

**PEF 2502**  
**Obras subterrâneas**  
**Projeto e Método**  
**Construtivo**

**Valas escoradas**

Prof. Carlos Eduardo M. Maffei  
Profa. Heloísa Helena S. Gonçalves

## MULTIDISCIPLINARIDADE SEQUÊNCIA EXECUTIVA MÉTODO CONSTRUTIVOS

“O conhecimento geotécnico e o controle de execução são mais importantes para satisfazer os requisitos fundamentais de segurança de uma fundação do que a precisão dos modelos de cálculos e os coeficientes de segurança adotados.”

EUROCODE 7

“Se pudesse venderia o programa apenas para quem fosse capaz de resolver um problema mais simples sem utilizar computadores.”

Leroy Emkim – GT Strudl

“Any design that relies for success on precise calculations will be a bad design.”

Golder

“Quelques ressemblances entre les calculs et la réalité seron mére coincidence”

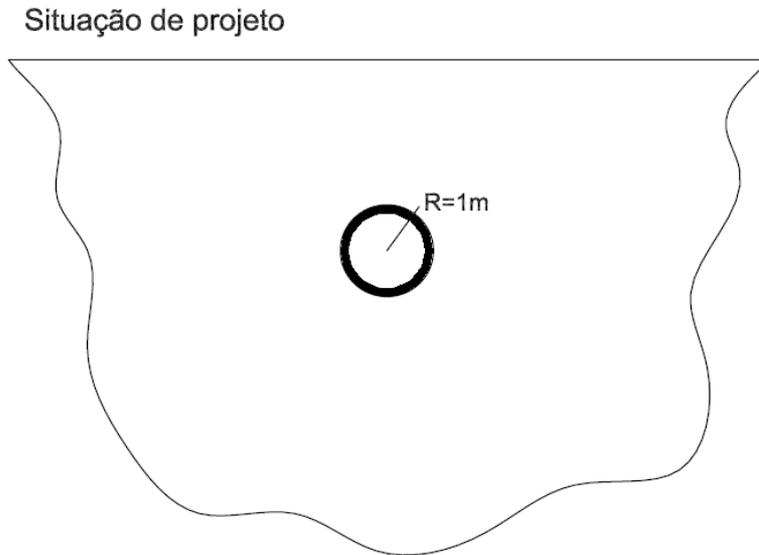
Kérisel

### INTERPRETATION

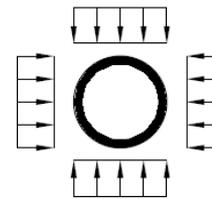
- “Never trust the results, they are wrong”!
- “A model is a simplification of the very complex reality”
- “Output depends on input”
- “What causes this effect?”

# Introdução

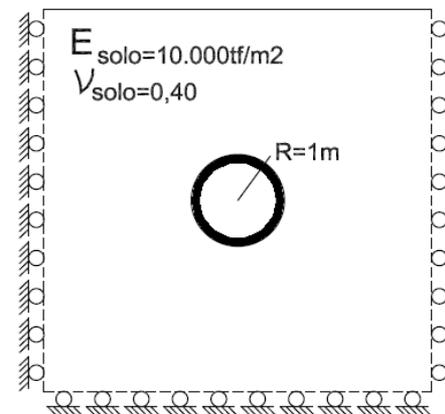
Nas obras subterrâneas há necessidade de considerar interação solo-estrutura. Exemplo de um túnel:



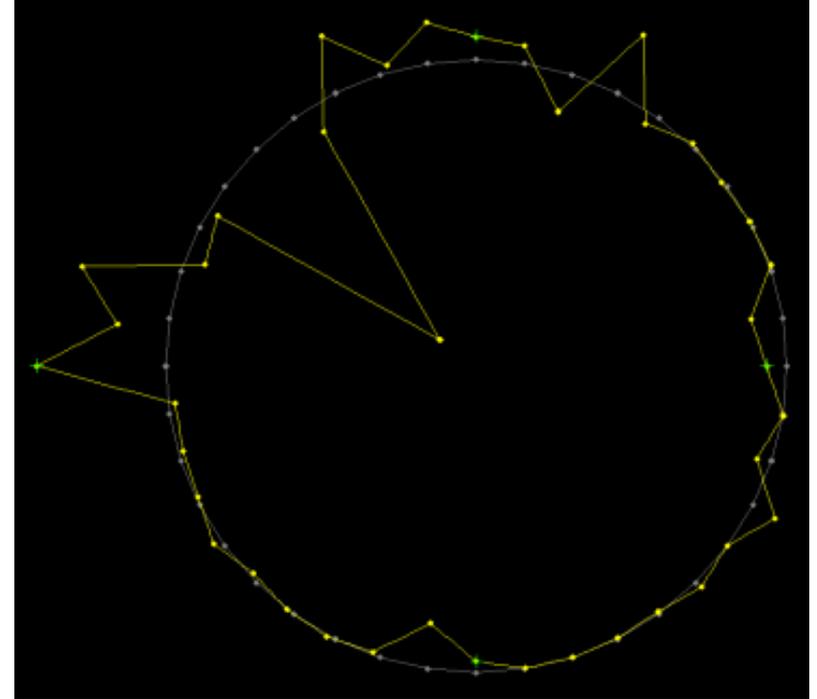
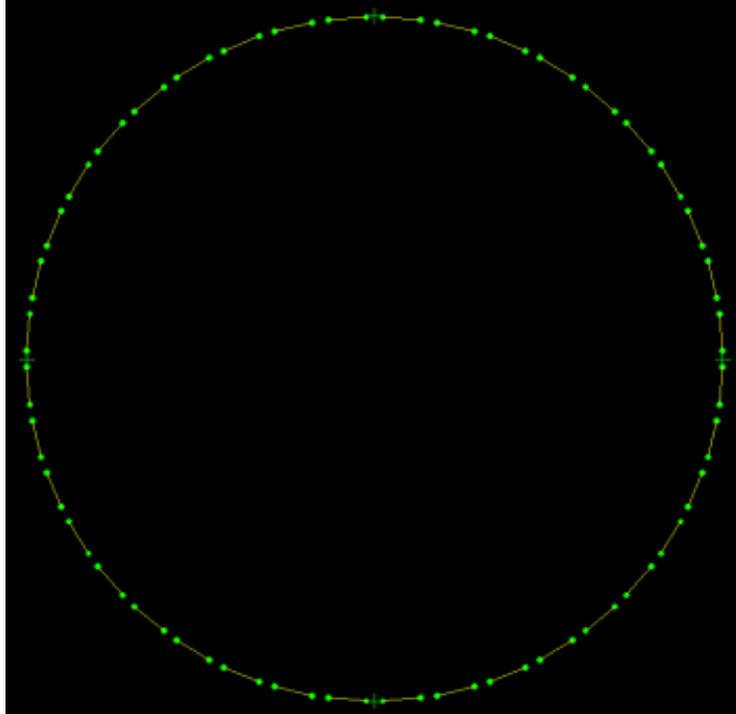
Modelo sem interação (elástico)



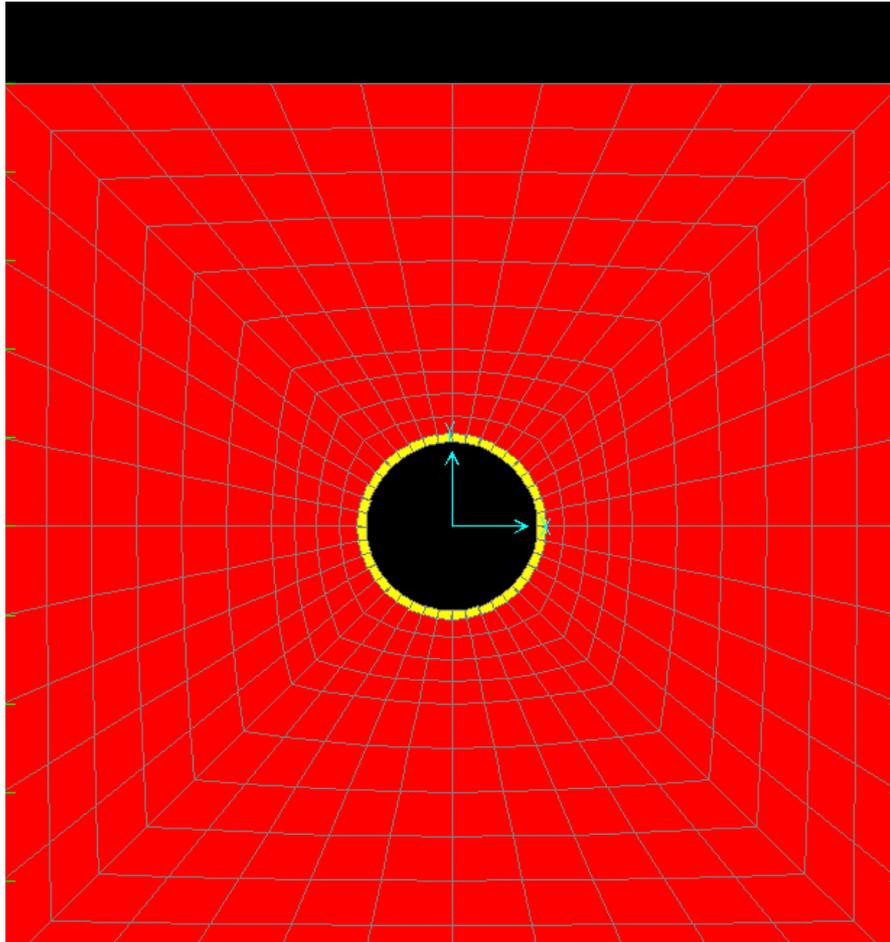
Modelo com interação (elástico)



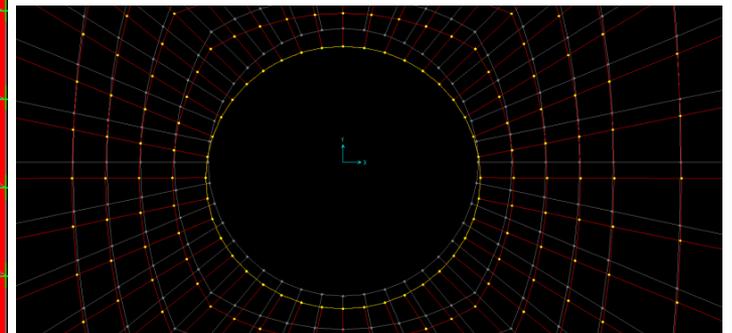
# Modelo sem interação solo-estrutura



# Modelo com interação solo-estrutura



Mesmo com as barras articuladas a estrutura não é hipostática



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Generalidades

### 1.2. Métodos de Cálculo

### 1.3. Instrumentação

### 1.4. A Segurança

### 1.1. Generalidades

Interação Solo-Estrutura - compatibilização dos deslocamento do solo com os da estrutura.

. Exemplos:

. muro de arrimo - forma do diagrama de pressões

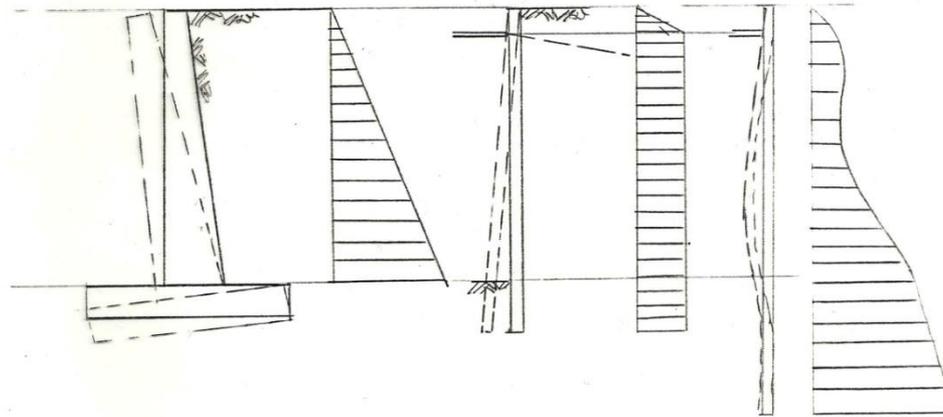


figura 1

\* "triangular" - significa  $K_{yz}$

. vala - apoio fictício

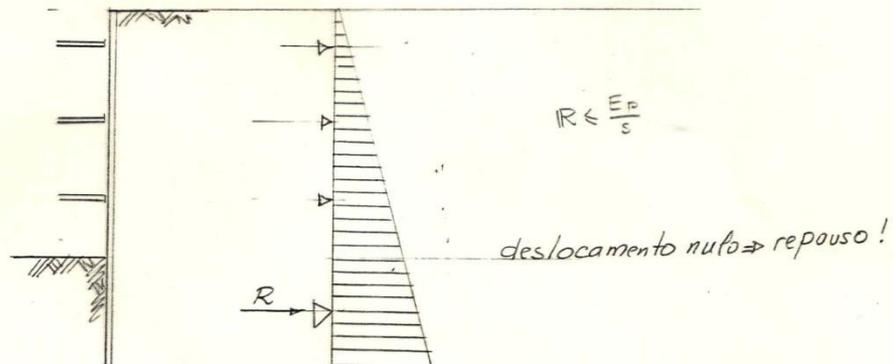


figura 2

. radier - distribuição da reação

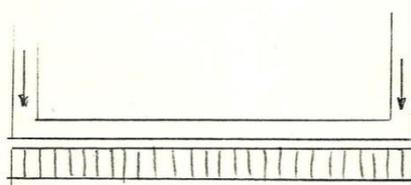


figura 3

# Tipos de obras

## Provisórias:

- Têm acompanhamento do construtor;
- A mobilização é imediata e os imprevistos são resolvidos rapidamente;
- Podem ser usados coeficientes de segurança menores que os das normas;

## Permanentes:

- Devem ter os coeficientes de segurança das normas, os quais traduzem o pequeno risco de ruína: da ordem de  $10^{-15}$

# Métodos construtivos

## Valas:

Método destrutivo, denominado método da trincheira, ou vala a céu aberto (VCA) ou ainda "cut and cover".

## Túneis:

Método não destrutivo: o túnel é aberto sem que se destrua a superfície, através de método subterrâneo.

# Valas escoradas

Não revestidas e não escoradas (unlined):

Pequenas profundidades (< 1,25m a 1,75m);

Em talude;

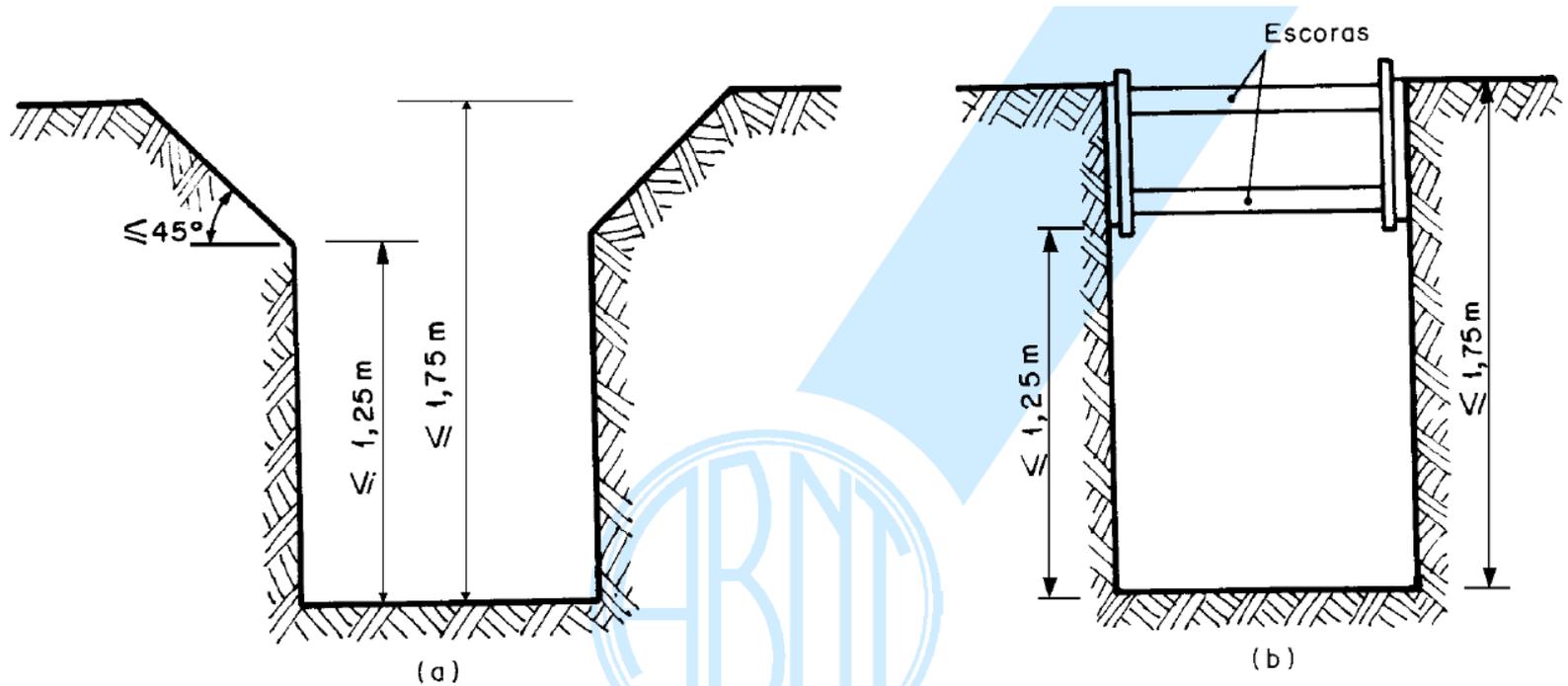
Revestidas e escoradas (lined and braced):

Com estroncas;

Com ancoragens (atirantadas);

# Vala não revestida padronizada

Conforme Item 12 da NBR 9061



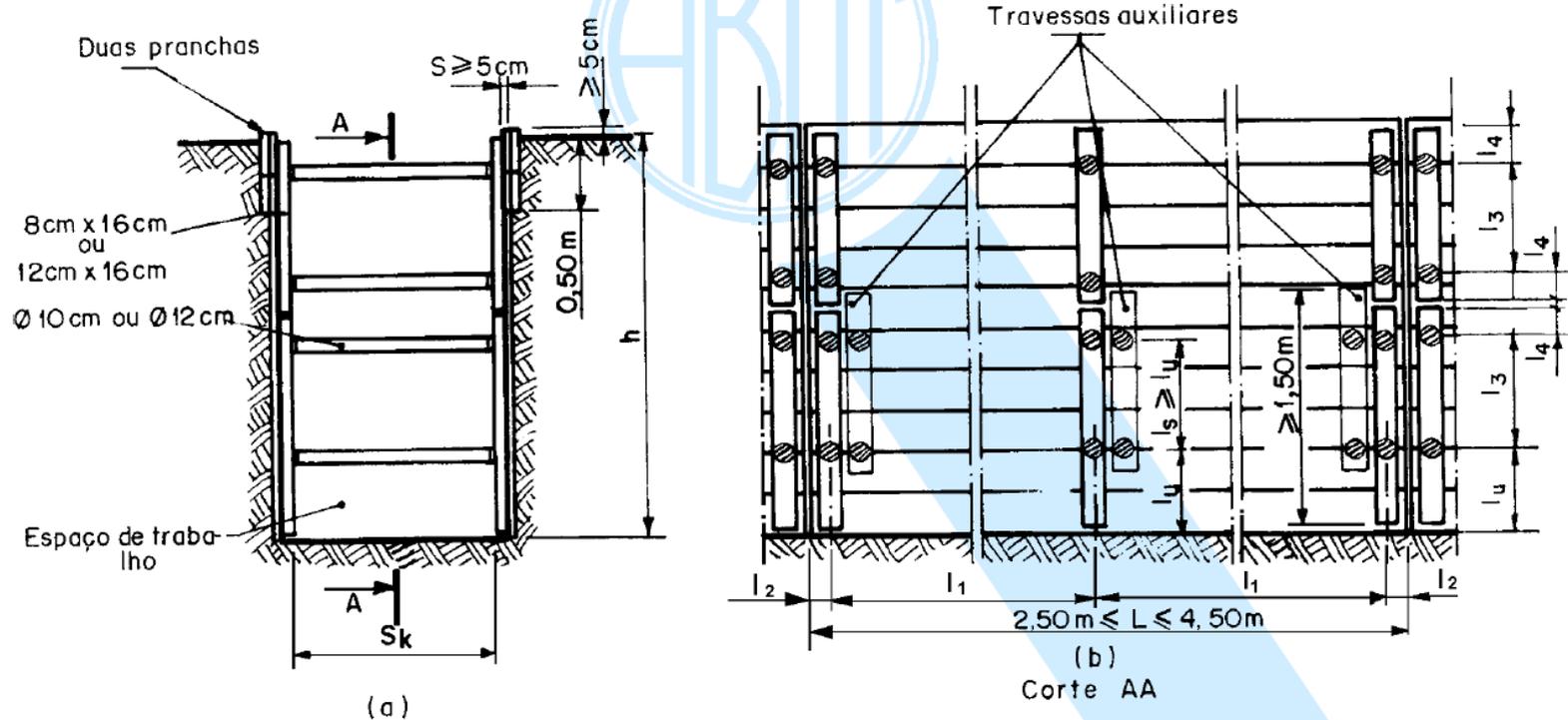
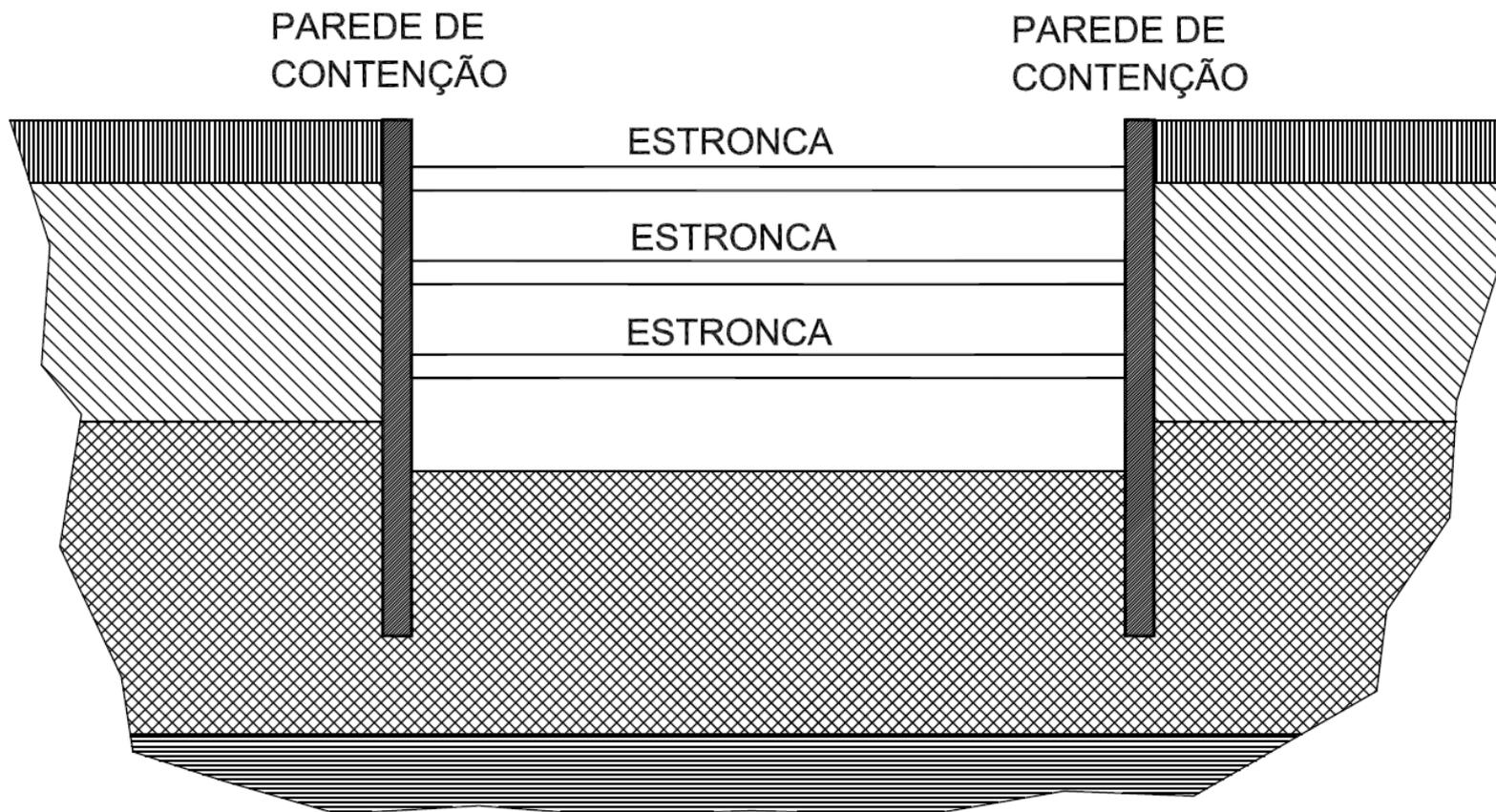


Tabela 3 - Escoramento com pranchas horizontais  
Travas de 8,0 cm x 16,0 cm - Estronca  $\phi$  10,0 cm

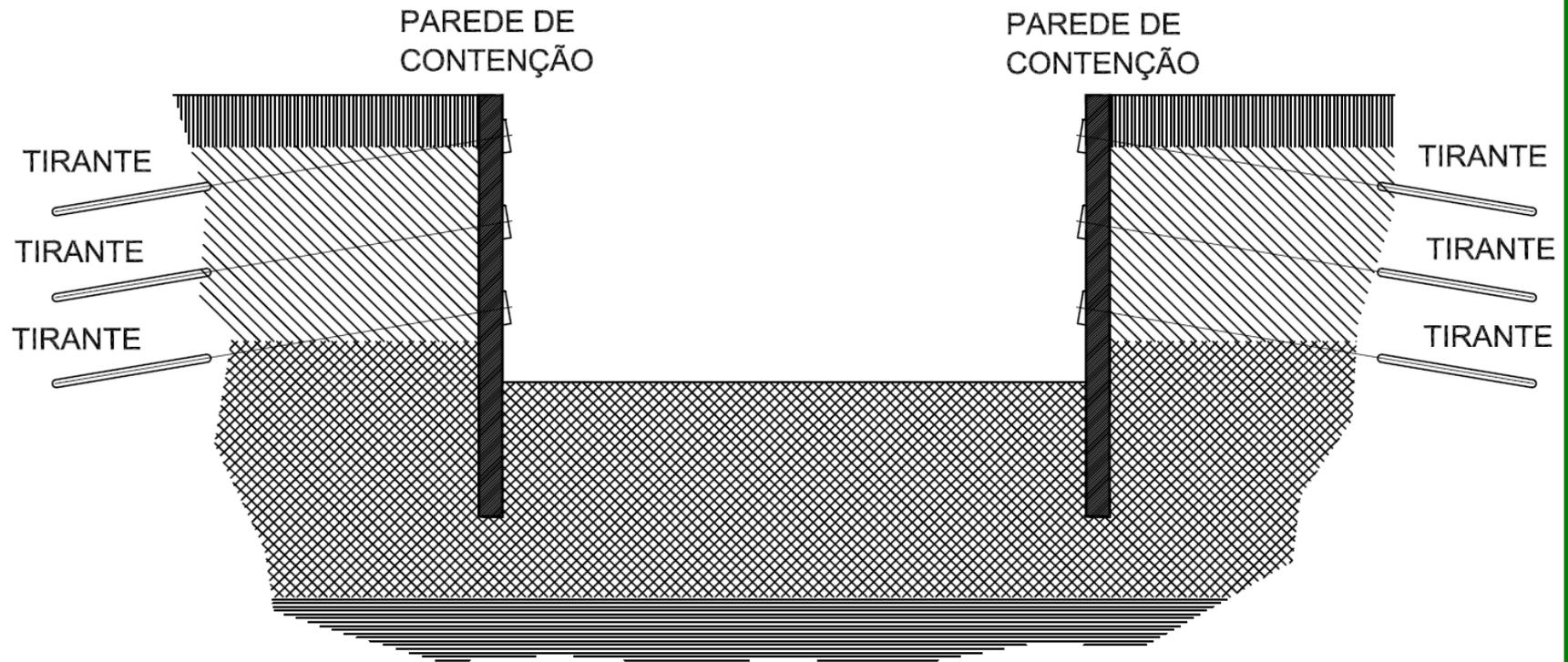
Linha	Grandezas dimensionadas	Espessura S das pranchas				
		5 cm	6,3 cm		7,6 cm	
1	Altura máxima h	3,00 m	3,00 m	4,00 m	5,00 m	5,00 m
2	Vão máximo $l_1$	1,90 m	2,10 m	2,00 m	1,90 m	2,10 m
3	Comprimento máximo do balanço $l_2$	0,50 m	0,50 m	0,50 m	0,50 m	0,50 m
4	Vão máximo das escoras $l_3$	0,70 m	0,70 m	0,65 m	0,60 m	0,60 m
5	Balanço $l_4$ das travessas	0,30 m	0,30 m	0,30 m	0,30 m	0,30 m
6	Balanço $l_u$ das travessas	0,60 m	0,60 m	0,55 m	0,50 m	0,50 m
7	Comprimento $S_k$ das estroncas	1,65 m	1,55 m	1,50 m	1,45 m	1,35 m
8	Carga máxima nas estroncas	31 kN	34 kN	37 kN	40 kN	43 kN

Vala revestida  
escorada  
padronizada -  
conforme  
Item 12 da  
NBR 9061:  
pranchas  
horizontais

# Vala escorada



# Vala com paredes atirantadas



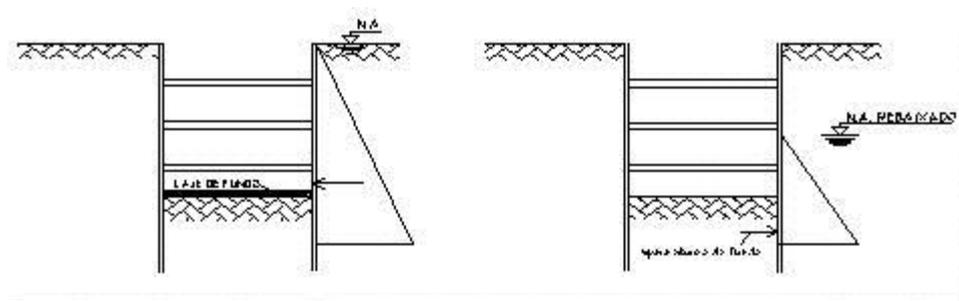
# Elementos das valas escoradas

## Paredes de contenção:

As paredes de contenção podem ser contínuas, como por exemplo uma parede diafragma, ou descontínuas como por exemplo quando se utilizam estacas metálicas com pranchões de madeira (escoramento perfil-pranchão).

Para a execução de um escoramento descontínuo, muitas vezes é necessário proceder-se o rebaixamento do lençol freático. Se o nível d'água estiver acima do fundo da escavação e o solo não possuir coesão suficiente, será carregado para dentro da vala pelo fluxo de água, após a escavação e antes da colocação dos pranchões,

Apesar de não ser necessária a utilização de rebaixamento do lençol freático para a execução de paredes contínuas, pode-se optar por este procedimento para diminuir os esforços na parede durante a fase provisória, sempre que os esforços na fase provisória forem maiores que os da fase permanente. Desta forma economiza-se na armação da parede. Um exemplo onde isto pode ocorrer é quando se está na fase provisória, depois de executada toda a escavação e antes da construção da laje de fundo, pois neste caso a reação de apoio está a uma distância maior do fundo da escavação e portanto os momentos na parede diafragma são maiores do que quando a laje de fundo já foi executada e a parede apóia no fundo da escavação.



laje de fundo feita

laje de fundo por fazer

As **paredes contínuas** podem ser de madeira, metálica, concreto ou solo-cimento.

As paredes de madeira só são utilizadas para pequenas valas (até cerca de 3,5m de profundidade) em solo competente.

Pranchão

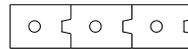


As paredes metálicas são formadas de estacas prancha.



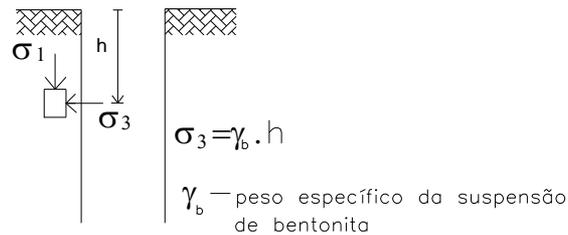
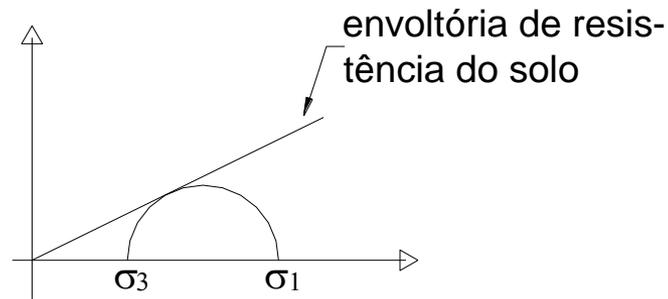
estaca prancha  
metálica

Também existem estacas prancha de concreto, pré moldadas.

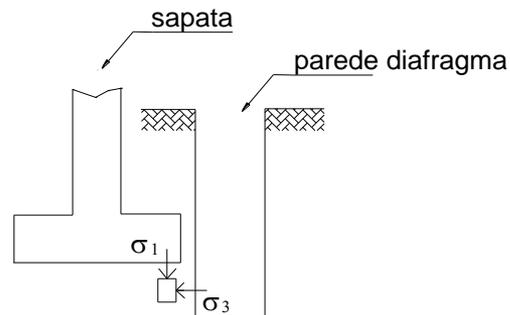


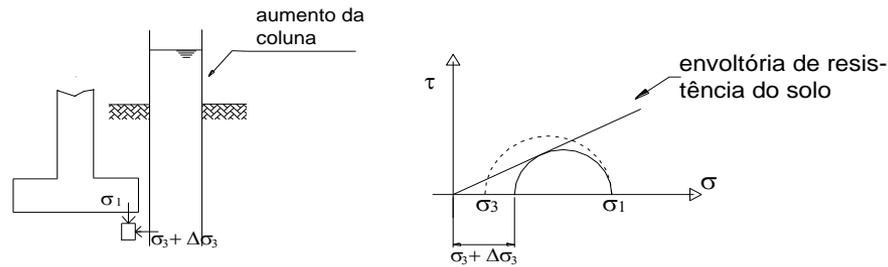
estaca prancha  
de concreto

Outro tipo de parede contínua de concreto é a diafragma, que é moldada in- loco. Para a abertura dos painéis da diafragma utiliza-se lama bentonítica para conter o solo lateralmente. A bentonita em repouso forma uma película impermeável (gel), que torna possível a ação de uma tensão horizontal " $\sigma_3$ ", correspondente ao peso da coluna de lama (esquema abaixo). Sendo  $s_1$  a tensão vertical efetiva do terreno, deve-se ter: (ver figura da página seguinte também).

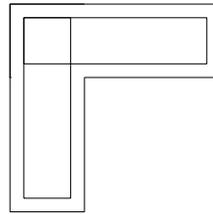


A bentonita pode ser substituída por “colis” que é uma mistura de bentonita com cimento. Esta mistura é mais estável, porém, é menos utilizada por ser mais cara. Quando se usa “colis” deve-se tomar cuidado com o tempo de execução para evitar a sua pega antes da concretagem da parede diafragma. Caso exista uma fundação muito próxima à escavação, que provoque um esforço adicional na parede, deve-se aumentar a reação “ $\sigma_3$ ”, e, para isto, por exemplo, aumenta-se a coluna de lama, conforme esquema abaixo.





Quando a parede diafragma tem que vencer grandes vãos, surge a dificuldade de se conseguir a continuidade da armação, nas duas direções, amarrando as gaiolas ou soldando. Faz-se hoje "armação cruzada". Nos cantos os painéis devem ser contínuos.



As paredes contínuas também podem ser constituídas de estações de concreto secantes. Neste caso, deve-se executá-los intercalados e enquanto estiverem com o concreto fresco, quebrá-los de tal forma que o estação central, ao ser executado, não deixe vazios entre eles. Deve-se tomar cuidado com a armação.

As paredes de solo cimento são de "jet-grouting" ou de rotocrete. Como o solo cimento não pode ser armado e a tensão admissível à compressão é pequena, estas paredes não trabalham à flexão.

O jet-grouting pode ser usado tanto para parede de contenção como para estroncamento. O jet-grouting é um solo cimento misturado no campo, sob pressão. Com equipamento apropriado insere-se no terreno, injetando-se água, uma haste que pode ter um, dois ou três furos. Quando a haste sobe o cimento vai sendo injetado.

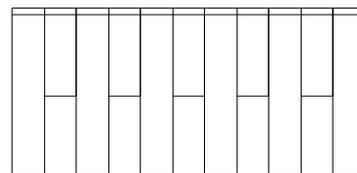
Quando há uma haste injetando nata de cimento, o processo é chamado CCP (Chemical Churning Pile); consegue-se formar colunas de solo-cimento com até 80cm de diâmetro. Quando existem duas hastes concêntricas o processo é chamado JSG (Jumbo Special Grouting); a segunda haste aplica ar comprimido e as colunas podem atingir 1.80m de diâmetro.

Quando existem três hastes o processo é chamado CJ (Column Jet), a terceira haste é utilizada para injetar água na subida, e as colunas podem chegar a 3.10m de diâmetro.

O solo cimento é um concreto “muito piorado”, com  $1/10$  da resistência do concreto simples. Para uma coluna com 1,20m de diâmetro, tem-se um consumo de cimento de aproximadamente 11 sacos/m de coluna.

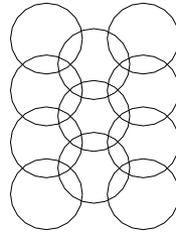
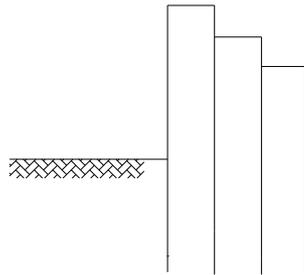
Exemplos de aplicação de paredes-diafragma:

Parede formada por paredes-diafragma de diferentes comprimentos

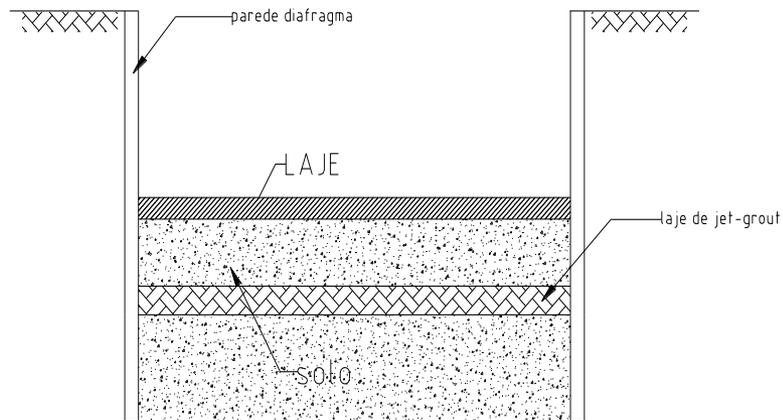


corte

*Exemplo: Parede de contenção formada por colunas com comprimento diferentes, trabalhando como muro de arrimo de gravidade*



Uma obra que já foi executada, na qual se utilizaram colunas de jet grouting como laje de fundo do escoramento foi a do prédio da Bolsa de Valores do Rio de Janeiro.

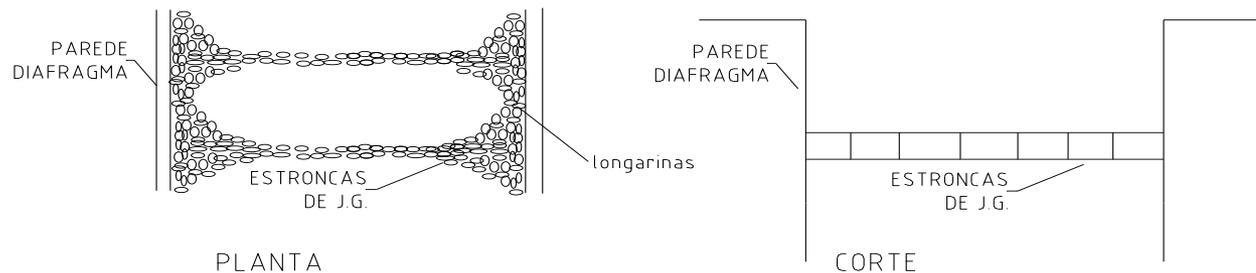


CORTE

*Exemplo: Bolsa de Valores Rio de Janeiro*

No exemplo acima, a laje de “jet-grouting” foi feita para diminuir o vão e impermeabilizar o fundo de escavação, evitando com isto o rebaixamento do lençol freático. Depois foi feita a laje de concreto, dimensionada para resistir a subpressão.

No escoramento para a construção da passagem subterrânea da Praça XV , no Rio de Janeiro, foram utilizadas colunas de “jet-grouting”, como vigas longitudinais (longarinas) e como estroncas.

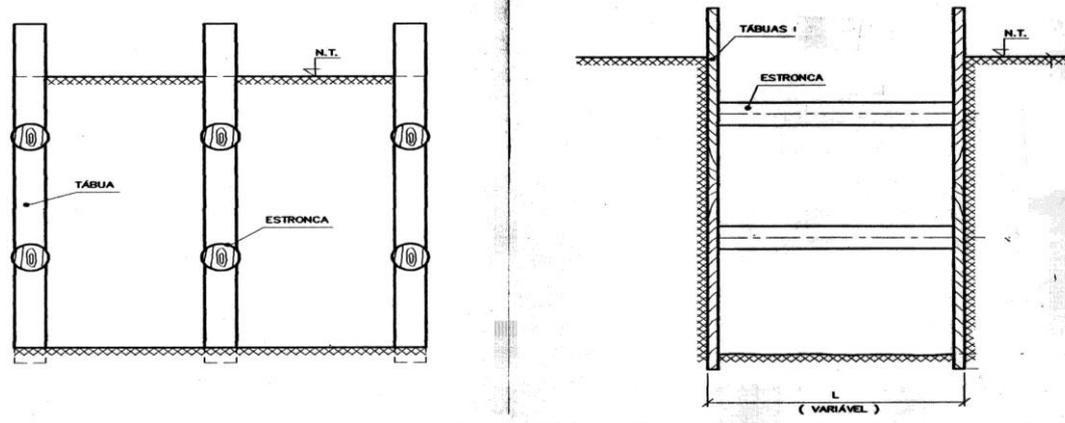


*Exemplo: Praça XV ( Rio de Janeiro - passagem subterrânea )*

O rotocrete é executado como a estaca de hélice contínua, só que o cimento é misturado ao solo, portanto, o solo não é retirado.

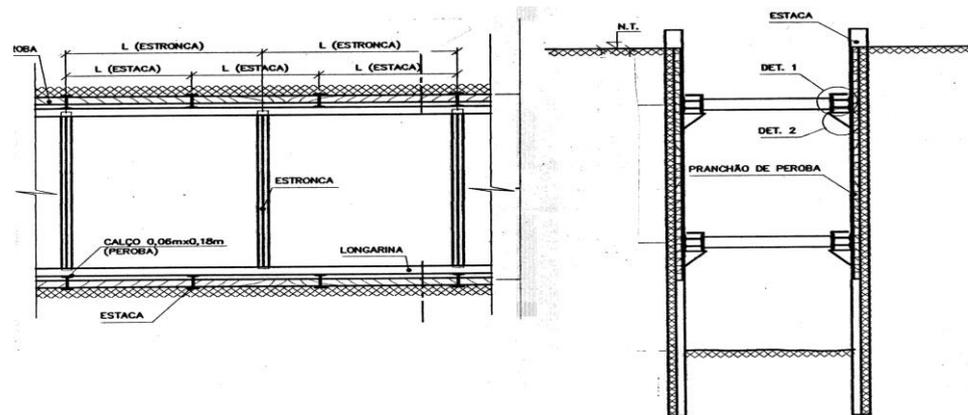
As **paredes descontínuas** podem ser de madeira, metálico-madeira e de concreto.

As paredes descontínuas de madeira são constituídas de pontaletes que só podem ser utilizados para valas de pequena altura e em solo firme.



As paredes constituídas de perfis metálicos (estacas) e pranchões de madeira são utilizadas para grandes alturas de valas e tem como vantagem o reaproveitamento do material.

### Perfis metálicos com pranchões de madeira



As paredes de concreto descontínuas são constituídas por estacas de concreto com ou sem concreto projetado, em arco, entre elas. O tipo de estaca mais utilizado é o estacão porque pode ser executado até grandes profundidades, para qualquer tipo de solo. Também têm sido utilizadas estacas tipo hélice contínua, porém estas estacas tem a desvantagem de limite de comprimento e de armação. **É importante**

**lembrar que a parede de contenção deve resistir a esforços horizontais e deve ser armada para resistir a momentos fletores.**

## **Escoramento**

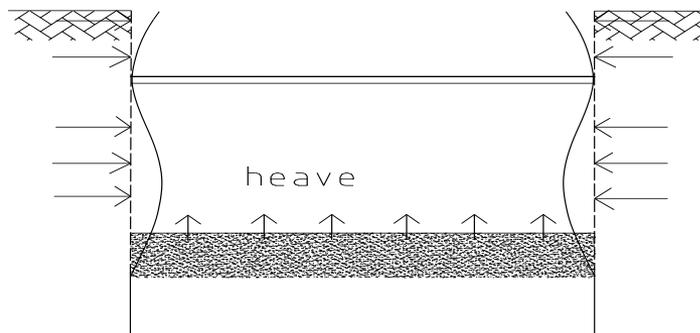
O escoramento pode ser feito através de estroncas, tirantes ou estroncas e tirantes.

As estroncas podem ser de diferentes materiais: madeira, aço ou concreto.

Nas valas muito estreitas, as estroncas dificultam o acesso às obras dentro da vala. Em alguns casos (por exemplo na Sabesp, para se colocarem os tubos), retira-se uma estronca e depois recoloca-se. O escoramento neste caso deve ser dimensionado prevendo esta situação.

Nas valas muito largas, a influência da temperatura passa a ser um fator importante no comportamento das estroncas, pois gera uma variação no seu comprimento. Neste caso, são utilizadas estroncas metálicas que podem ser pré-comprimidas, quando tiverem mais de 15m de comprimento, para diminuir os efeitos da temperatura e dos esforços de terra.

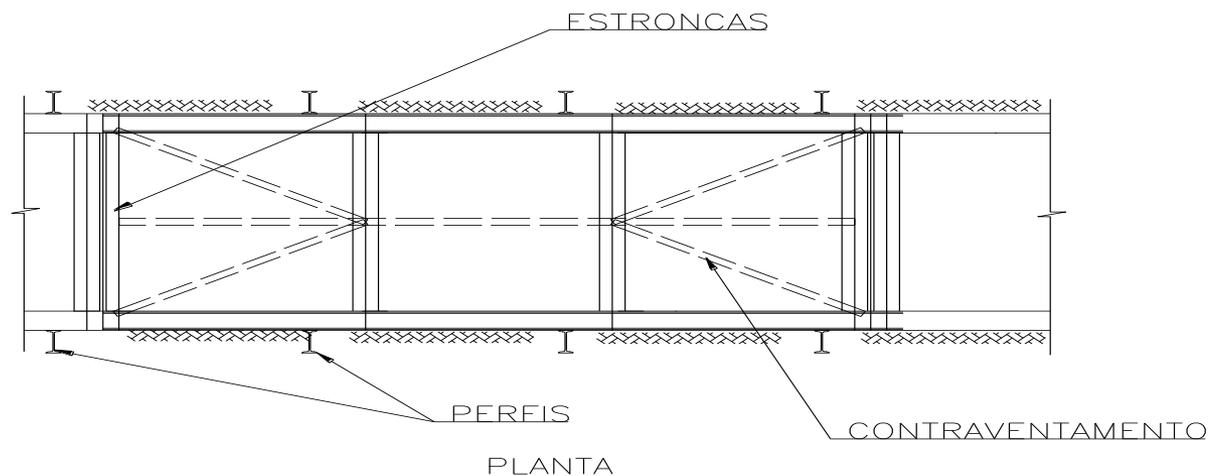
A pré compressão de vários níveis de estroncas deve ser feita simultaneamente, utilizando-se vários macacos. Quando o primeiro nível de estroncas é pré comprimido a priori, a parede pode se deslocar e na instalação do segundo nível, as estroncas do primeiro podem ser afrouxadas. Como a pré-compressão é complicada e realiza um pré-encurtamento muito pequeno, cerca de 1 cm, é preferível aumentar a área da seção transversal da estronca, reduzindo assim também o encurtamento devido à força normal.



Além da deformação da parede sob a ação dos empuxos laterais há também o levantamento do fundo da escavação (“heave”) devido à remoção do solo durante a escavação.

Nas valas muito largas as estroncas tendem a flambar lateralmente, o que pode ser evitado utilizando-se estroncas mais robustas, como por exemplo, perfis duplo I. Utiliza-se também contraventamento das estroncas.

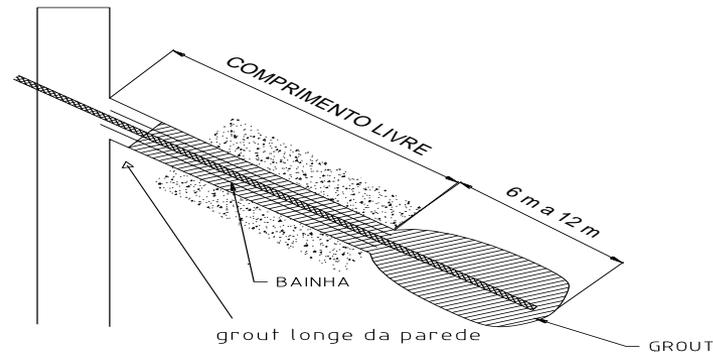
Quando são necessários maiores vãos entre as estacas, para a retirada de terra, faz-se um reforço da longarina.



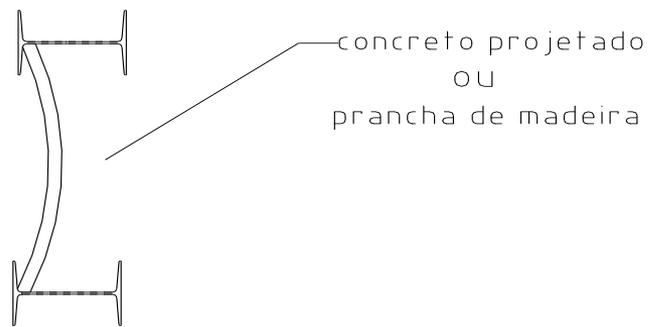
Como as estroscas de concreto não podem ser reaproveitadas, são utilizadas, geralmente, quando são incorporadas definitivamente à estrutura. Exemplo: Canalização do córrego Águas Espriadas.

Os tirantes podem ser ativos ou passivos. Os ativos são de cordoalhas ou de barras; os passivos são de barras, as estacas raiz e as micro estacas injetadas. Os fios dos tirantes devem ser protegidos para evitar a corrosão do aço.

Quando são utilizados tirantes ativos para o estroncamento, deve-se dimensioná-los para que fiquem com um comprimento livre suficiente, que permita a protensão, após a qual este comprimento livre pode ser preenchido com grout. O grout não deve encostar na parede, a fim de que na protensão o bulbo seja testado.

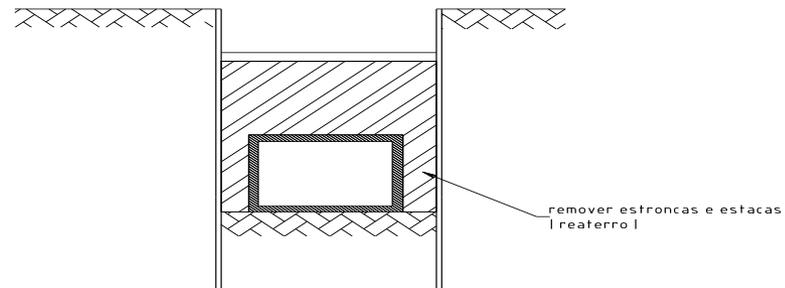


Quando a parede é descontínua, a contenção de solo entre as estacas pode ser feita utilizando-se pranchas de madeira ou concreto projetado em arco, conforme esquema a seguir.

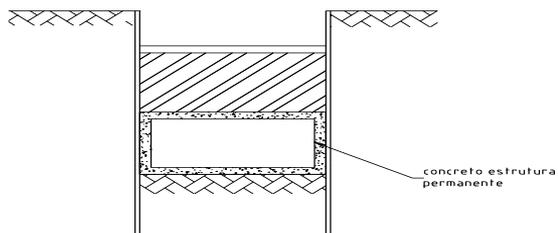


Observar que as pranchas devem ser cunhadas contra o solo, para que a superfície de contato fique comprimida.

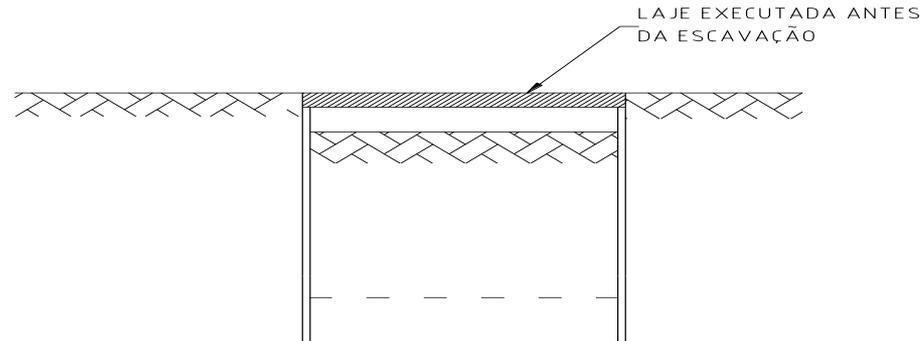
Existem dois sistemas de escoramento: o berlinense e o hamburguês. No primeiro tem-se câmara de trabalho na vala (ver esquema).



No segundo, concretiza-se a estrutura permanente contra a contenção.



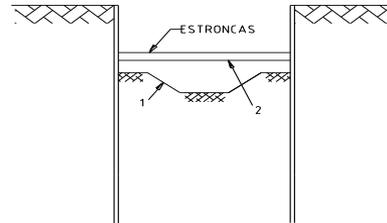
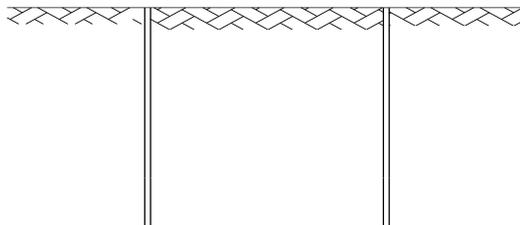
O método milanês é chamado método invertido, no qual, em primeiro lugar, se controla a laje sobre o terreno, utilizando-se o mesmo como fundo da forma. Em seguida, após as paredes-diafragma executadas, faz-se a escavação. Exemplo: Estação Marechal. A escavação sob laje custa 5 a 6 vezes mais que a escavação a céu aberto, devendo ser evitada, sempre que possível.



## Sistemas de contenção

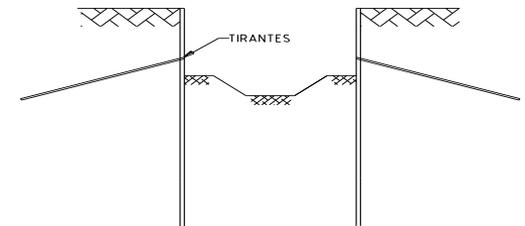
### Seqüência Construtiva

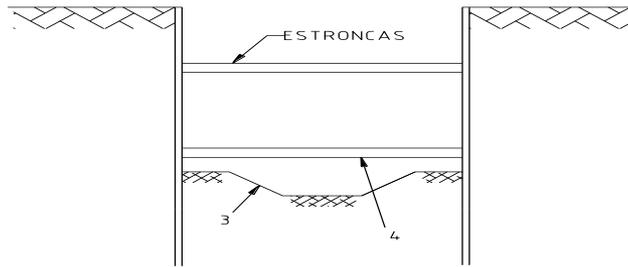
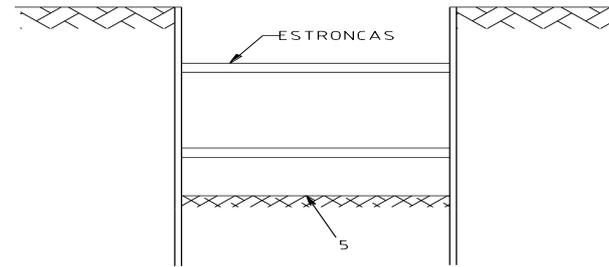
1<sup>a</sup>



2<sup>a</sup>

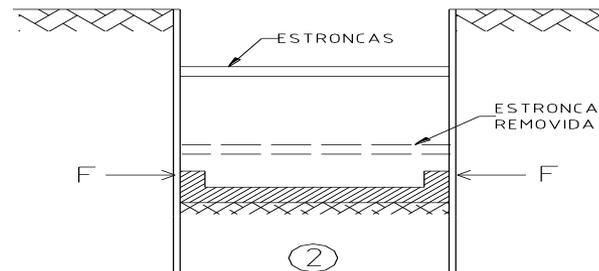
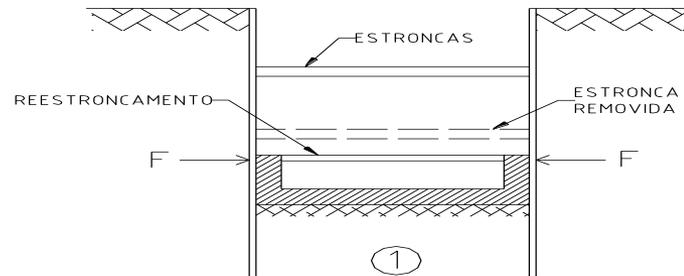
OU

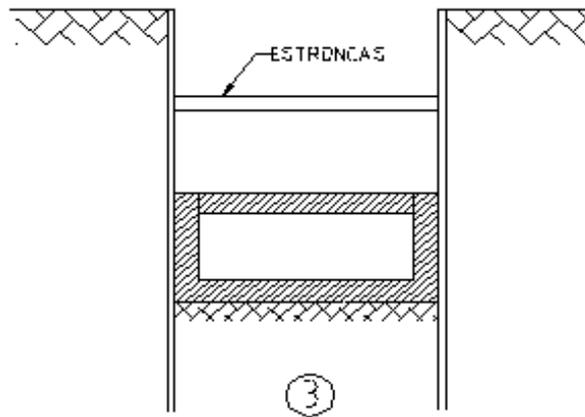


3<sup>a</sup>4<sup>a</sup>

Nunca se deixa, em obras permanentes o fundo sem proteção (colocar laje, lastro), pois o solo exposto pode deformar-se sob tensão (efeito de fluência) ou degradar-se.

reestroncamento ou remoção de  
estronca

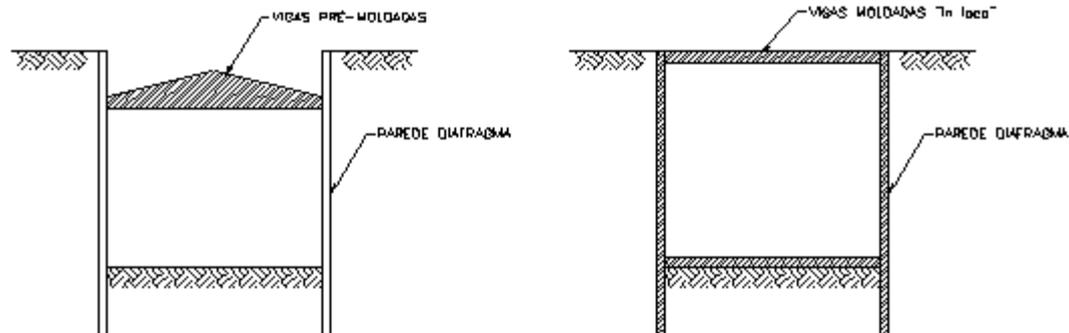




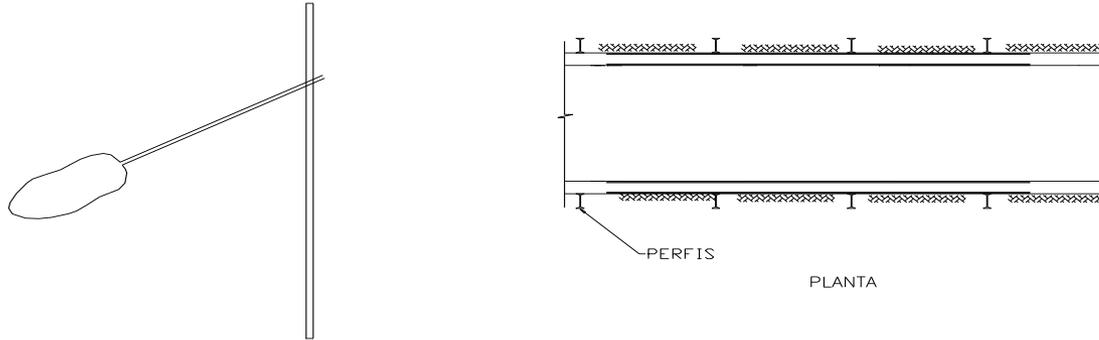
Na fase de reaterro, pode ocorrer um dos casos seguintes:

- 1- O esforço  $F$  é excessivo para a parede concretada quando se remove a estronca inferior. Utiliza-se então o reestroncamento e completa-se a estrutura permanente (3).
- 2- O esforço  $F$  é resistido pela parede ao se remover a estronca; completa-se, então, a estrutura permanente (3)

Adotando-se parede-diafragma incorporada (na estrutura permanente), a laje de teto pode apoiar-se nela; a laje pode ser pré-moldada ou moldada "in loco".



Pode ser utilizado rebaixamento na fase provisória para diminuir a pressão da água na diafragma.



Marechal Deodoro  
Metro Rio  
Escoramento de poços  
Escoramento para galerias

### 2.3 EMPUXOS

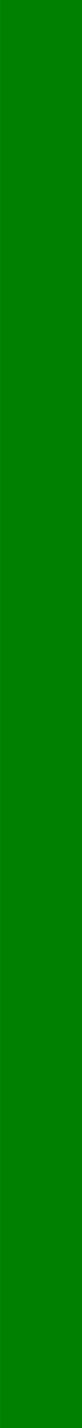
#### Carregamento

O carregamento das paredes de contenção da vala deve ser obtido pela superposição das diversas ações resultantes dos empuxos de terra, do lençol freático, das sobrecargas decorrentes de edifícios na zona de influência, da parede de contenção, de depósitos de materiais, de veículos e equipamentos.

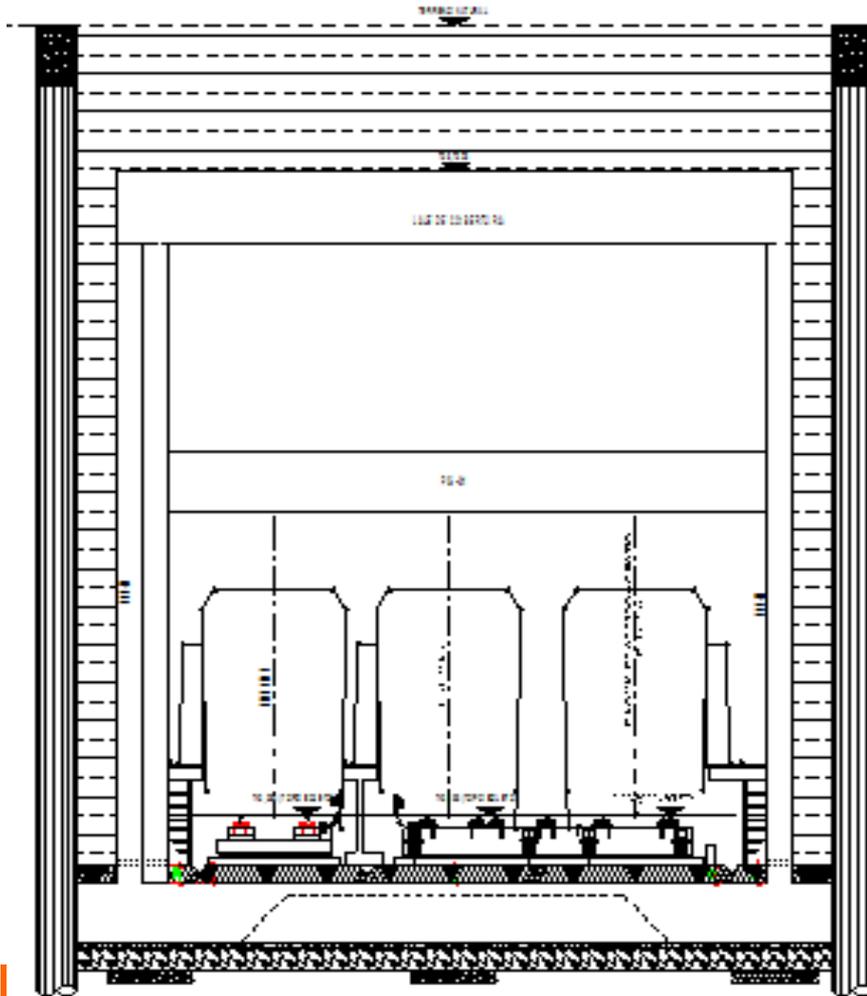
**Empuxo de Terra: Paredes Flexíveis e Rígidas**



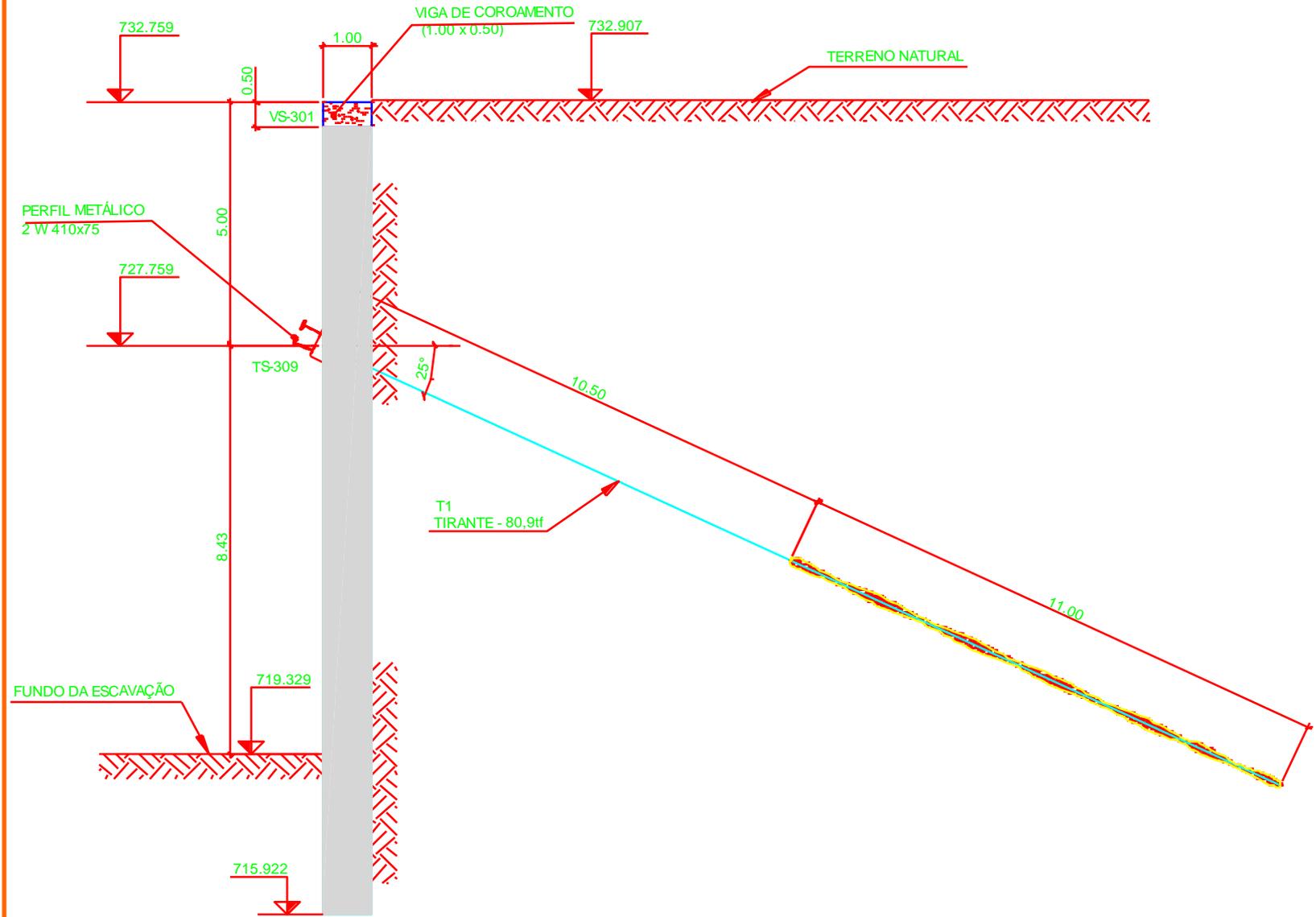
11 10 2004



# Pared discontinua atirantada



# Elementos de uma cortina atirantada

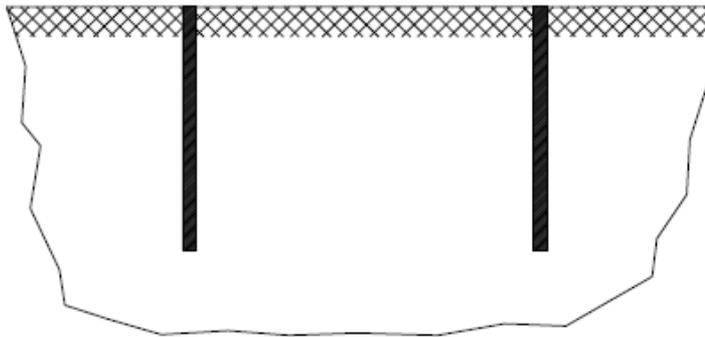


# Parede contínua em balanço

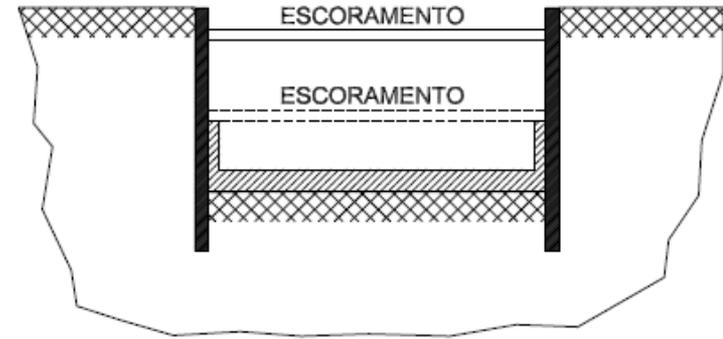


# Exemplo de método construtivo

EXECUÇÃO DA PAREDE



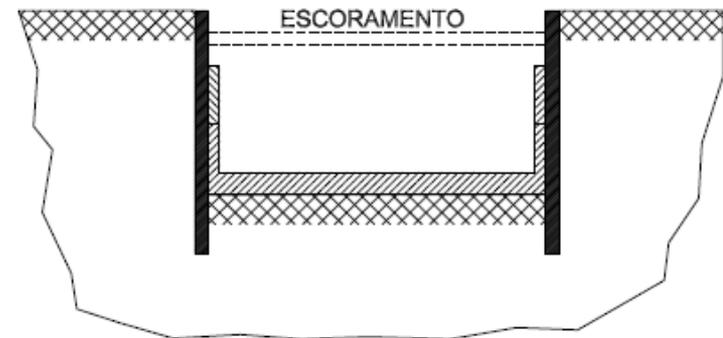
LAJE DE FUNDO / PAREDE



1º NÍVEL DE ESCAVAÇÃO



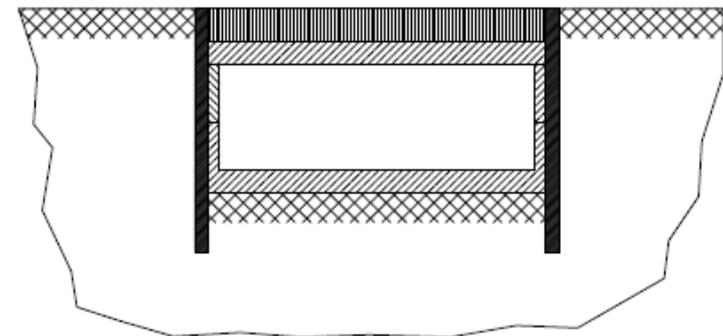
COMPLEMENTO DA PAREDE



2º NÍVEL DE ESCAVAÇÃO



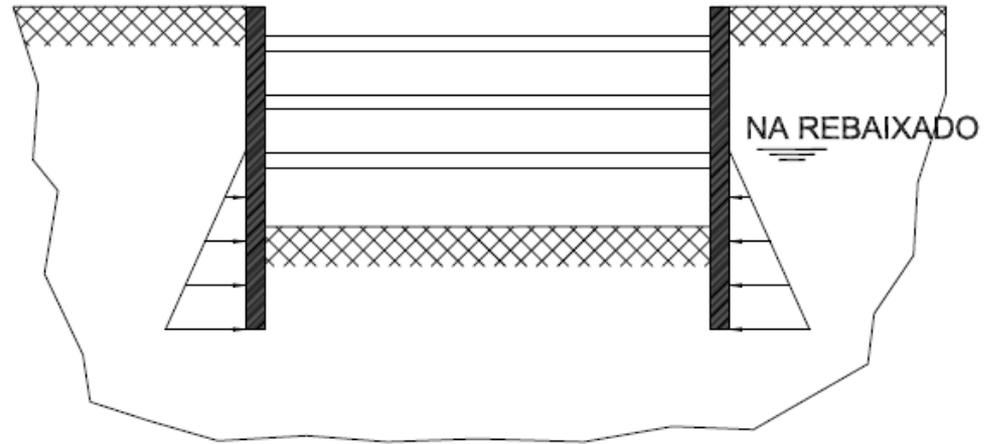
LAJE DE COBERTA / REATERRO



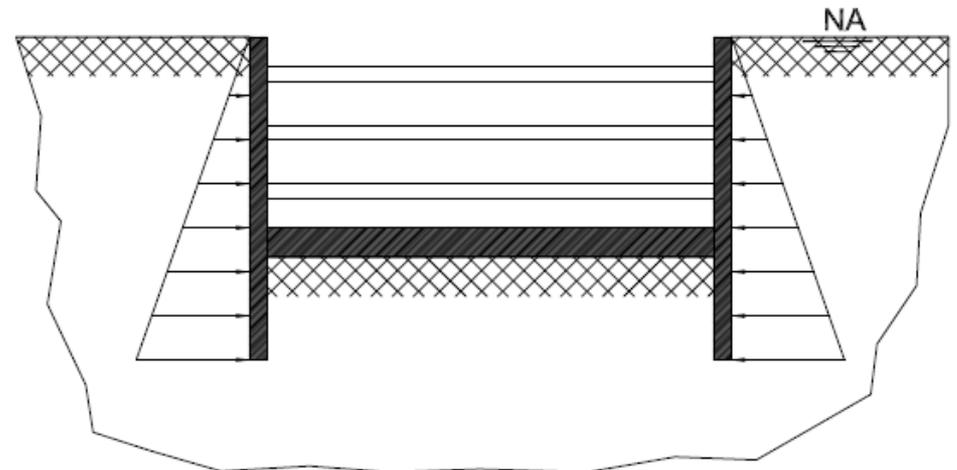
# Rebaixamento do NA

Caso de paredes descontínuas em solo de alta permeabilidade: caso mais usual.  
Pode ser usado também no caso de paredes contínuas para reduzir a ficha necessária antes da execução da laje de fundo, conforme esquema ao lado

ANTES DA EXECUÇÃO DA LAJE DE FUNDO



APÓS EXECUÇÃO DA LAJE DE FUNDO



# CONTENÇÃO COM ESTACAS PRANCHA METÁLICAS





*Deurganckdock CT, Antuérpia, Bélgica*



*Metrô em Copenhaga, Dinamarca*

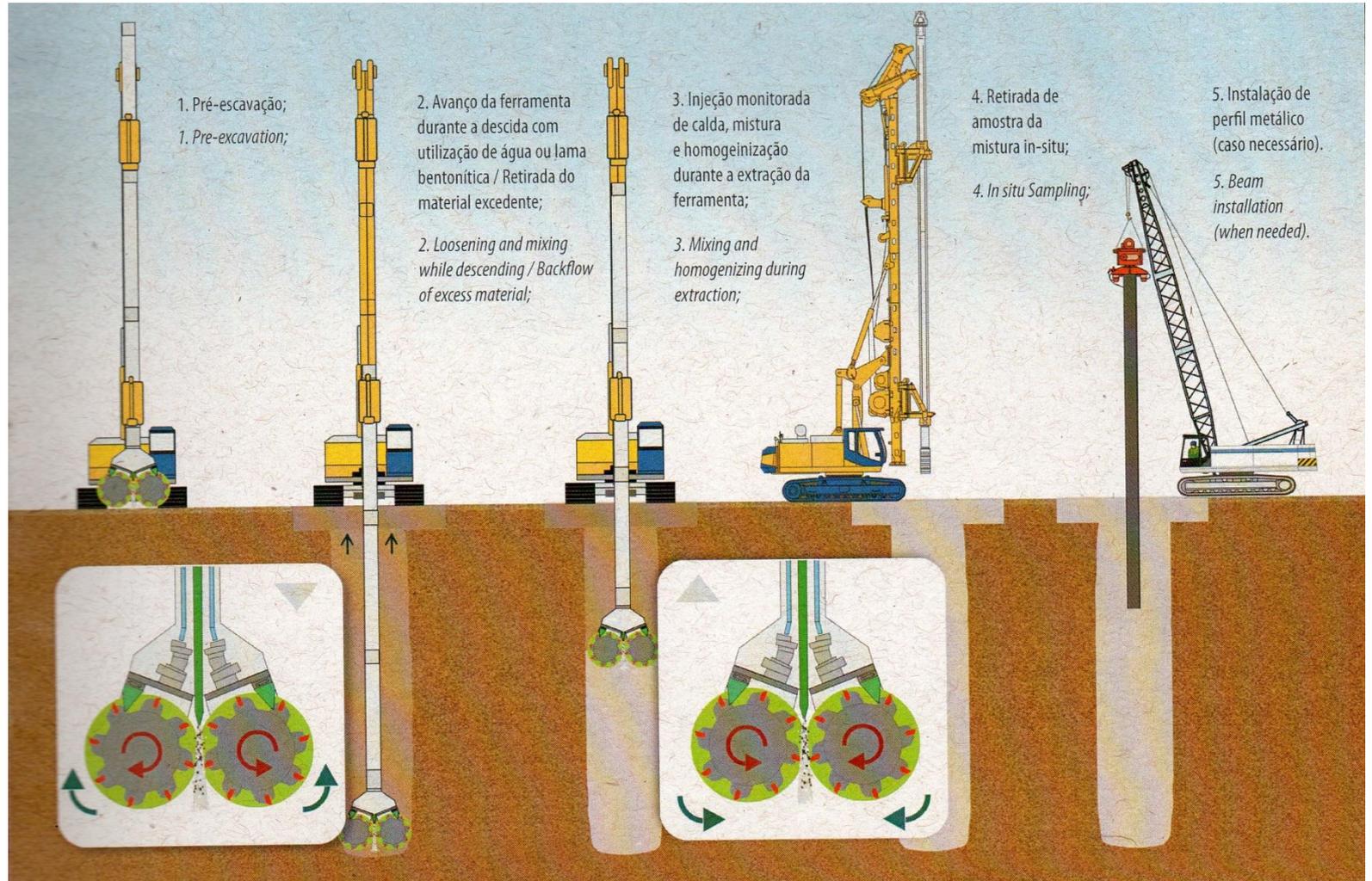




*Dique, Hamburgo, Alemanha*

*Edifício de Escritórios, Amsterdão, Holanda*



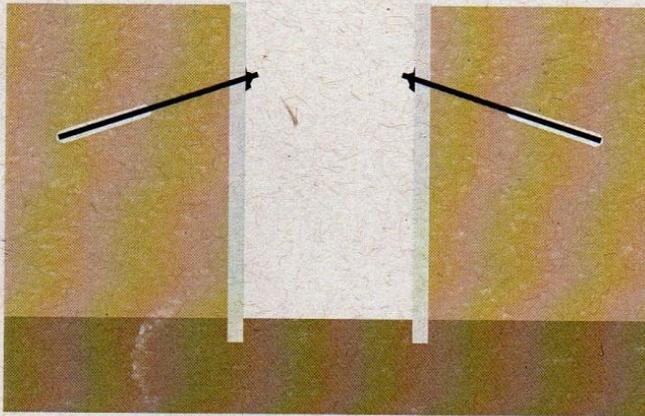


## 5.1 Parede estrutural e armada/Parede de contenção

### 5.1 Retaining Walls / Structural Wall

#### Aplicação Application

Muros de Contenção  
/ Retaining Walls

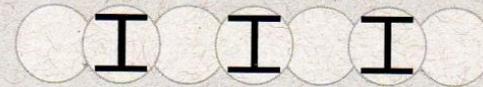


#### Vantagens Advantages

Enquanto no método tradicional, os perfis metálicos podem ser posicionados apenas no centro das colunas, através do Método CSM, estes podem ser posicionados em qualquer ponto dos painéis.

*Whereas using traditional method the reinforcement is positioned only at the centre of the columns, through CSM Method these can be positioned anywhere within the panels.*

Método tradicional (Estaca Secante) /  
Traditional Method (Secant Pile Wall)



Método CSM / CSM Method

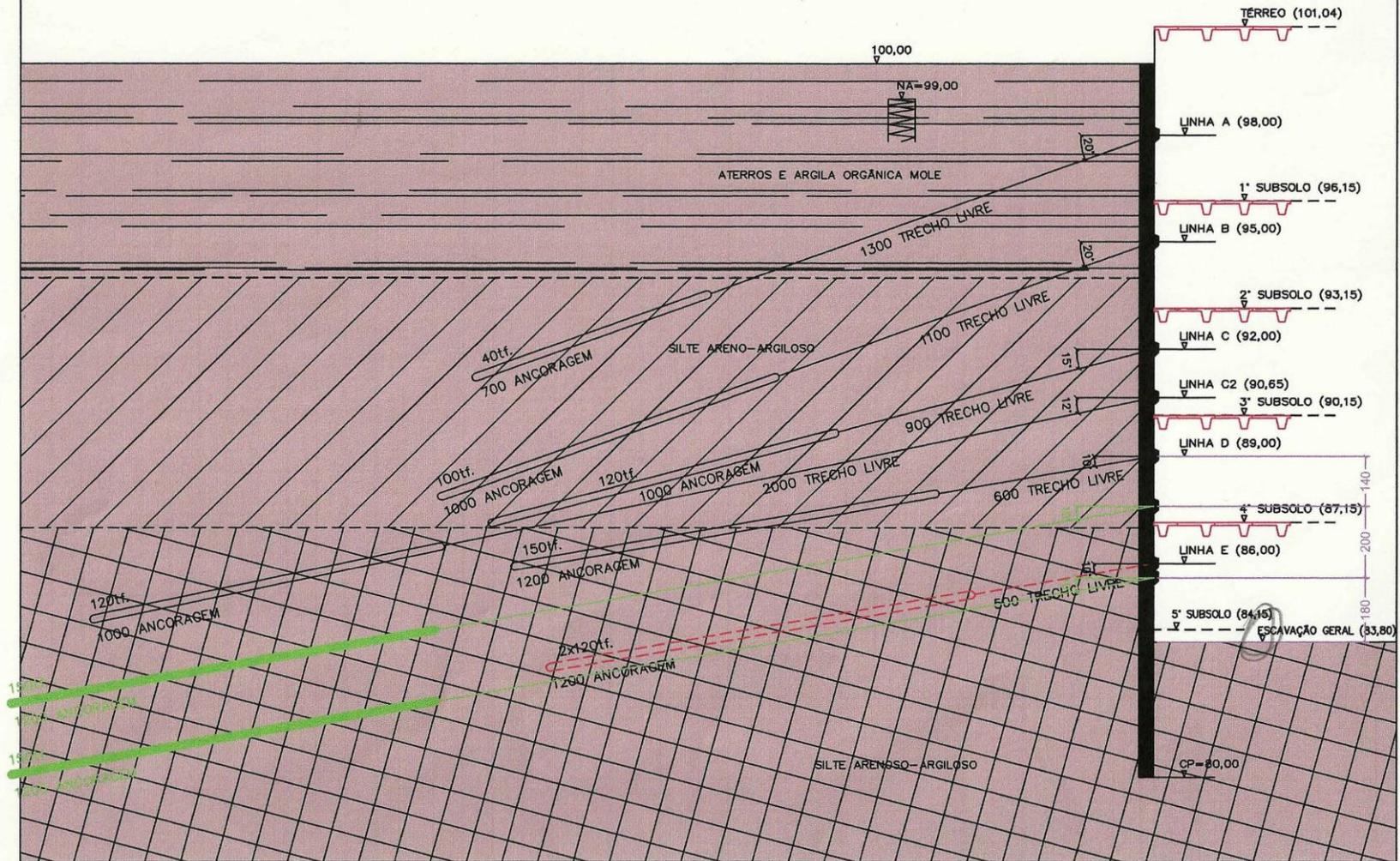


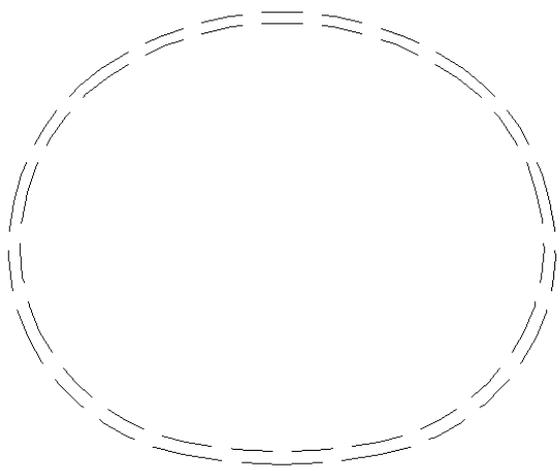




CORTE A-A

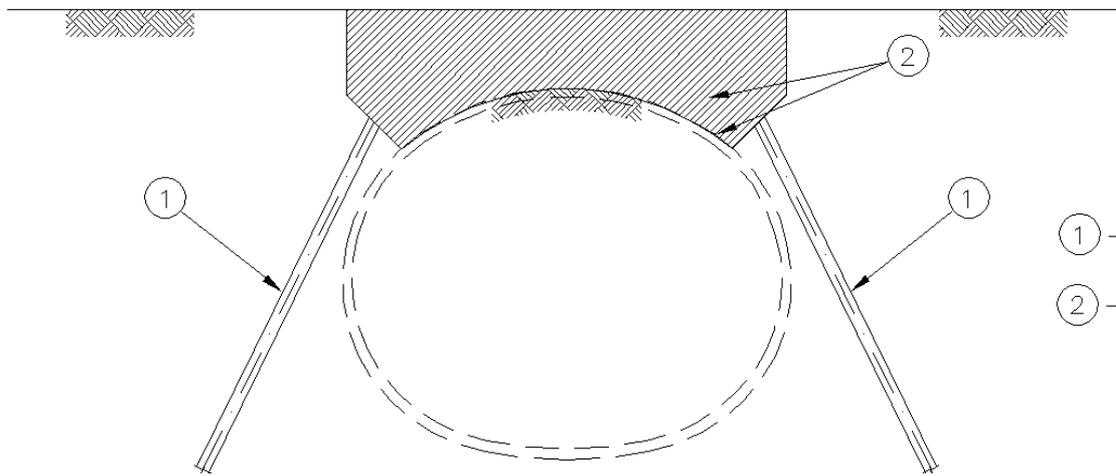
ESC. 1:100



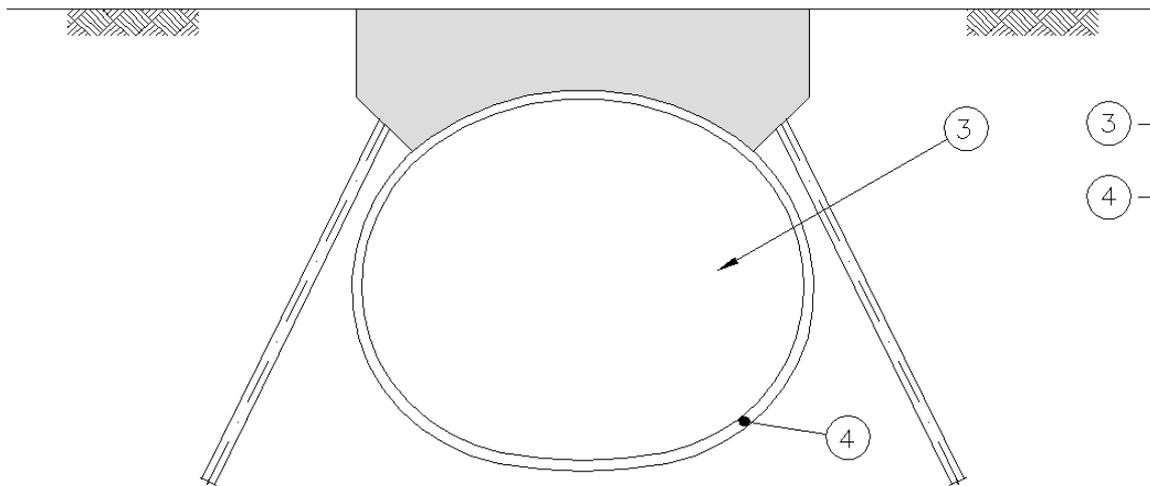


SITUAÇÃO INICIAL





- ① – EXECUÇÃO DAS ESTACAS RAIZ
- ② – ESCAVAÇÃO E CONCRETAGEM DA LAJE DE COBERTURA



③ – ESCAVAÇÃO EM AVANÇOS CURTOS

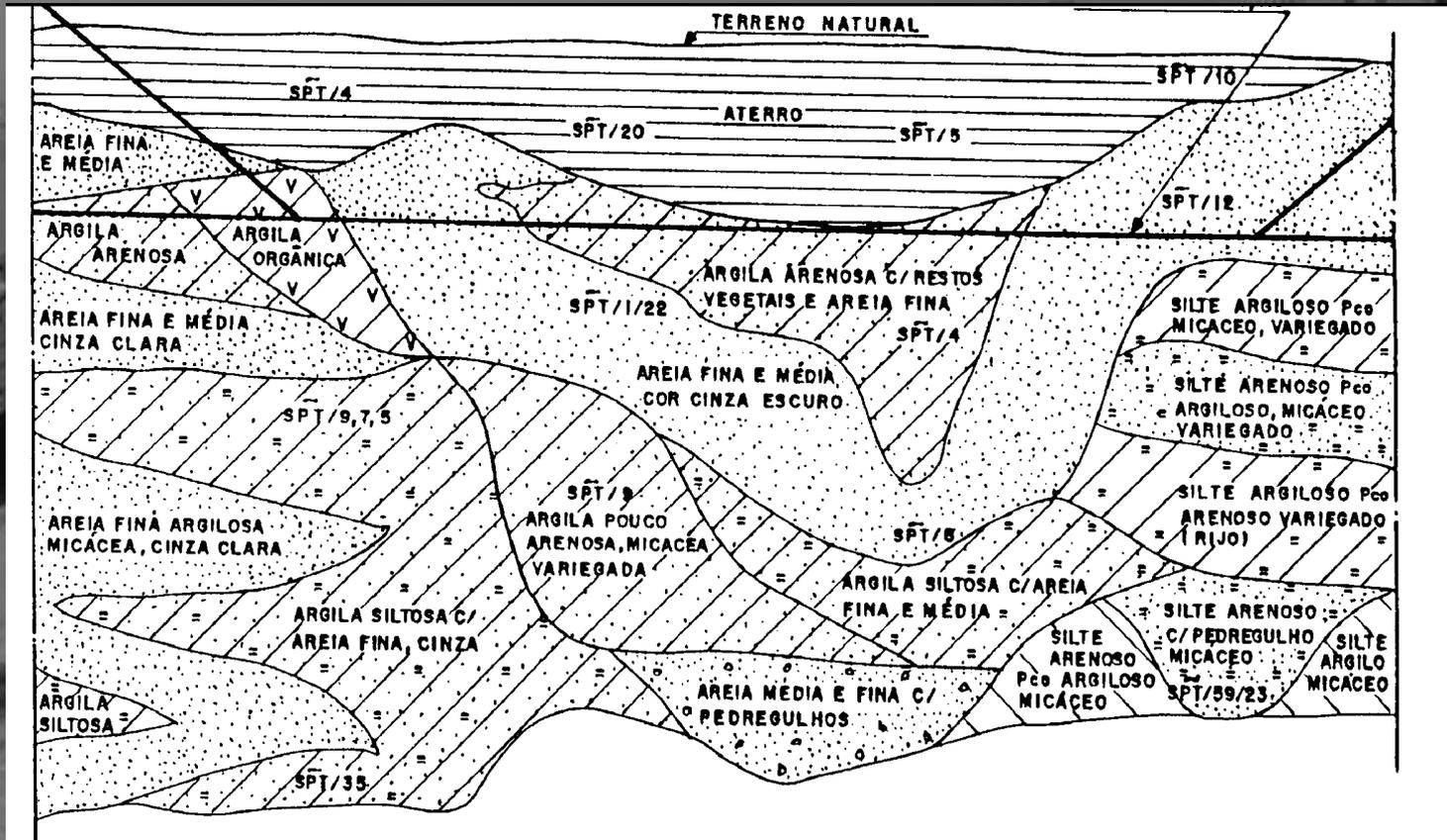
④ – REVESTIMENTO A CADA AVANÇO

**PASSAGEM SUBTERRÂNEA – PRAÇA XV  
UMA UTILIZAÇÃO PIONEIRA DE JET-GROUTING**



# Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

## Perfil geológico



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

Metodo construtivo convencional

-

Complexidade de execução

- Estroncamento provisório
- Rebaixamento do lençol freático
- Realimentação do lençol freático

Margem para estudos



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

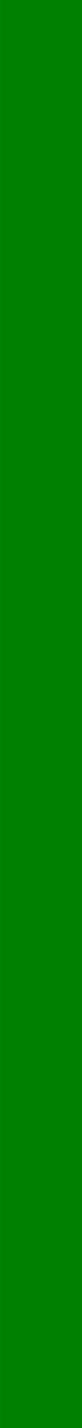
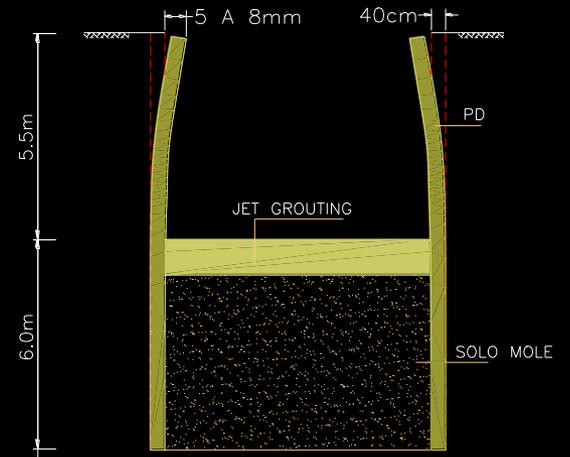
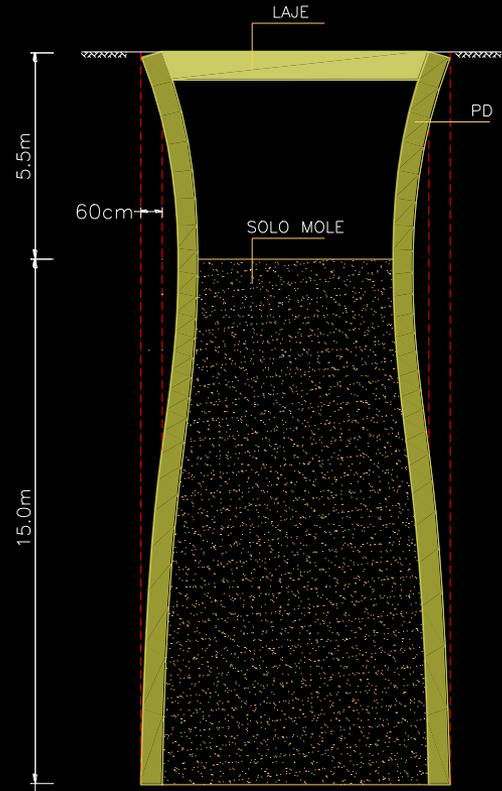
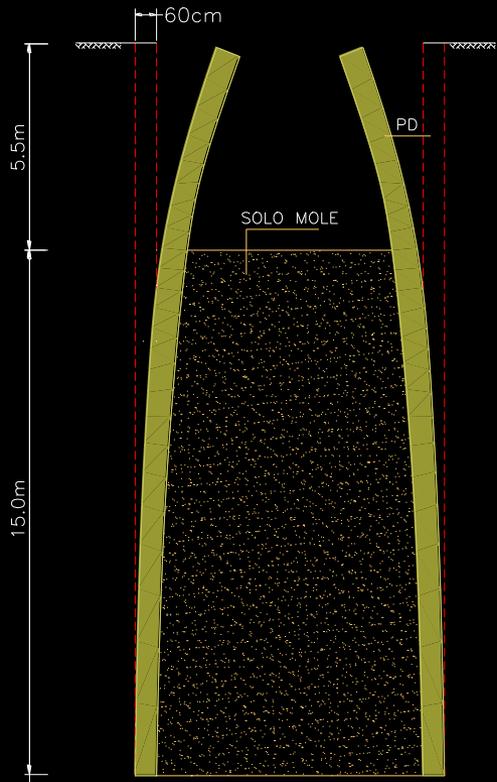
Metodo construtivo convencional

-

Complexidade de execução  
- Estroncamento provisório  
- Rebaixamento do lençol freático  
- Realimentação do lençol freático

Margem para estudos

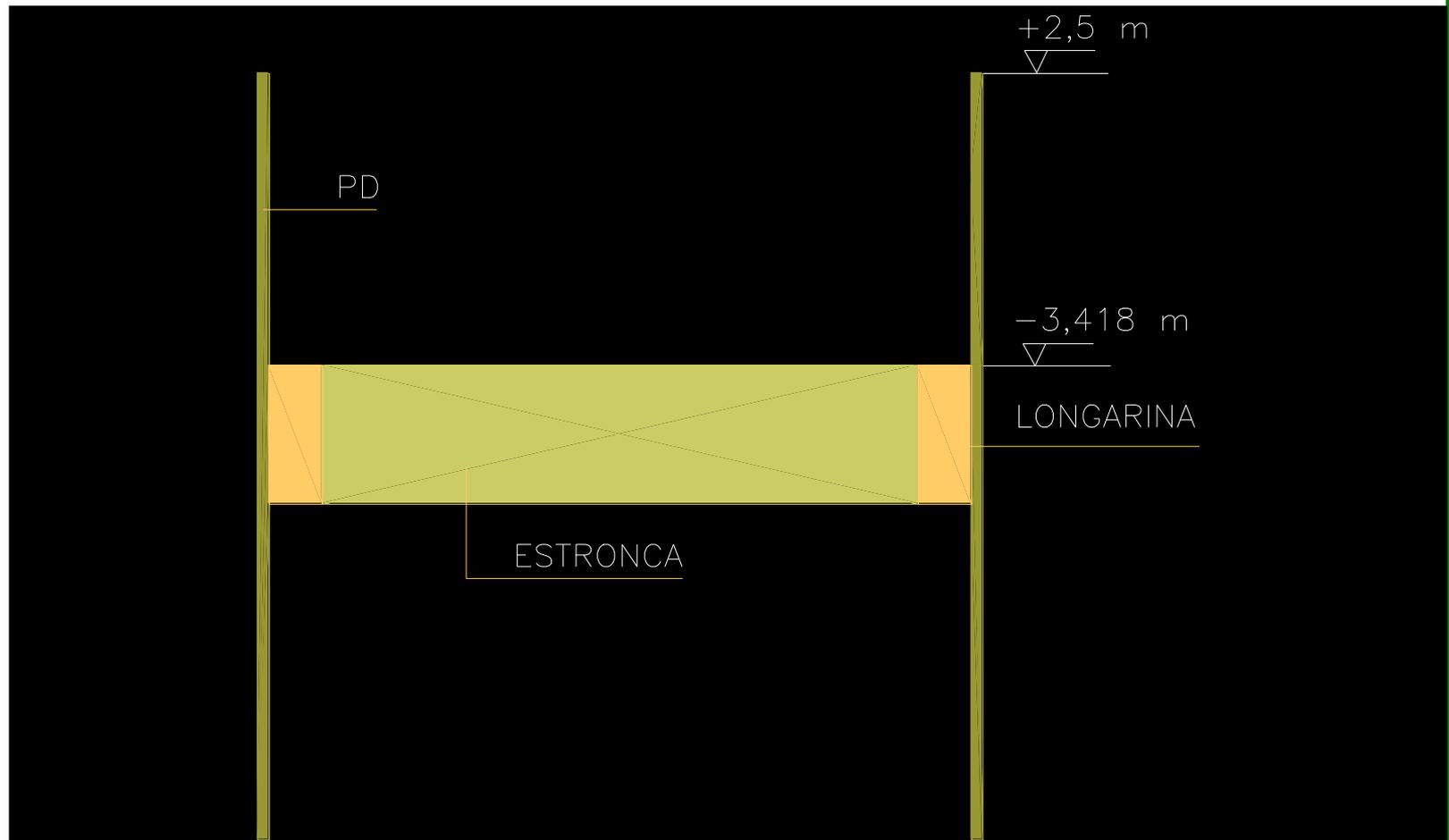




# Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

## Estroncamento e tampão de fundo em Jet Grouting

Modelo adotado:

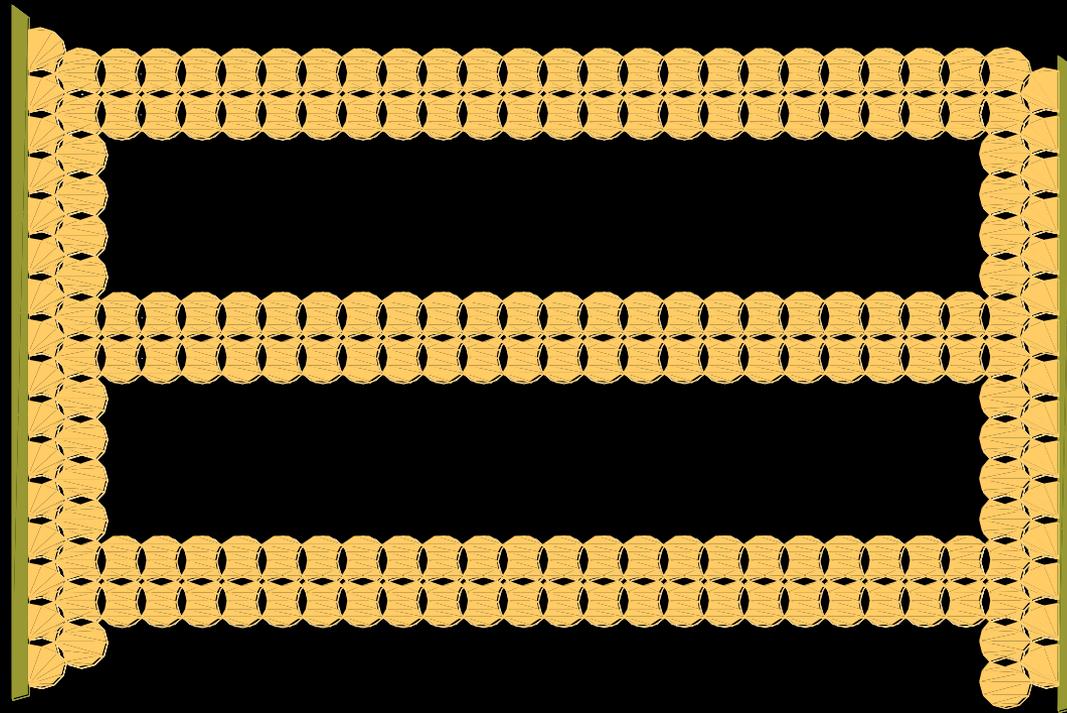


## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

### Estroncamento e tampão de fundo em Jet Grouting

**Longarina:** transfere reação da parede para a estronca

**Estronca:** garante estabilidade da parede diafragma

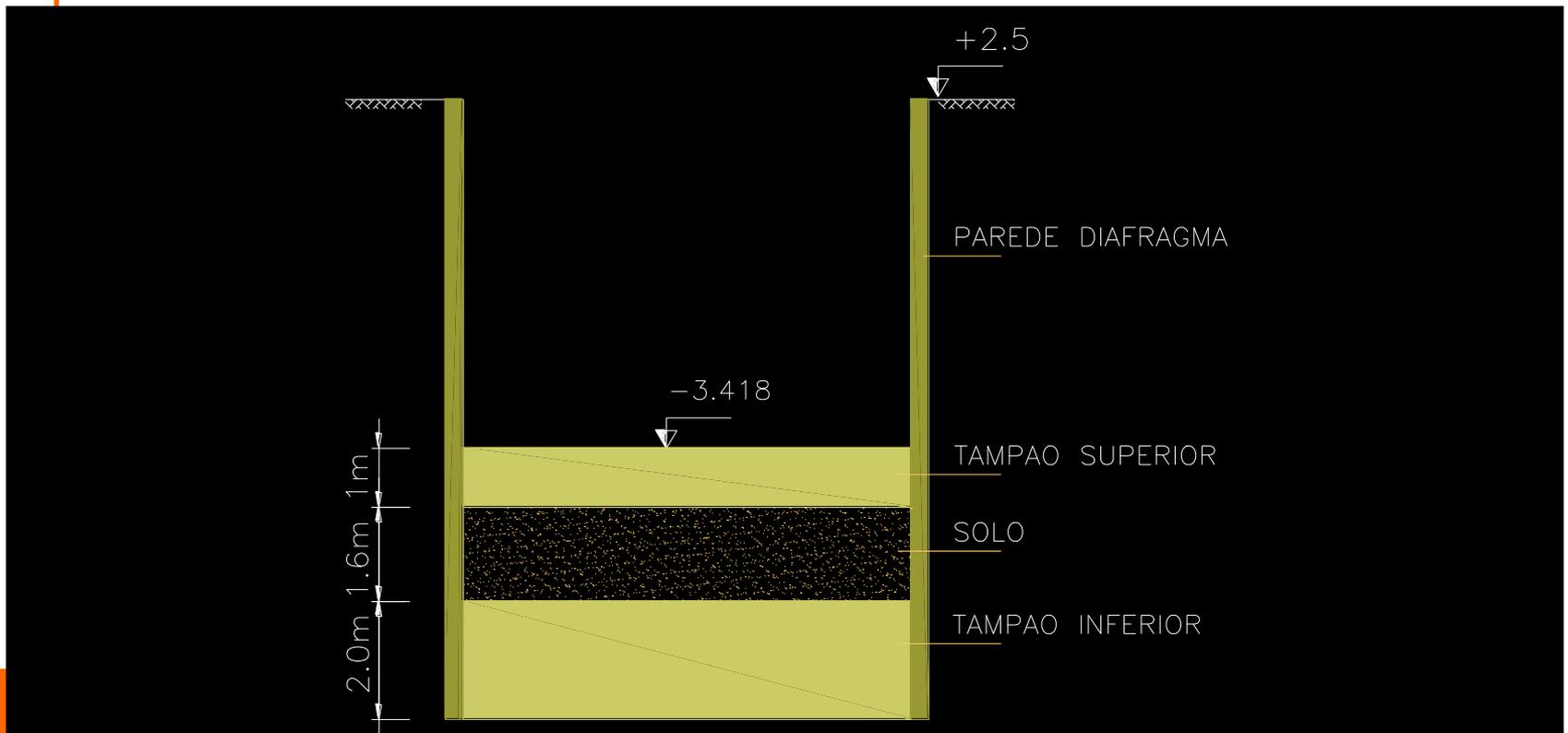


## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

### Estroncamento e tampão de fundo em Jet Grouting

Tampão inferior equilibra subpressão

Tampão superior responde às solicitações na fase provisória





## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting



## Uma Utilização Pioneira de Jet Grouting

- Escoramento de JG sem perda de desempenho
- Simplificação da execução - menor tempo
- Redução de custos
- Eliminação de problemas oriundos do rebaixamento - recalques
- Aplicação com sucesso de um método construtivo pioneiro

