jaguaré

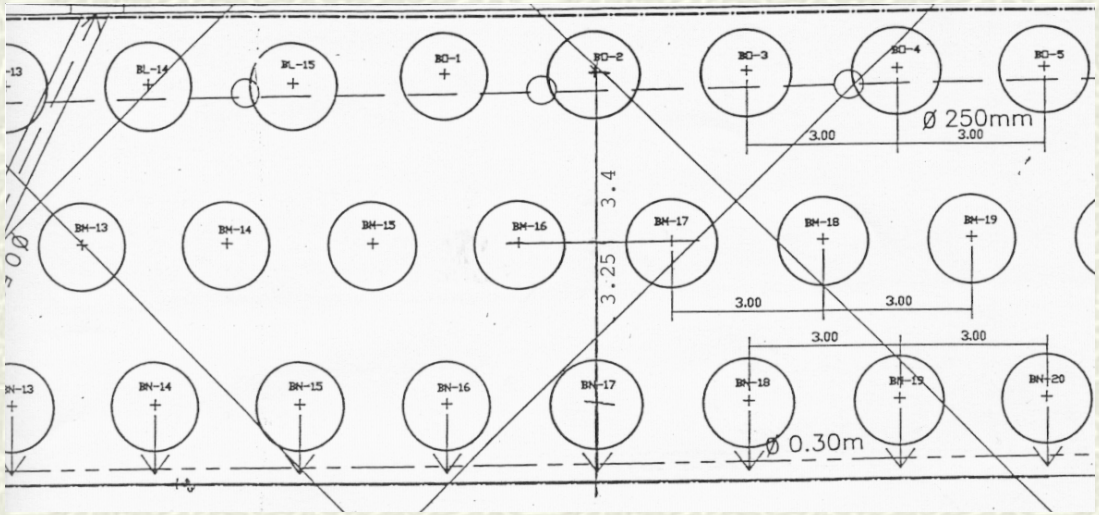
Obras portuárias: Aumento de calado

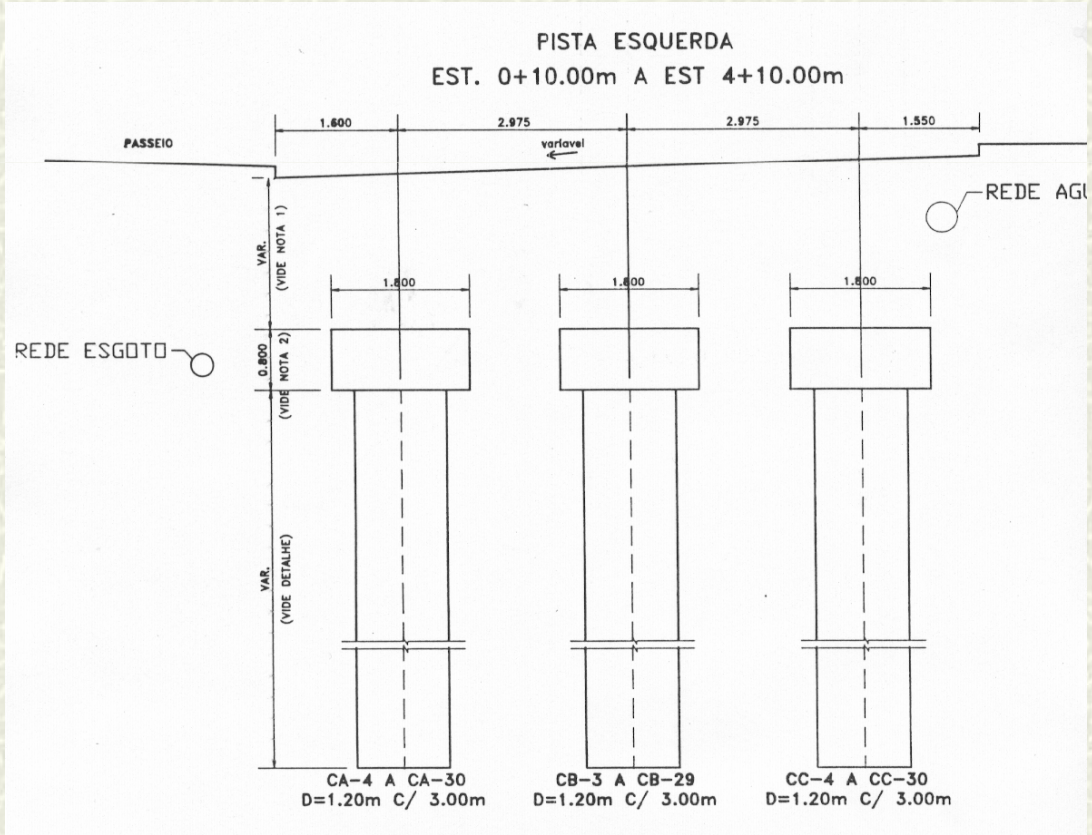
Av. Jaguaré: repavimentação

Perfil Geotécnico



Tratamento


Ø 250mm
3.00
3.00
3.4
3.25
3.00
3.00
3.00
3.00
Ø 0.30m


PISTA ESQUERDA
EST. 0+10.00m A EST 4+10.00m
PASSEIO
1.600
2.975
variavel
2.975
1.550
REDE AGU
REDE ESGOTO
VAR.
(VIDE NOTA 1)
0.800
(VIDE NOTA 2)
VAR.
(VIDE DETALHE)
1.600
1.600
1.600
CA-4 A CA-30
D=1.20m C/ 3.00m
CB-3 A CB-29
D=1.20m C/ 3.00m
CC-4 A CC-30
D=1.20m C/ 3.00m

Obras em solos moles com soluções diferenciadas: *Utilização de jet grouting*

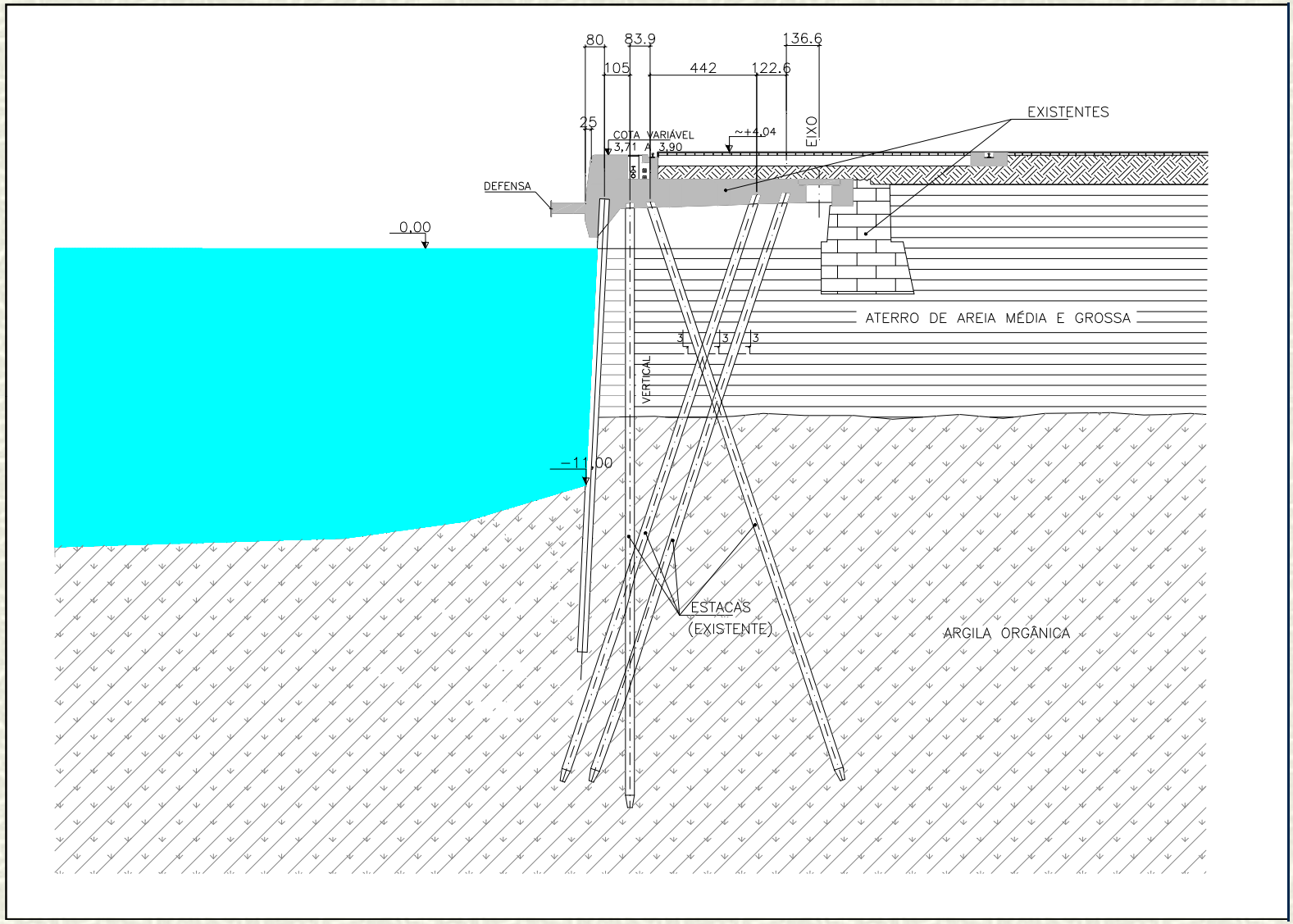
Passagem subterrânea da Praça XV

Recuperação da Av. Jaguaré

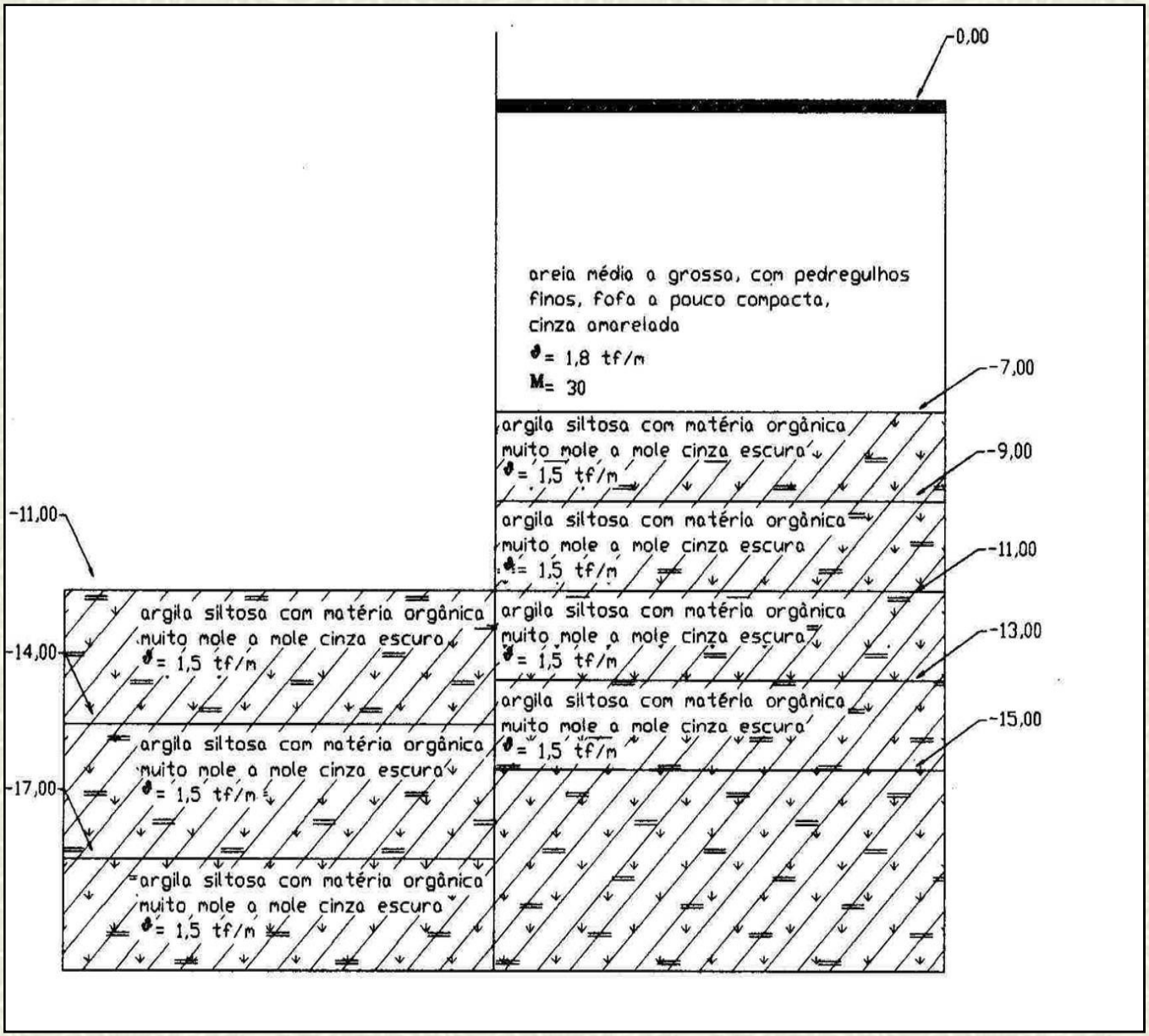
Obras portuárias: Aumento de calado

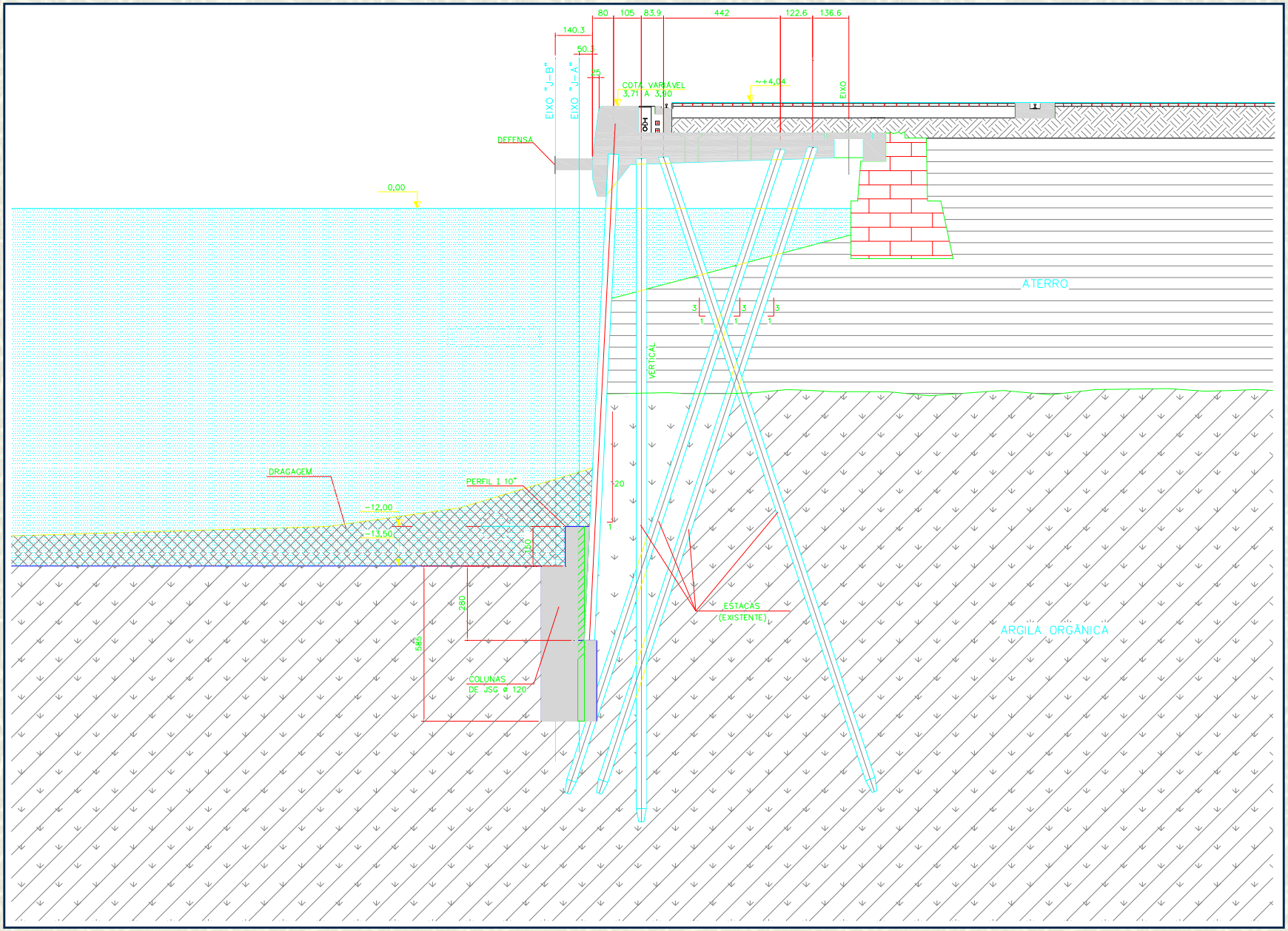
Obras portuárias: Aumento do calado.

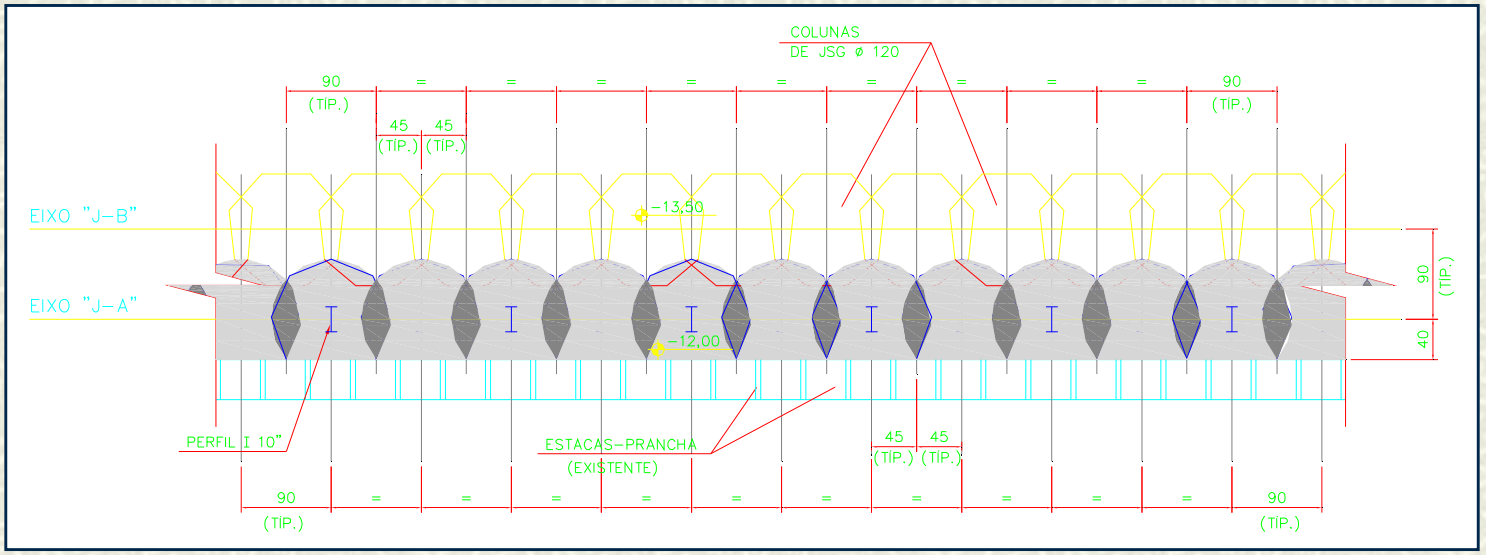
Situação inicial

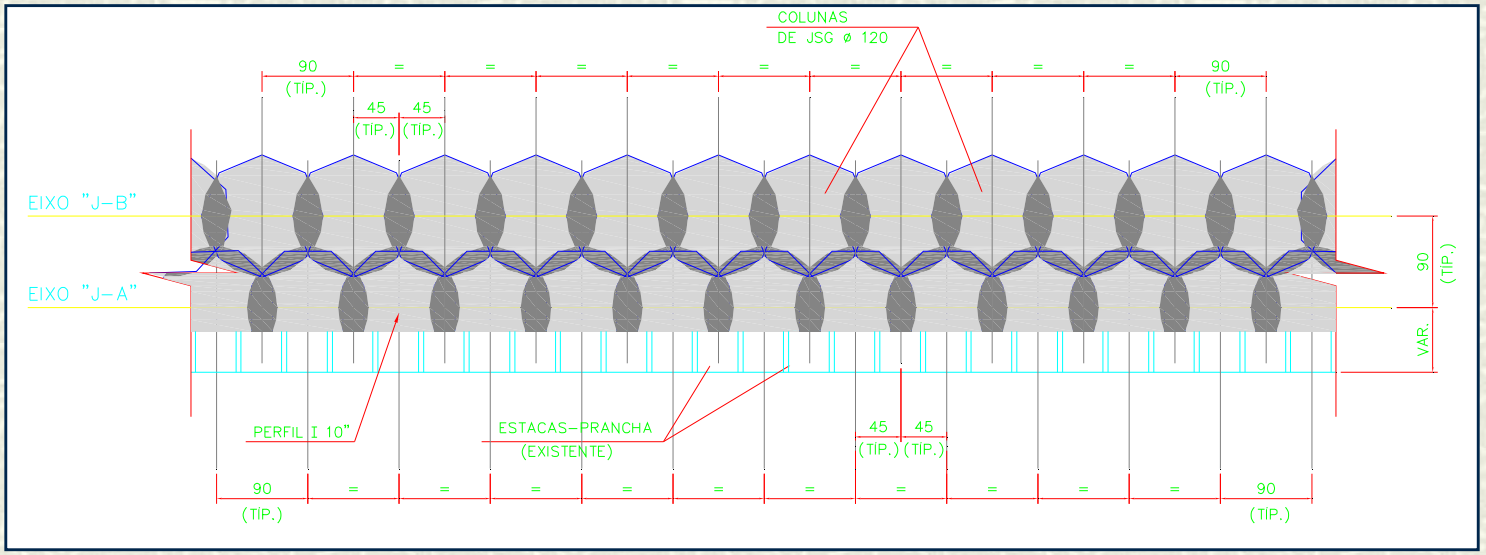


Perfil geotécnico




80
105
83.9
442
122.6
136.6
140.3
50.3
25
EIXO "J-B"
EIXO "J-A"
COTA VARIÁVEL
3,71 A 3,90
~+4,04
EIXO
DEFENSA
0,00
ATERRO
3
1
VERTICAL
DRAGAGEM
PERFIL I 10"
-12,00
-13,50
20
450
280
585
ESTACAS
(EXISTENTE)
COLUNAS
DE JSG ø 120
ARGILA ORGÂNICA


COLUNAS
DE JSG ø 120
90
(TIP.)
45
(TIP.)
45
(TIP.)
90
(TIP.)
EIXO "J-B"
-13,50
EIXO "J-A"
-12,00
90
(TIP.)
40
PERFIL I 10"
ESTACAS-PRANCHA
(EXISTENTE)
45
(TIP.)
45
(TIP.)
90
(TIP.)
90
(TIP.)


COLUNAS
DE JSG ø 120
90
(TIP.)
45
(TIP.)
45
(TIP.)
90
(TIP.)
EIXO "J-B"
EIXO "J-A"
90
(TIP.)
VAR.
PERFIL I 10"
ESTACAS-PRANCHA
(EXISTENTE)
45
(TIP.)
45
(TIP.)
90
(TIP.)
90
(TIP.)

Obrigada!