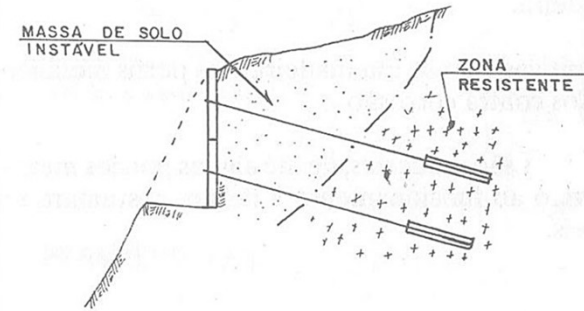
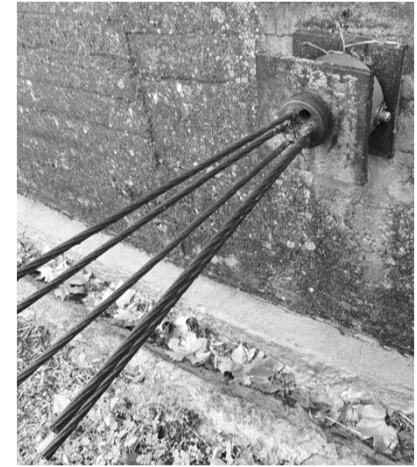


Aula 10 – Escoramentos e Atirantamentos



SUMÁRIO

Revisão tipos de contenções escoradas/atirantadas

- Madeira
- Perf. Met + Pranchão
- EPM
- Blindagem
- Concreto (Secantes, PD, etc)

Tipos de escoramento

- Escoras
- Estroncas (??)
- Tirantes (Permanentes, provisórios)

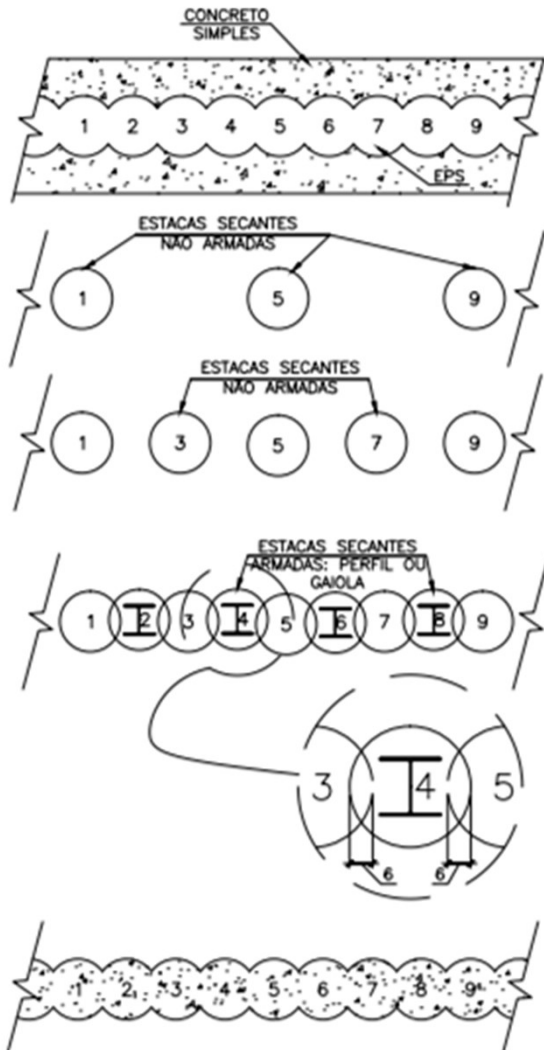
Verificações - Valas escoradas

- Esforços
- Envoltória de empuxos
- Ruptura de fundo
- NA

Verificações - Tirantes

REVISÃO

Sequência executiva das estacas secantes



• Cortinas de estacas escavadas

- Estacas justapostas
- Estacas secantes



REVISÃO



- Parede diafragma
- Cortinas de estacas cravadas
 - Estacas prancha;
 - Execução rápida;
 - Quando a ficha é insuficiente pode ser atirantada ou contraventada;
 - Usualmente metálica.

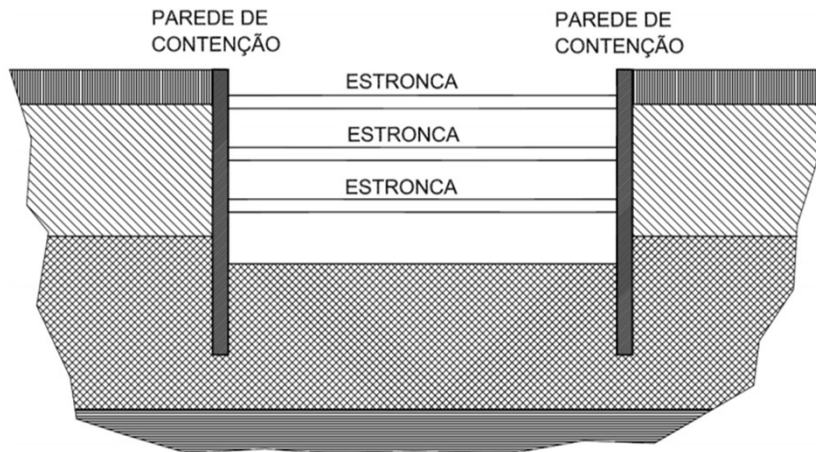
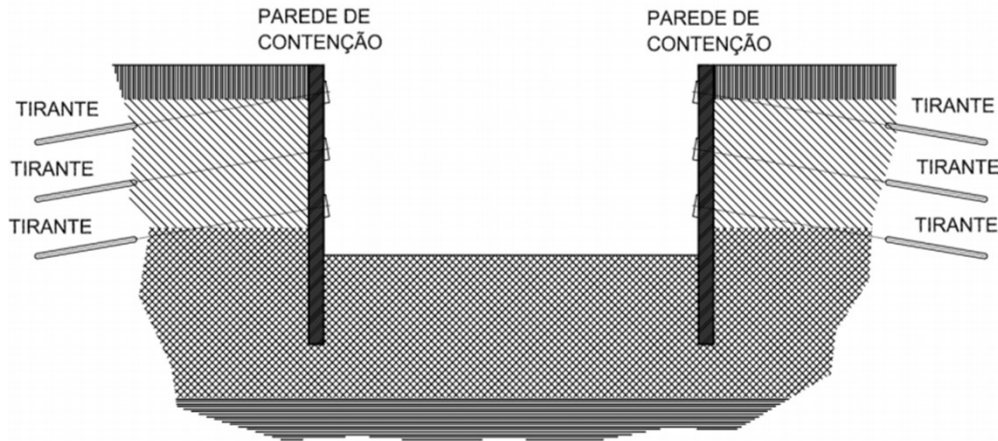
REVISÃO

● Cortinas de estacas cravadas:

- Perfil metálico pranchado
 - Pranchas de madeira ou placas de concreto;
 - Afastamento entre perfis de 1,0 m a 3,0 m;
 - A escavação pode ser realizada simultaneamente à execução da contenção;
 - Pode ser atirantada.



REVISÃO



• Escoramento de valas

- Contínuo → Paredes diafragma, estaca prancha, pranchão de madeira;
- Descontínuo → Pontaletes de madeira, perfil pranchado;
- Estroncas ou tirantes.

REVISÃO

• Blindagem de vala



- Método ágil para escoramento e contenção de terreno em valas;
- Fácil utilização;
- Equipamentos pré fabricados e de montagem simples;
- Segurança.

LINKS

<http://geopontuall.com.br/servicos/geo-contencao/>

<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/perfis-de-aco-podem-agregar-agilidade-e-economia-a-contencoes-de-solos/17255>

<http://sete.eng.br/491640-noticia-contencao-de-perfil-metalico>

<http://sete.eng.br/irantes-1025-servico-10891>

<http://sete.eng.br/cortina-atirantada-1025-servico-231111>

<https://escoll.com.br/cortinas-de-contencao/>

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/127175/mod_resource/content/1/Valas%20escoradas%20-%20Aula%201.pdf

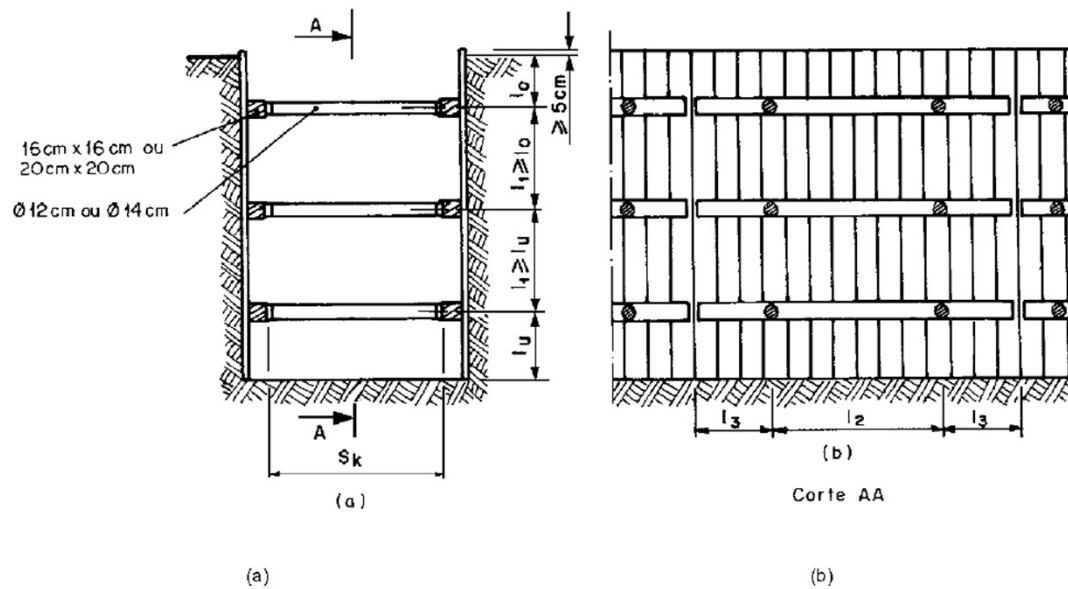
Sistemas de escoramento

- Escoras/Estroncas:
 - “Elementos estruturais destinados a absorver os esforços horizontais da reação de apoio das cortinas de proteção das escavações” (NBR9061);
 - Materiais:
 - Madeira
 - Perfil metálico
 - Pre-moldado de Concreto
 - Outros

Escoramento de madeira



Sistemas de escoramento



Escoramento de vala de madeira (NBR9061/1985)

Sistemas de escoramento



Estacas pranchas escoradas c/ perfil metálico

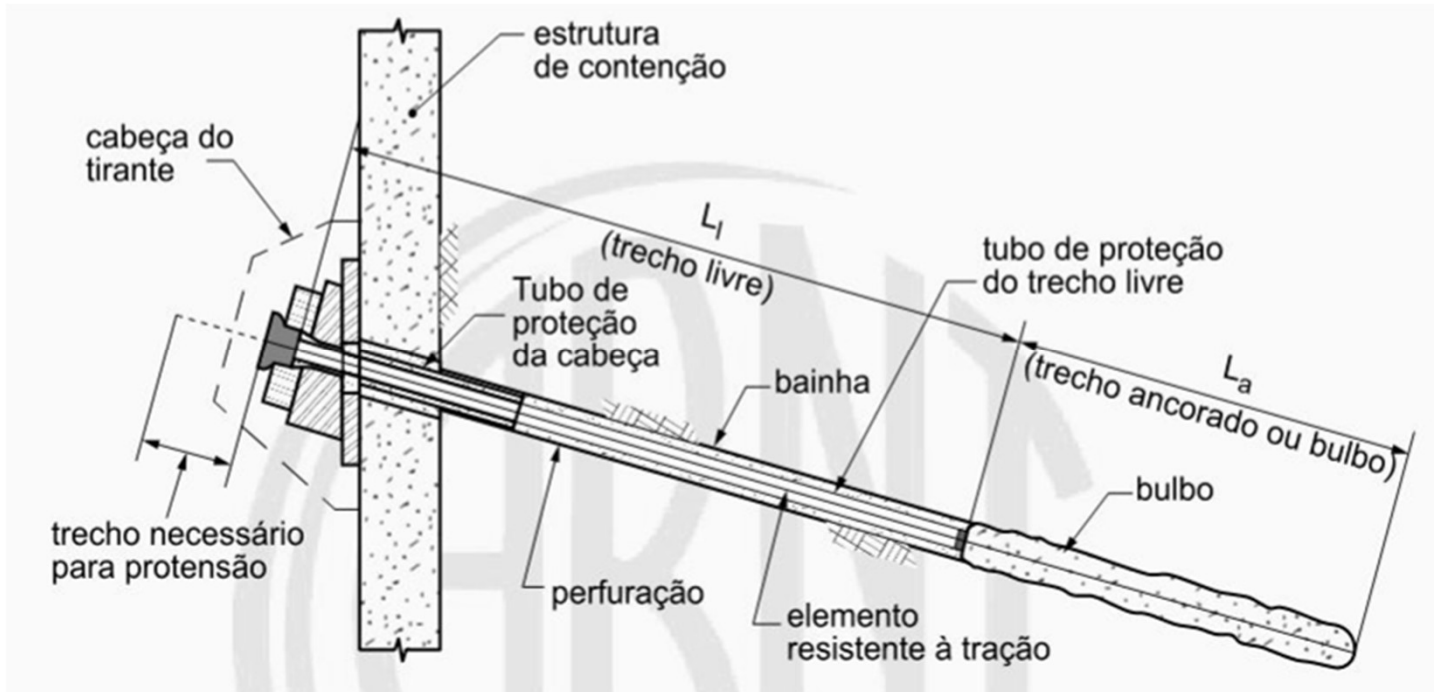


Perfil metálico + Pranchão + escoras de perfil metálico

Sistemas de escoramento

- Tirantes
 - "Dispositivo capaz de transmitir esforços ativos de tração distribuídos a uma região estável do terreno, sendo constituído de cabeça, trecho livre e trecho ancorado ou bulbo"(NBR5692/2018)
 - Tipos de tirantes
 - Provisórios
 - Permanentes
 - Material
 - Cordoalha
 - Monobarra

Sistemas de escoramento

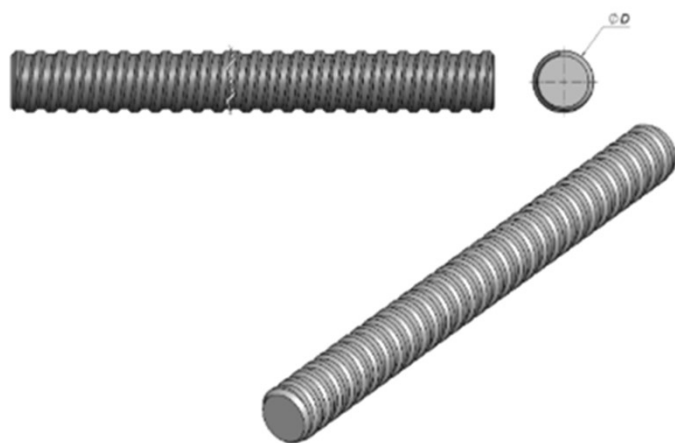


Elementos básicos do tirante (NBR5629/2018)

Fonte: <https://www.engestab.com.br/tirantes-cordoalha>

Sistemas de escoramento

Sistemas de Monobarra

Fonte: www.incotep.com.br

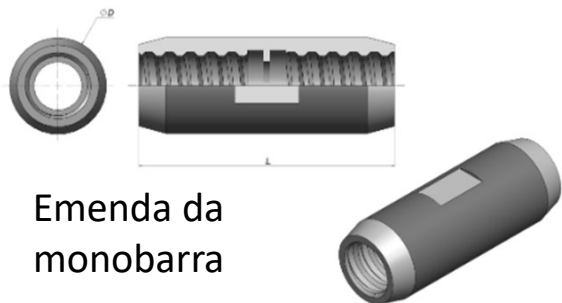
Sistemas de escoramento

Sistemas de Monobarra

Diâmetro		Área [mm ²]	Massa Linear [kg/m]	Propriedades Mecânicas Mínimas [kgf/mm ²]		Cargas [tf]					
Nominal D [mm]	Efetivo [mm]			Limite de		Cargas Limites		Trabalho conforme norma ABNT NBR 5629:2018			
		Escoamento	Ruptura	Carga de Escoamento	Carga de Ruptura	Ensaio	Permanente	Provisória	Prova de Carga		
30	28,7	648,0	5,0	60,0	72,0	38,9	46,7	35,0	20,0	23,0	29,2
40	38,0	1134,0	9,0	60,0	72,0	68,1	81,7	61,3	35,0	41,0	51,1
44	41,0	1319,0	10,5	68,0	87,0	89,7	114,7	80,7	46,0	54,0	67,3
50	45,9	1653,0	14,1	60,0	72,0	99,2	119,0	89,3	51,0	60,0	74,4
53	49,8	1944,0	16,0	60,0	72,0	116,7	140,0	105,0	60,0	70,0	87,5
57	53,7	2269,0	18,1	60,0	72,0	136,1	163,3	122,5	70,0	82,0	102,1
63	60,9	2917,0	22,6	60,0	72,0	175,0	210,0	157,5	90,0	105,0	131,3
69	64,2	3241,0	27,4	60,0	72,0	194,4	233,3	175,0	100,0	117,0	145,8

Fonte:www.incotep.com.br

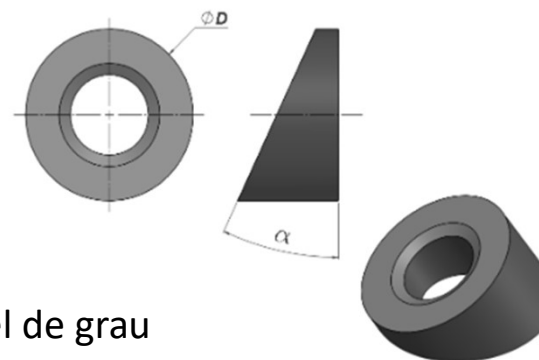
Sistemas de escoramento de Monobarra



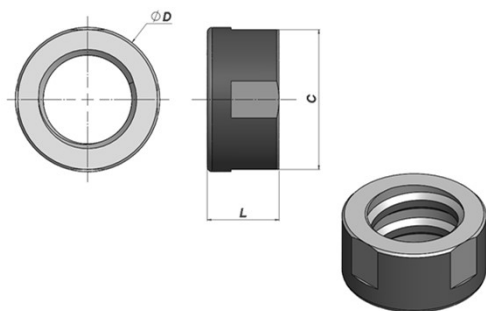
Emenda da monobarra

Ângulo α [Grau]

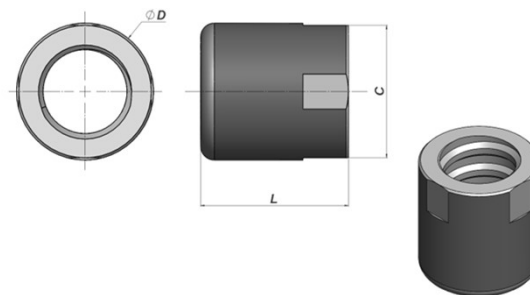
- 5° | 10° | 15° |
- 20° | 25° |
- 30° | 35° |
- 40° | 45°



Anel de grau



Contra porca



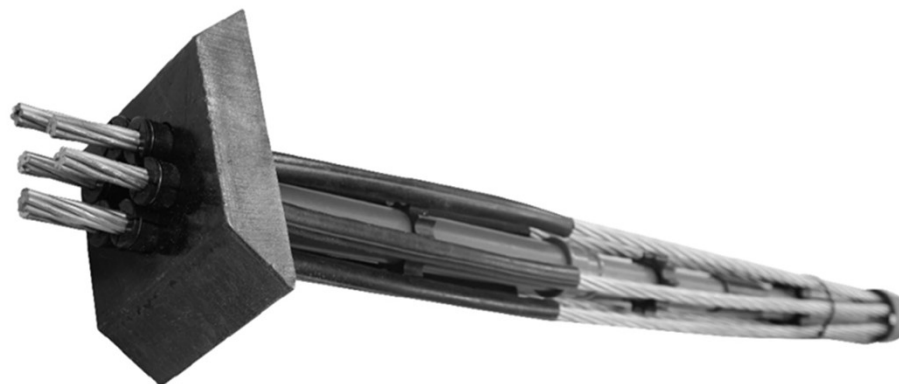
Porca de ancoragem

Fonte: www.incotep.com.br

Sistemas de escoramento
Sistemas de Monobarra



Sistemas de escoramento
Cordoalha



Produto	Diâmetro Nominal [mm]	Área Aprox. [mm ²]	Área Mínima [mm ²]	Massa aprox. [kg/1.000m]	Carga Mínima de Ruptura [kN]	Carga Mínima a 1% de deformação [kN]
Cord. CP 190 RB 12,70	12,7	101	99	792	187	169
Cord. CP 190 RB 15,20	15,2	143	140	1.126	266	239
Cord. CP 210 RB 12,70	12,7	101	99	792	203	183
Cord. CP 210 RB 15,20	15,2	143	140	1.126	288	259

Fonte: www.incotep.com.br

Sistemas de escoramento Cordoalha



Clavetes



Tubos de Polietileno
para o Trecho Livre

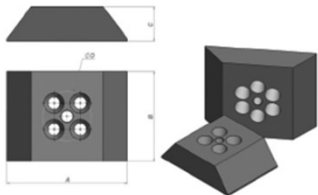


Centralizadores

Blocos de Ancoragem

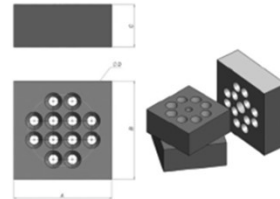
4 e 6 furos

Modelo	Largura A [mm]	Largura B [mm]	Altura C [mm]	Diâmetro D [mm]
04 Furos	155,0	115,0	44,45	63,0
06 Furos	185,0	145,0	44,45	74,0



8 e 12 furos

Modelo	Largura A [mm]	Largura B [mm]	Altura C [mm]	Diâmetro D [mm]
08 Furos	137,0	137,0	63,5	101,0
12 Furos Provisório	148,0	148,0	63,5	107,5
12 Furos Permanente	177,0	177,0	63,5	121,0

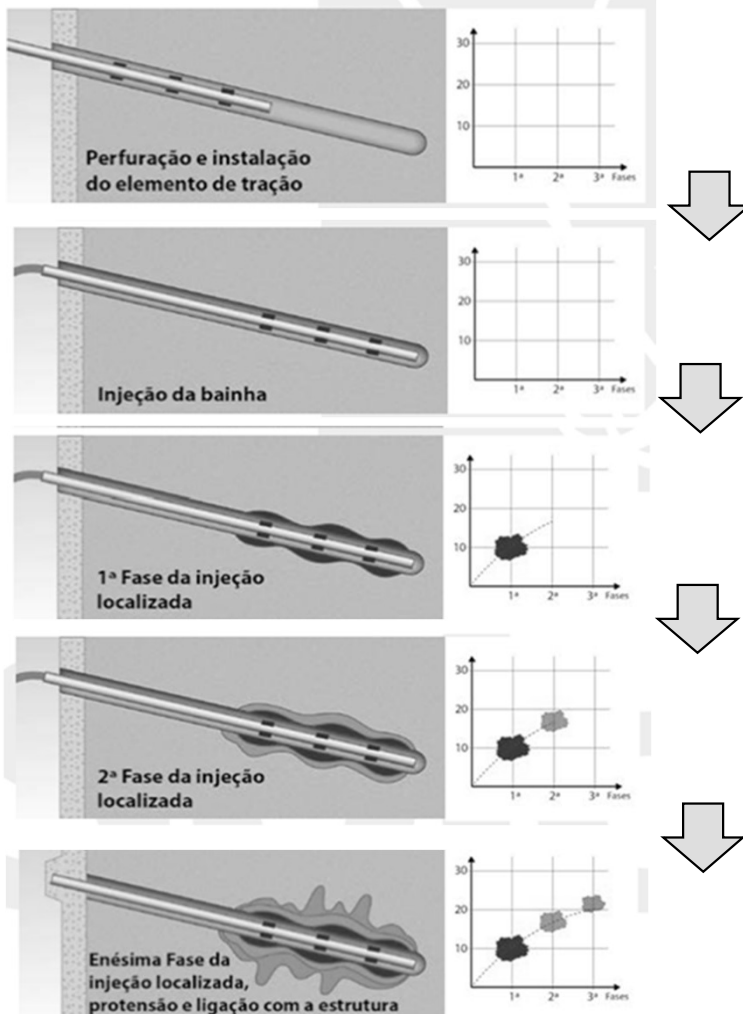


Protensão do tirante (Fonte: engestab.com.br)

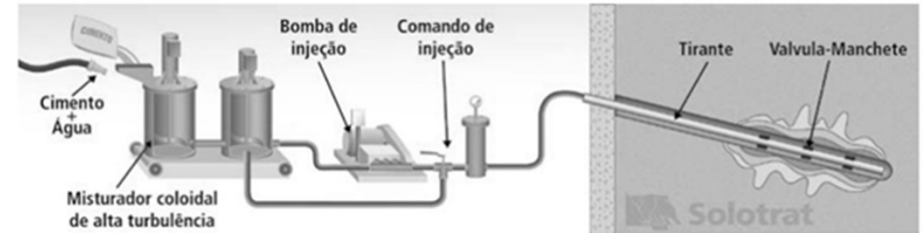
Acessórios p/ cordoalha (Fonte:www.incotep.com.br)

Sistemas de escoramento

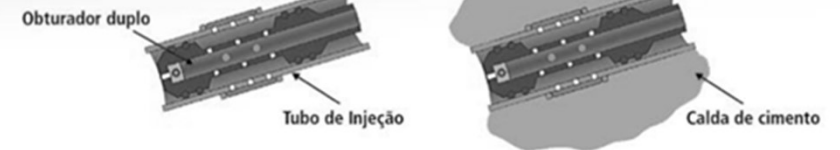
Sequência executiva esquemática



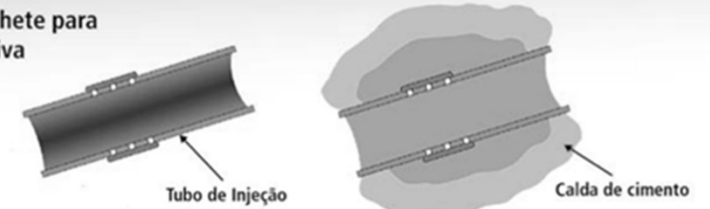
Tirante - sistema de injeção



Válvula-Manchete para Injeção Individual



Válvula-Manchete para Injeção Coletiva



Detalhes - sist. de injeção e válvulas manchete

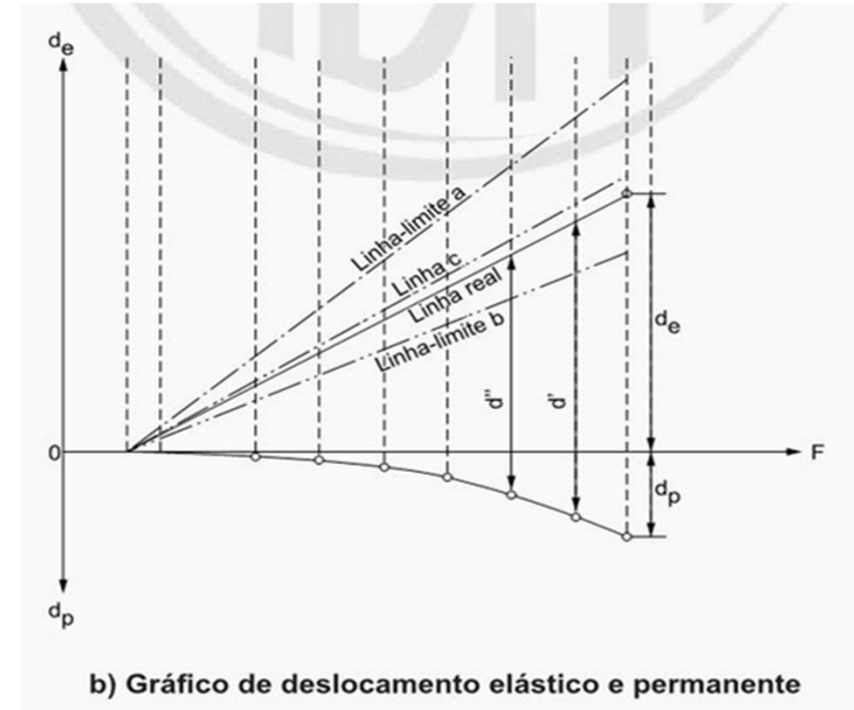
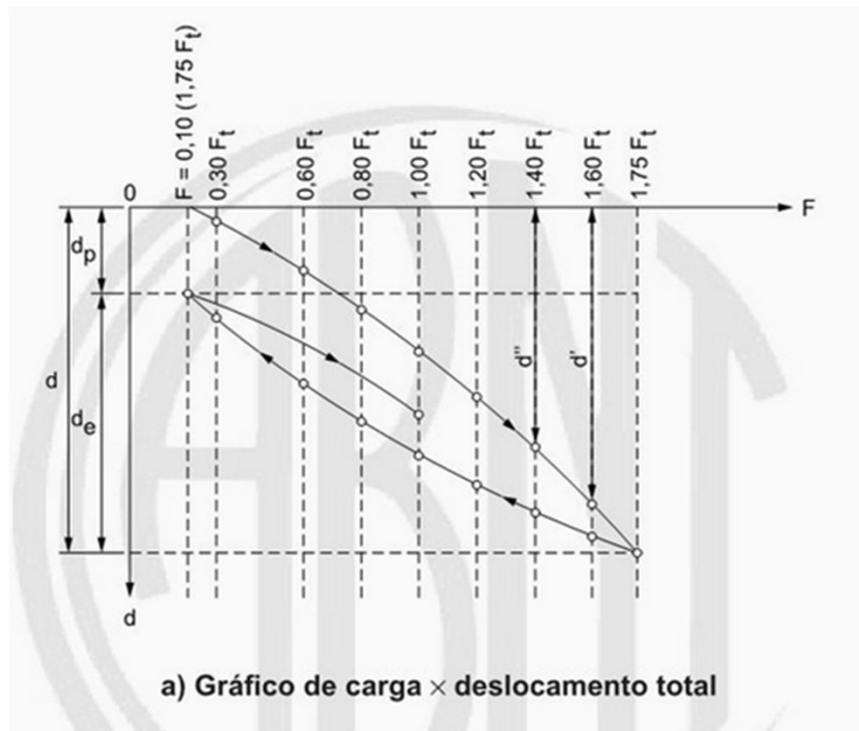
Sistemas de escoramento

- Tirante - Ensaio de tração (NBR5629/2018)
 - Recebimento (desempenho)
 - Todos os tirantes
 - Permanentes:
 - 10% → $1,75 * Ft$
 - Restante → $1,40 * Ft$
 - Provisórios
 - 10% → $1,50 * Ft$
 - Restante → $1,20 * Ft$
 - Qualificação (Comportamento)
 - 1% dos tirantes, devendo ser executado em um dos primeiros tirantes
 - Carregamento cíclico, crescente, até $1,75 * Ft$
 - Qualificação + Medida de Fluência
 - 0,5% dos tirantes, em obras com + de 100 tirantes

Sistemas de escoramento

- Tirante - Ensaio de tração (NBR5629/2018)

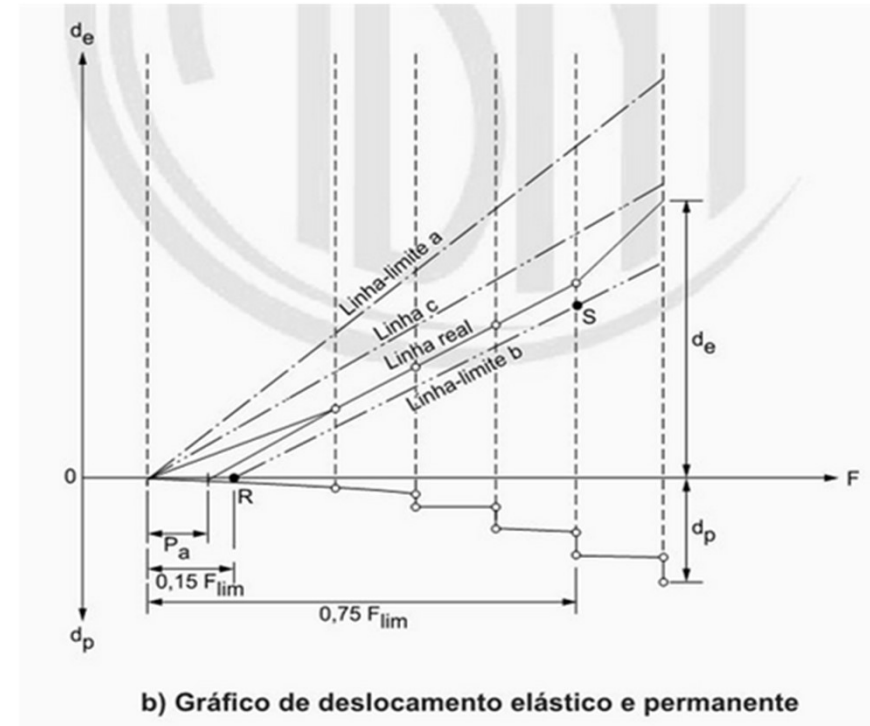
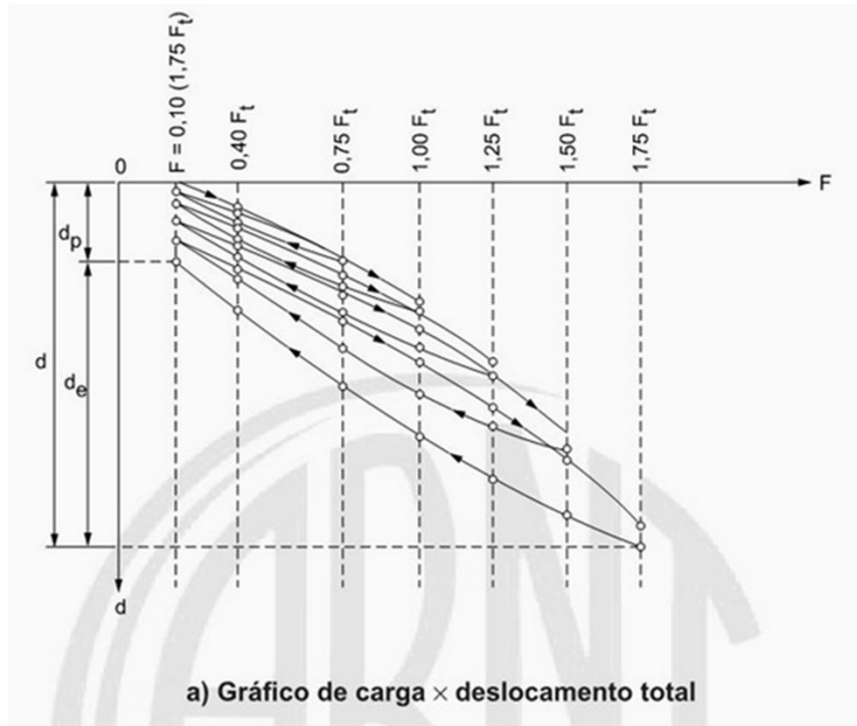
- Ensaio de Recebimento



Sistemas de escoramento

- Tirante - Ensaio de tração (NBR5629/2018)

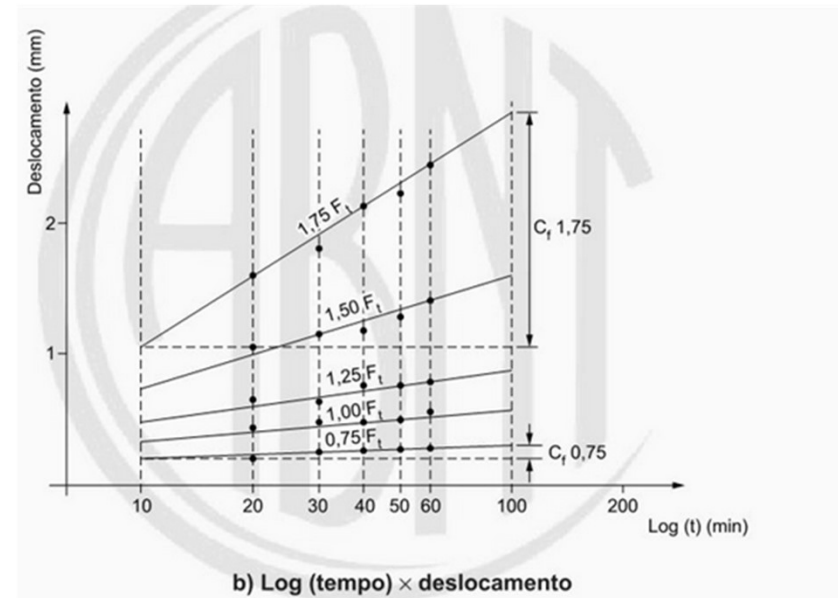
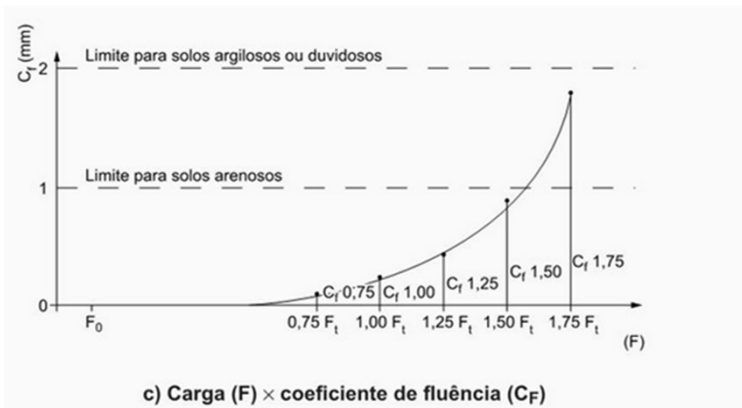
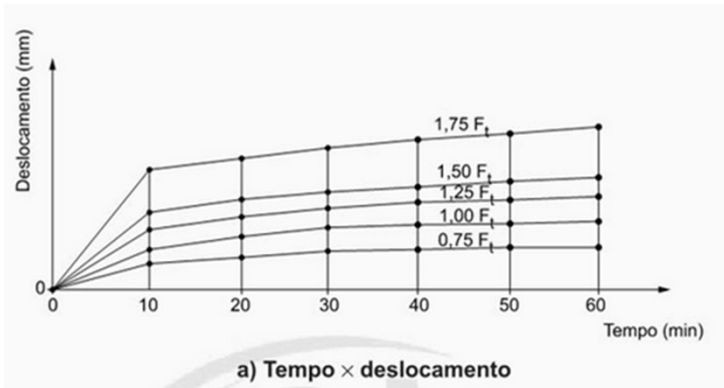
- Ensaio de Qualificação



Sistemas de escoramento

- Tirante - Ensaio de tração (NBR5629/2018)

- Ensaio de Qualificação e Medida de Fluência



Sistemas de escoramento



Perfuratriz (Fonte: geofund.com.br/)

Esforços – Empuxos em contenções escoradas

- Modificação do formato do diagrama de empuxo em função da restrições de movimentação impostas

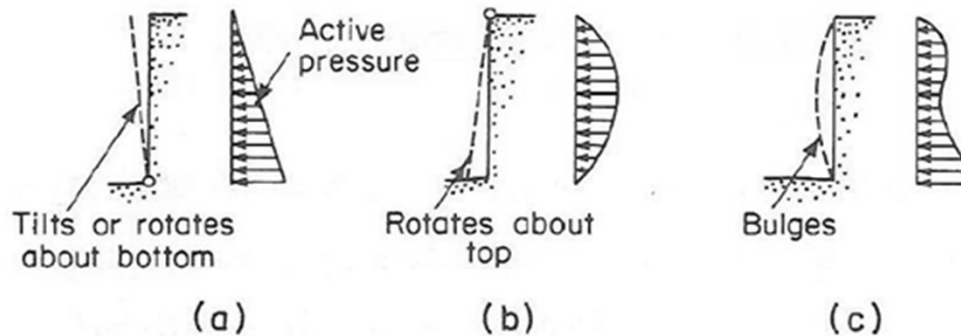


Fig. 4-3 Distribution of earth pressure.

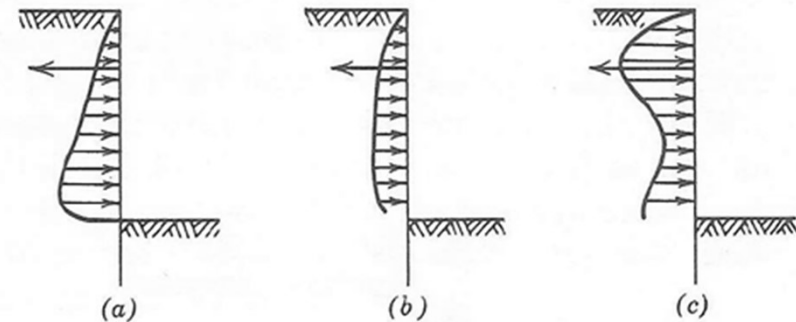


Fig. 13.31 Relation between construction procedure and stress distribution against anchored bulkhead. (a) Backfilling. (b) Dredging with normal yield of anchor. (c) Dredging with unyielding anchor.

Esforços – Empuxos em contenções escoradas

- Modificação do formato do diagrama de empuxo em função da restrições de movimentação impostas
 - “Retificação” do diagrama de empuxo ativo abaixo da 1ª linha de estroncas

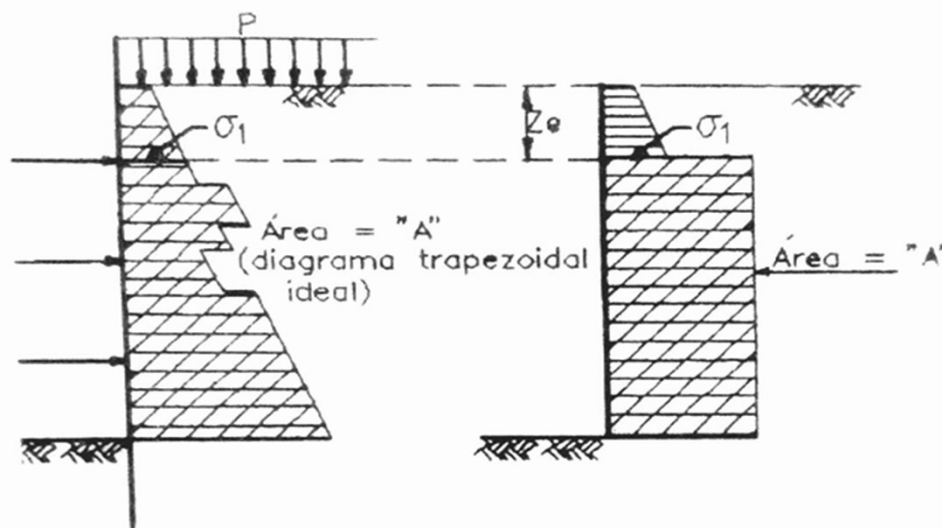


Fig. 15.20 - Diagramas de empuxo ativo e o equivalente retificado para maciço sem trinca de tração

Esforços – Empuxos em contenções escoradas

- Escoramento com uma linha de escoras + ficha

- Determinar a ficha para equilibrar o momento no ponto R:

$$l_p \times \frac{E_{ph}}{CS} = l_a \times E_{ah}$$

- CS = 1,5 para obras provisórias
 - CS = 2,0 para obras permanentes

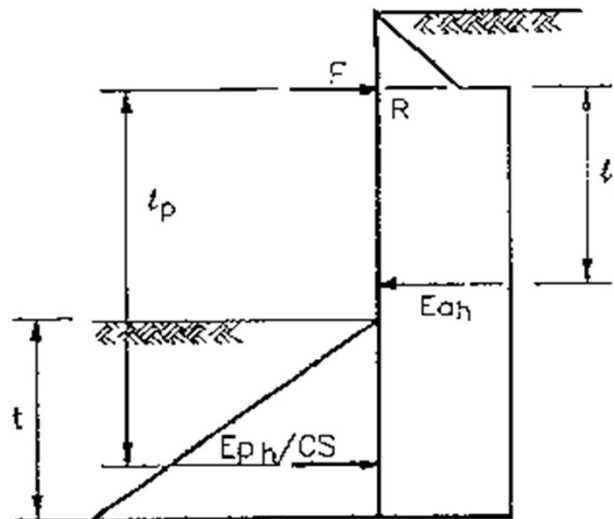
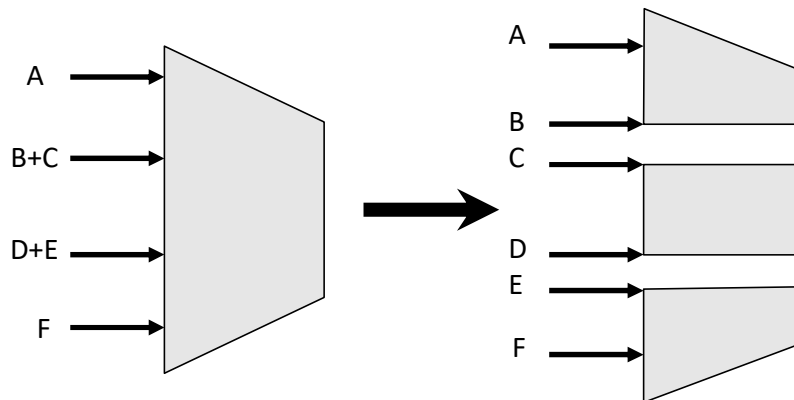


Fig. 15.23 - Diagramas de empuxos para parede de contenção com um nível de escoras

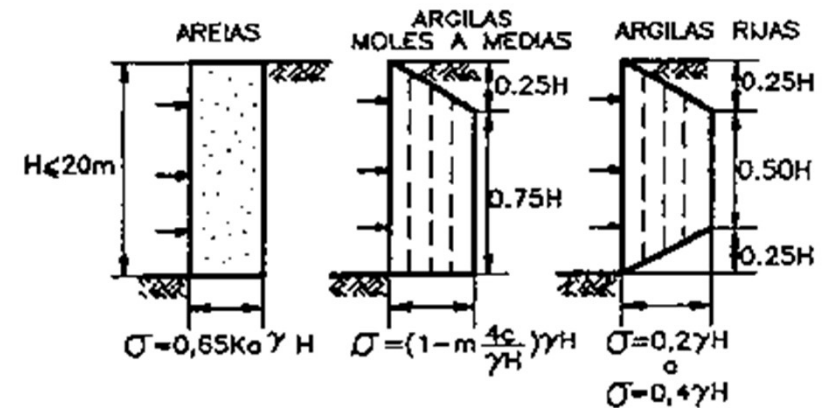
Esforços – Empuxos em contenções escoradas

• Multiplas linhas de estroncas:

- Pode-se utilizar os diagramas retificados de empuxo e calcular os esforços de reação como uma viga contínua.
- Uso de envoltórias de empuxo empíricas para a determinação dos esforços nas linhas de estroncas



Envoltórias de empuxo de Terzaghi e Peck (1967)

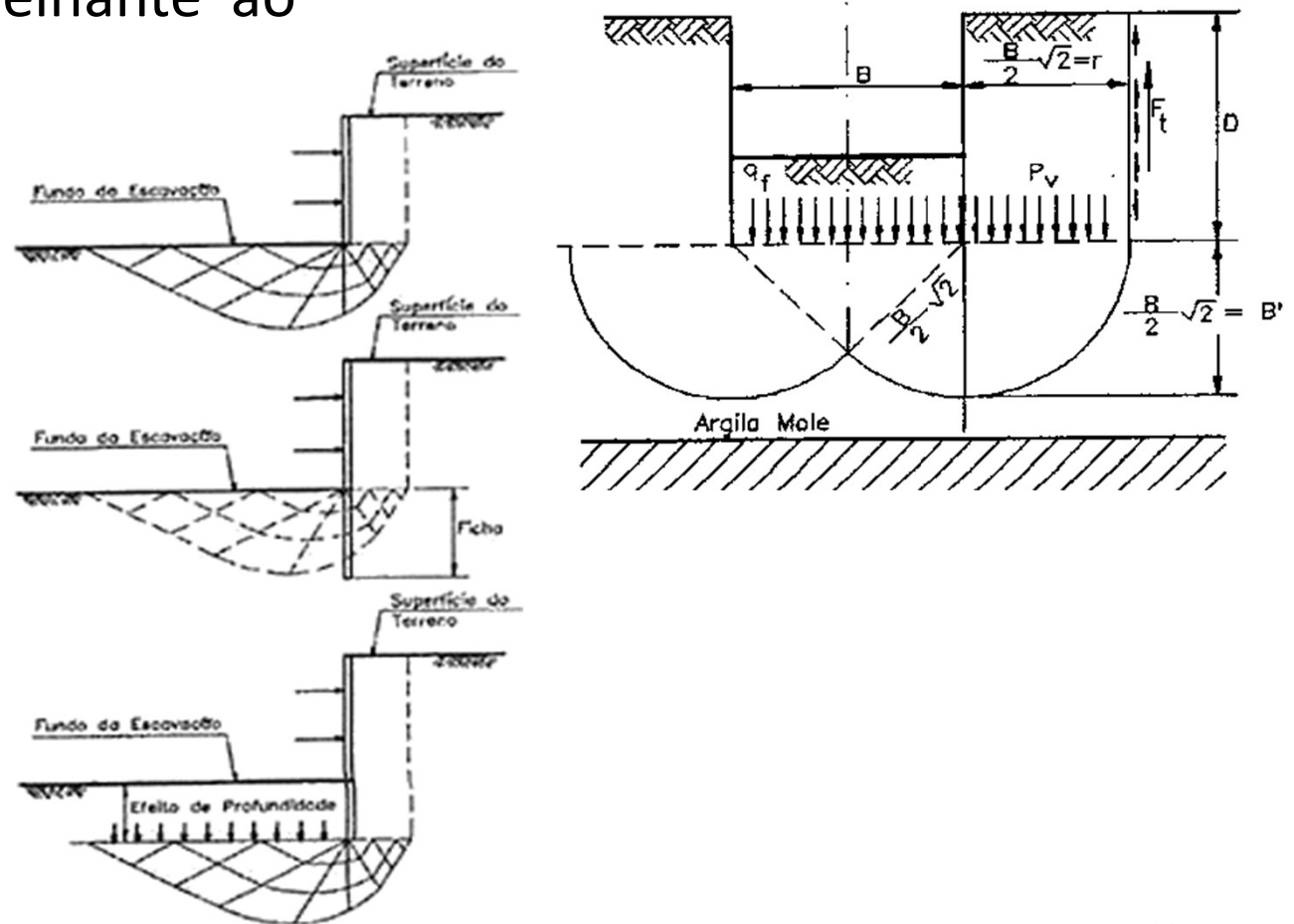


$m=1$ para as argilas plásticas
 $m=0,4$ para $\frac{\gamma H}{c} \geq 6$ e houver argila mole mais abaixo do fundo de escavação

Ruptura de fundo de valas

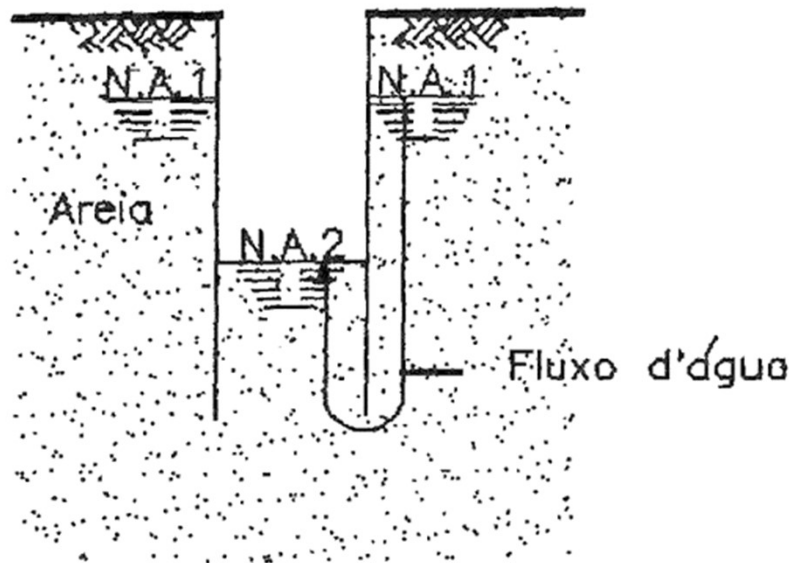
- Mecanismo de ruptura semelhante ao de uma fundação direta
- Efeito favorável da ficha

$$FS = \frac{c \cdot N_c}{\gamma H + q}$$

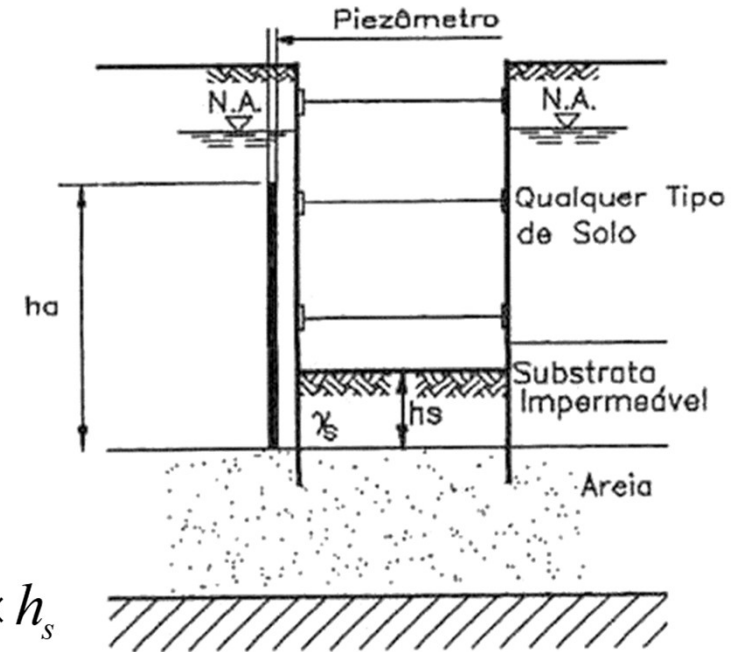


Efeito da água em valas

Erosão interna - Piping



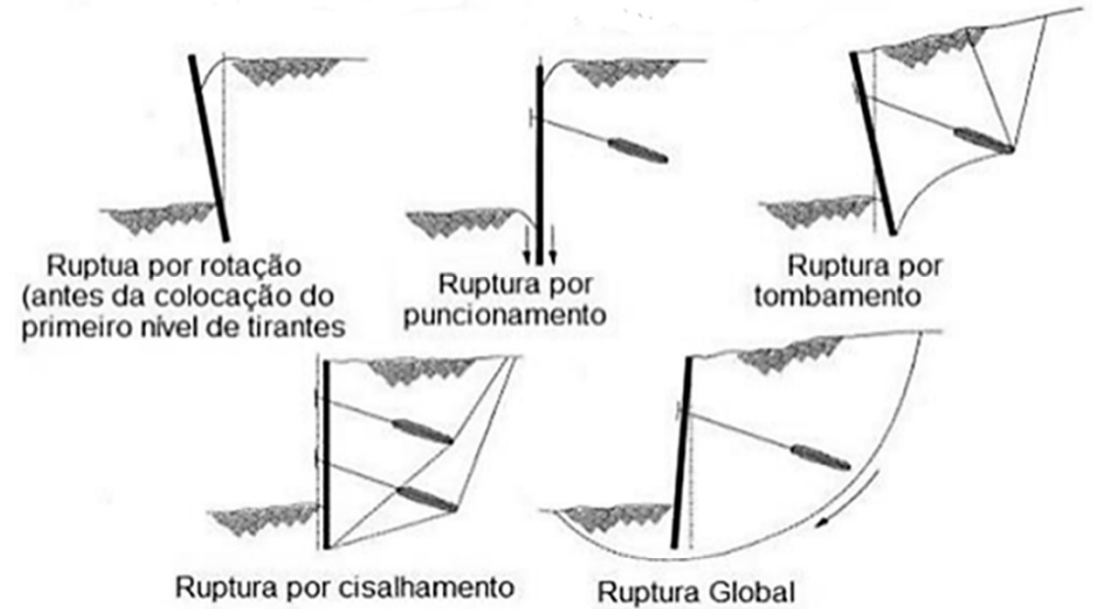
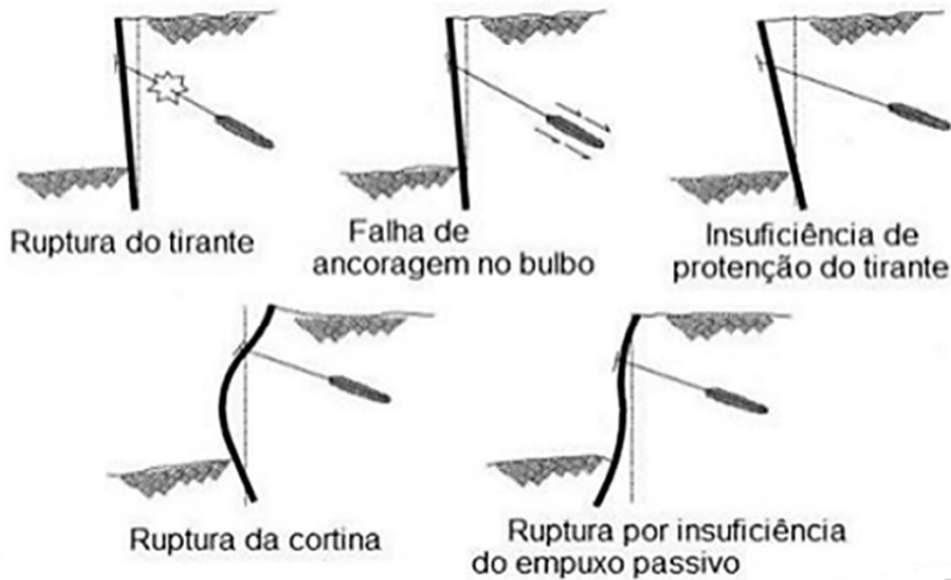
Ruptura hidráulica do fundo (Blow)



$$\gamma_a \times h_a = \gamma_s \times h_s$$

Dimensionamento de tirantes

Mecanismos de ruptura:



Dimensionamento de tirantes

- Métodos de cálculo - carga dos tirantes
 - Métodos simplificados
 - Kranz (1953) - Equilíbrio de forças
 - Método Brasileiro (Nunes e Veloso, 1963) - Análise limite
 - Ranke-Ostermayer/Pacheco e Danziger (2001) - Equilíbrio de forças
 - Análise limite - Superfícies circulares/complexas
 - Modelagem numérica - Elementos Finitos
- Adesão do bulbo
- Fundações da cortina

Dimensionamento de tirantes

- Kranz (1953) - Equilíbrio de forças

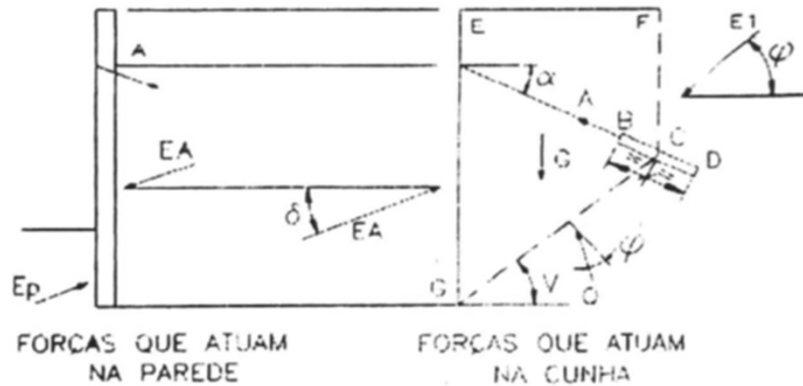


Figura 15.55 - Esquema das forças atuantes

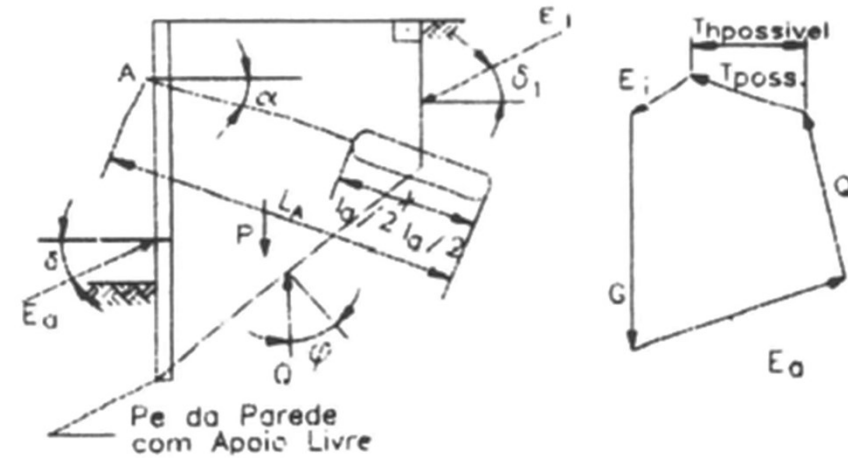


Figura 15.56 - Polígono de forças no Método de Kranz

$$CS = \frac{T_{m\acute{a}x}^h}{T_{atuante}^h}$$

Dimensionamento de tirantes

- Kranz (1953) - Equilíbrio de forças

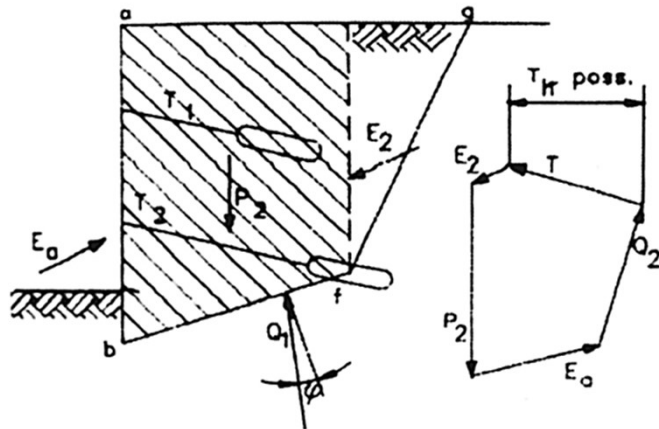
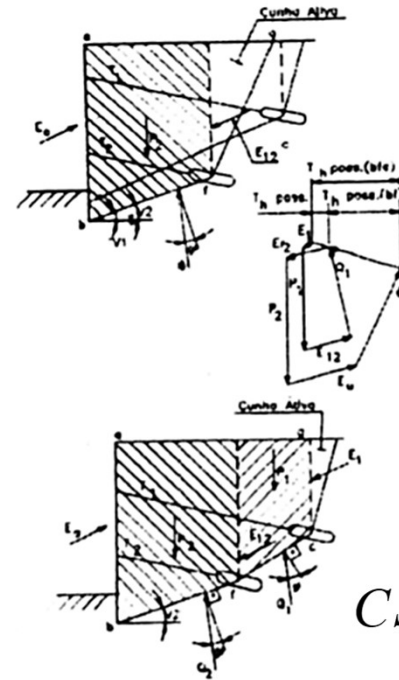


Figura 15.57 - Cunhas potenciais de ruptura para tirantes com comprimentos diferentes, com o primeiro nível mais curto

$$CS = \frac{T_{m\acute{a}x}^h}{T_{1atuante}^h + T_{2atuante}^h}$$



$$CS = \frac{T_{m\acute{a}x}^h}{T_{atuante}^h}$$

$$CS_{geral} = \frac{T_{m\acute{a}x}^h}{T_{1atuante}^h + T_{2atuante}^h}$$

Figura 15.58 - Cunhas potenciais de ruptura para tirantes com comprimentos diferentes, com o primeiro nível mais comprido

Dimensionamento de tirantes

- Método Brasileiro (Nunes e Veloso, 1963) - Análise limite

Parede vertical, sem talude no montante:

$$\theta_{crit} = 45^\circ + \frac{\phi'}{2}$$

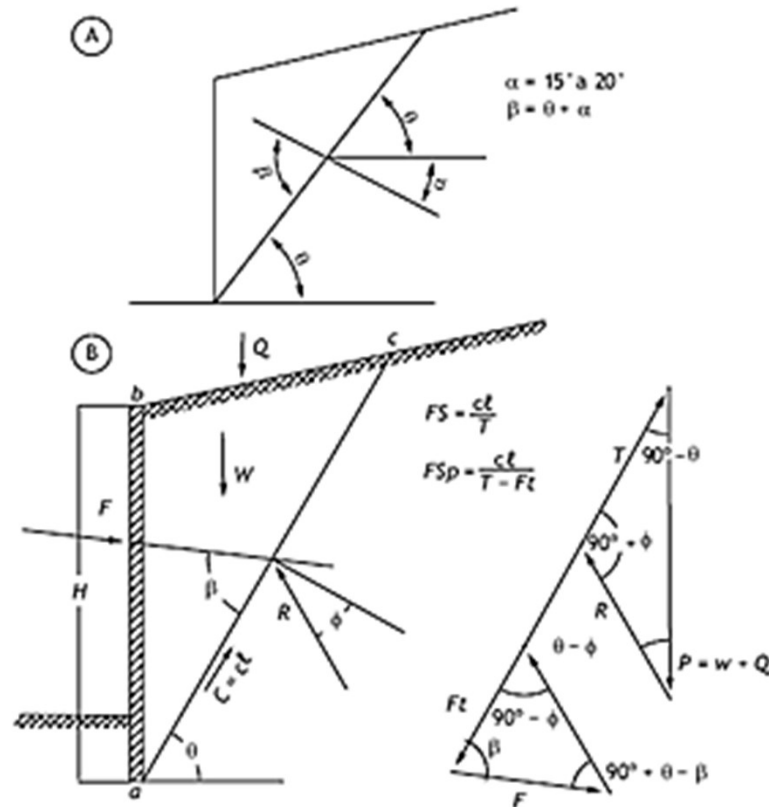
$$FS_{existente} = \frac{4c' \cdot \cos \phi'}{\gamma H (1 - \text{sen } \phi')}$$

Ângulo para onde dispensa tirantes:

$$FS_\theta = \frac{2c' \cdot \cos \phi'}{\gamma H \cos \theta \text{sen}(\theta - \phi')} = FS_{desejado}$$

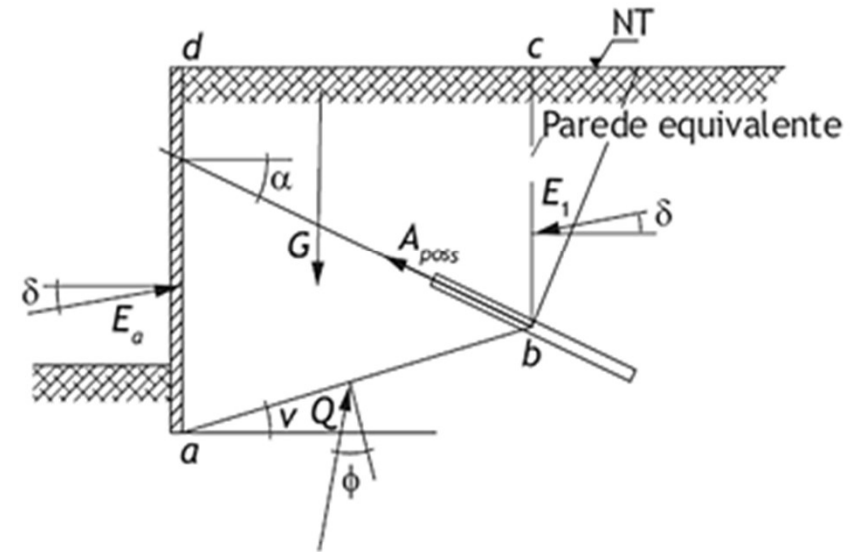
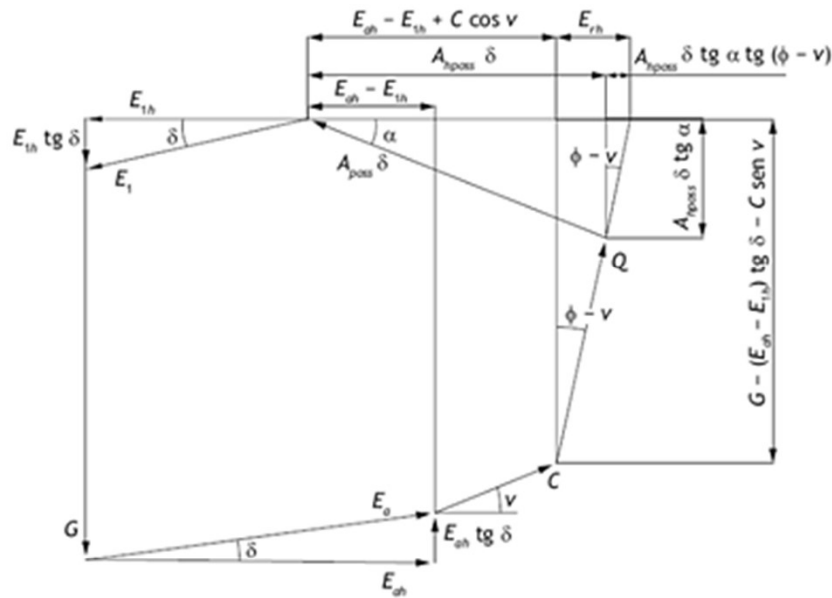
Definindo ângulo dos tirantes α

$$\lambda = \frac{FS_{desejado}}{FS_{existente}}$$

$$F = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \cdot W \cdot \frac{\text{sen}\left(45^\circ - \frac{\phi'}{2}\right)}{\cos\left(45^\circ - \frac{\phi'}{2} + \alpha\right)}$$


Dimensionamento de tirantes

- Ranke-Ostermayer/Pacheco e Danziger (2001) - Equilíbrio de forças



$$A_{hposs} = \frac{E_{ah} - E_{1h} + C \cos v + E_{rh}}{1 + \tan \alpha \tan(\phi - v)}$$

$$E_{rh} = [G - (E_{ah} - E_{1h}) \tan \delta - C \sin v] \tan(\phi - v)$$

$$FS = \frac{A_{hposs}}{A_{nexistente}}$$

Dimensionamento de tirantes

- Análise limite - Estabilidade global

Tabela B.1 – Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Tabela B.2 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais graves, como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Dimensionamento de tirantes

- Análise limite - Estabilidade global

Name: Solo residual
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 15 kPa
Phi: 36 °

Name: Rocha
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 40 kPa
Phi: 50 °

Name: face
Unit Weight: 19 kN/m³

Name: Aterro
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 6 kPa
Phi: 27 °

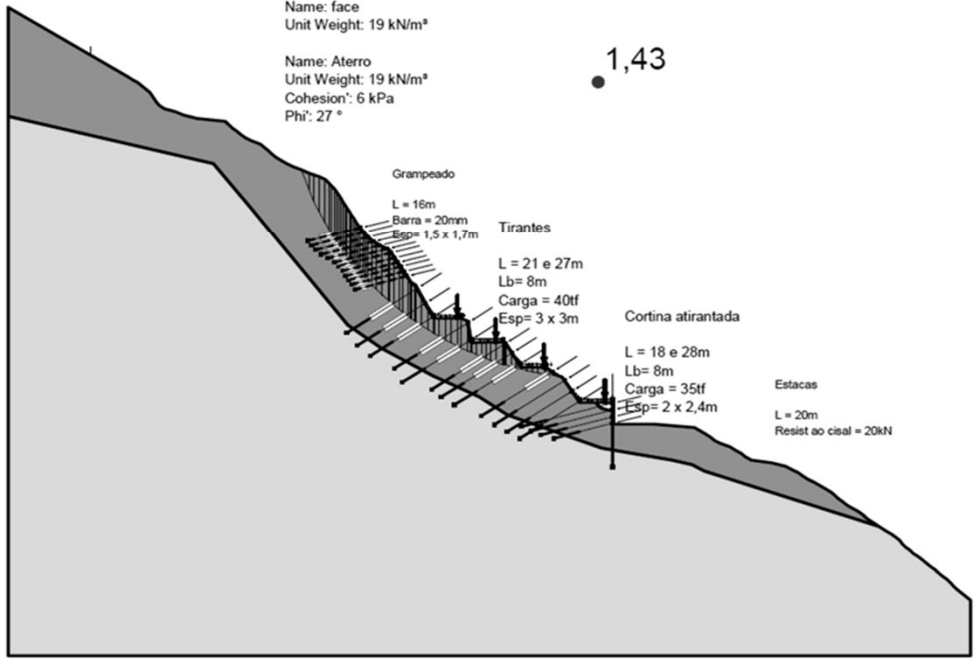


Tabela B.3 – Fatores de segurança mínimos para ruptura global de tirantes permanentes

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Dimensionamento de tirantes

- Modelagem numérica - Elementos Finitos

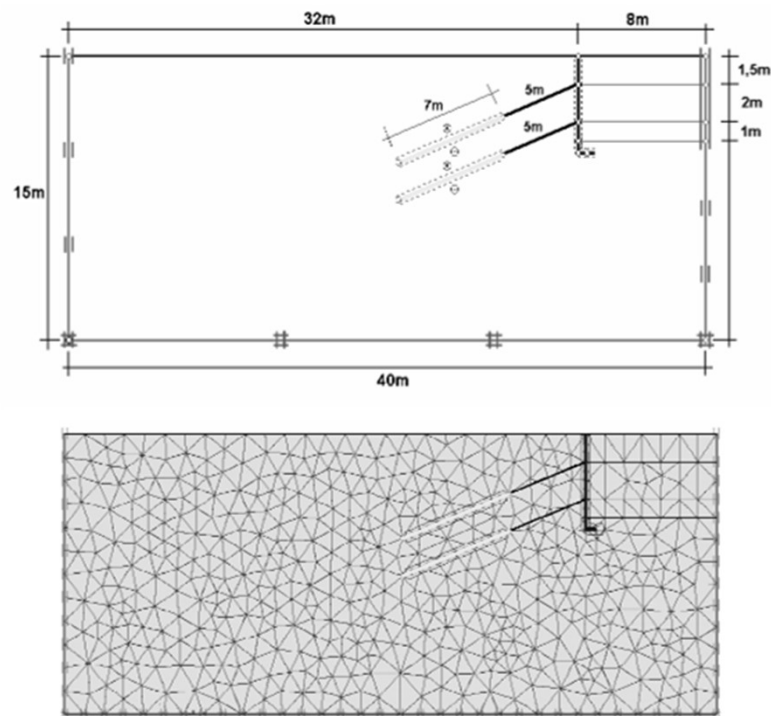
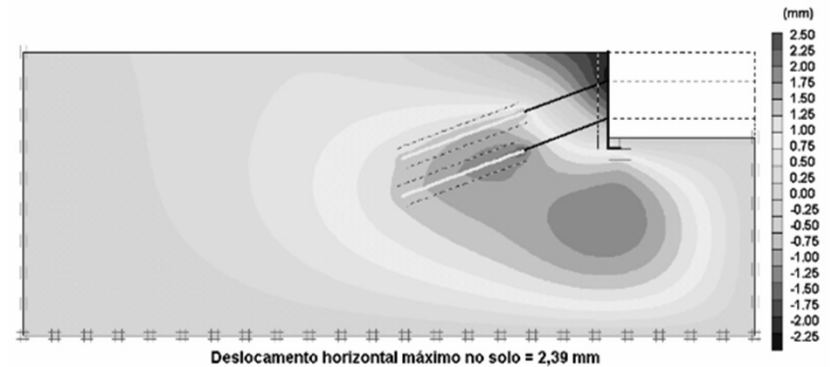
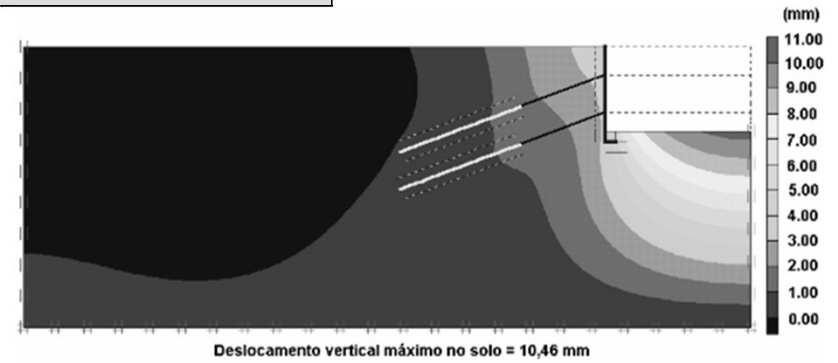


Figura 4.7 – Geometria do problema e malha de elementos finitos triangulares quadráticos (15 nós).



Péres More (2003) - Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos,
Diss. Mestrado. PUC Rio

Dimensionamento de tirantes

- Modelagem numérica - Elementos Finitos

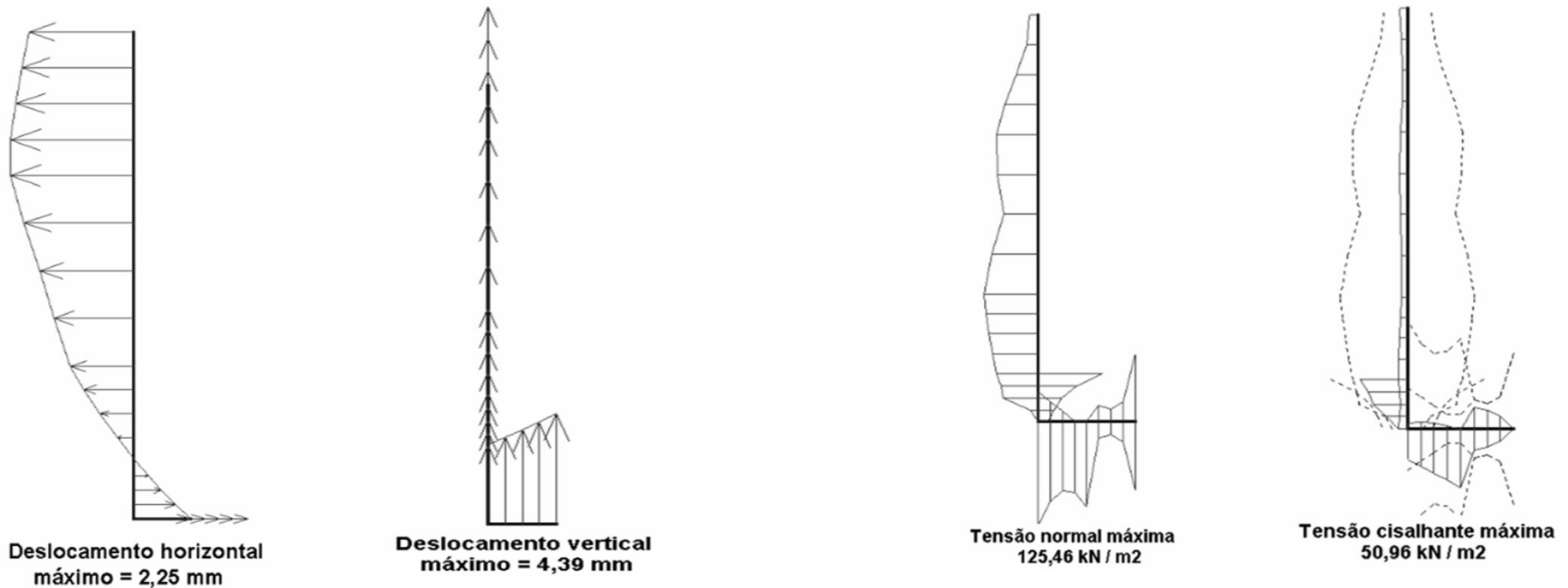


Figura 4.10 – Componentes de deslocamento e de tensões na cortina ancorada.

Péres More (2003) - Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos, Diss. Mestrado. PUC Rio

Dimensionamento de tirantes

- Modelagem numérica - Elementos Finitos

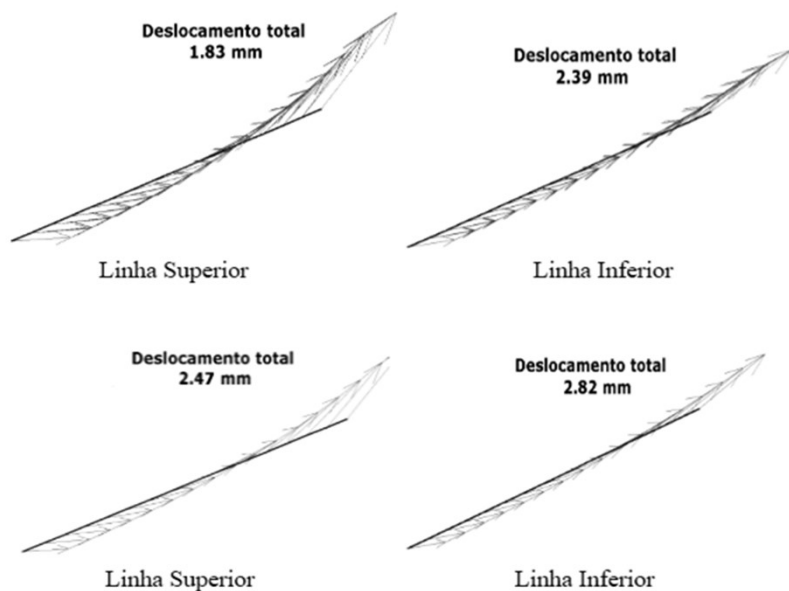


Figura 4.11 – Deslocamentos totais previstos para o solo de interface (acima) e bulbos (abaixo) nas linhas de tirante superior e inferior.

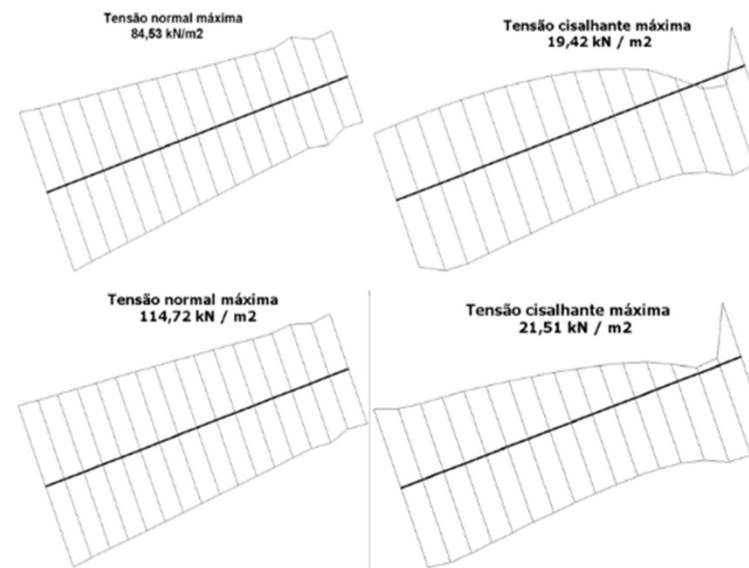


Figura 4.12 – Distribuição de tensões ao longo do bulbo para as linhas de tirante superior (acima) e inferior (abaixo).

Dimensionamento de tirantes

- Modelagem numérica - Elementos Finitos

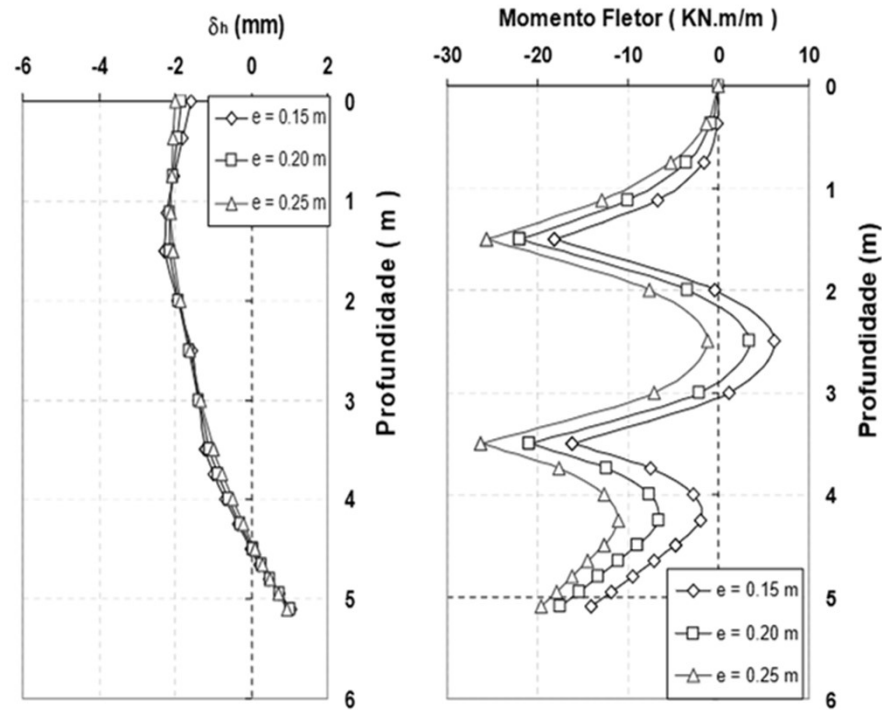


Figura 4.13 – Influência da espessura da cortina nos deslocamentos horizontais e distribuição dos momentos fletores.

Péres More (2003) - Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos, Diss. Mestrado. PUC Rio

Dimensionamento de tirantes

• Adesão do bulbo

Ostermayer (1970)

Onde,

T_L : capacidade de carga do bulbo (kN);

D_p : diâmetro perfurado (m);

n_d : fator de aumento do diâmetro pela pressão de injeção;

L_b : comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

n_1 : fator de redução do comprimento do bulbo devido à pressão sobre o mesmo não ser uniforme. (Comprimentos até 8 metros, $n_1=1$);

$q_s = \tau$: aderência na ruptura ou resistência ao cisalhamento na interface solo-bulbo (kN/m²);

c : aderência entre a calda e o solo, face à irregularidade do bulbo, pode-se usar c igual à coesão real do solo;

γ : peso específico do solo;

h : profundidade do centro do bulbo;

n_h : fator de redução da profundidade. (Valores maiores que 9 metros $n_h = 1$);

ϕ : ângulo de atrito do solo;

σ'_v : tensão vertical efetiva no ponto médio do bulbo;

σ'_r : pressão residual efetiva de injeção no ponto médio do bulbo, (pode ser estimada como 50% da pressão de injeção aplicada) – é limitada ao valor da ruptura hidráulica do terreno e variável em função da profundidade e tipo do terreno.

$$T_L = \pi D_p n_d L_b n_1 q_s \quad (11)$$

$$q_s = \tau = c + (\sigma'_v + \sigma'_r) \operatorname{tg} \phi \quad (12)$$

$$q_s = c + (\gamma h n_h + \sigma'_r) \operatorname{tg} \phi \quad (13)$$

Dimensionamento de tirantes

$$D_s = \beta \cdot D_p$$

$$q_s = 10 \cdot \kappa \cdot \left(\frac{SPT}{3} + 1 \right)$$

Onde,

T_L : capacidade de carga do bulbo (kN);

D_s : diâmetro médio do bulbo (m);

L_b : comprimento do trecho ancorado do tirante (bulbo) (m);

q_s : resistência ao cisalhamento (kN/m²);

D_p : diâmetro perfurado do furo (m);

β : coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção;

κ : coeficiente de ancoragem (kN/m²) – pode ser obtido através da Tabela 11.

Tabela 11 – Parâmetro de dimensionamento

Solo predominante	β	Valores de K (kN/m ²)	
		Valores com 80 % de confiança	Valor mais provável
Argila siltosa	2,1	1,2 a 1,29	1,25
Argila arenosa	2,1	0,9 a 1,01	0,95
Silte argiloso	1,97	2,37 a 2,77	2,57
Silte	2,11	2,04 a 2,28	2,16
Silte arenoso	2,25	1,7 a 1,78	1,74
Areia argilosa	2,2	2,57 a 2,77	2,67
Areia siltosa	2,2	2,10 a 2,37	2,24

Fonte: (PORTO, 2015).

Adesão do bulbo

Bustamante (1985)

Tabela 10 – Coeficiente de majoração do diâmetro do bulbo devido à injeção (β)

Tipo de solo	Coeficiente β	
	Com reinjeção	Sem reinjeção
Cascalho	1,8	1,3 - 1,4
Cascalho arenoso	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4
Areia com cascalho	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3
Areia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Areia média	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Areia fina	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Areia siltosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2
Silte	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2
Argila	1,8 - 2,0	1,2

Fonte: (BUSTAMANTE; DOIX, 1985 apud PORTO, 2015).

$$T_L = \pi \cdot D_s \cdot L_b \cdot q_s$$

Dimensionamento de tirantes

Fundação da cortina

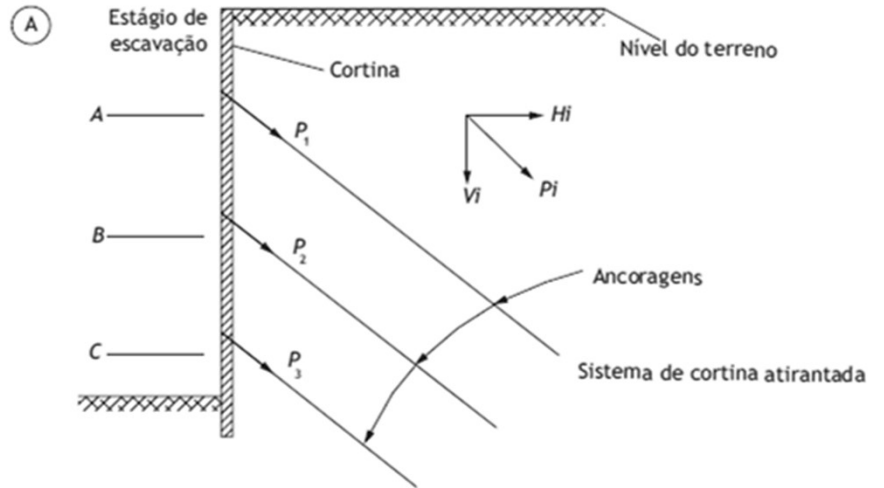
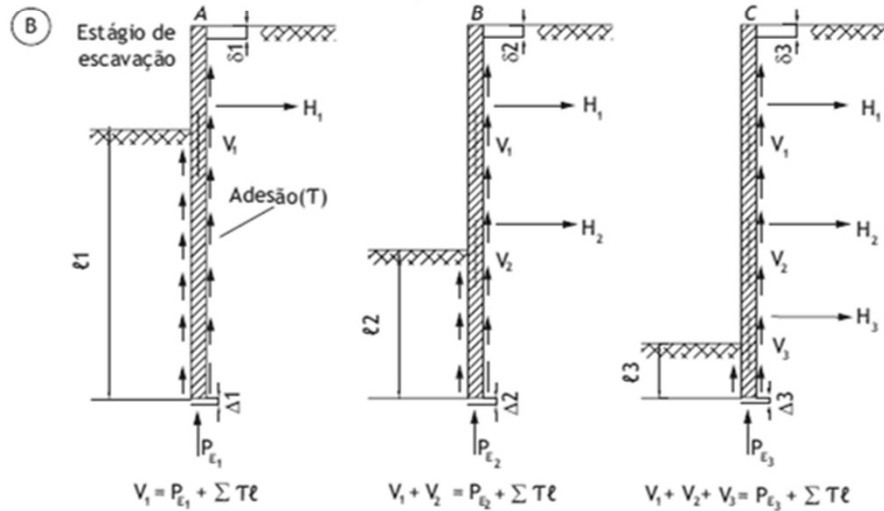
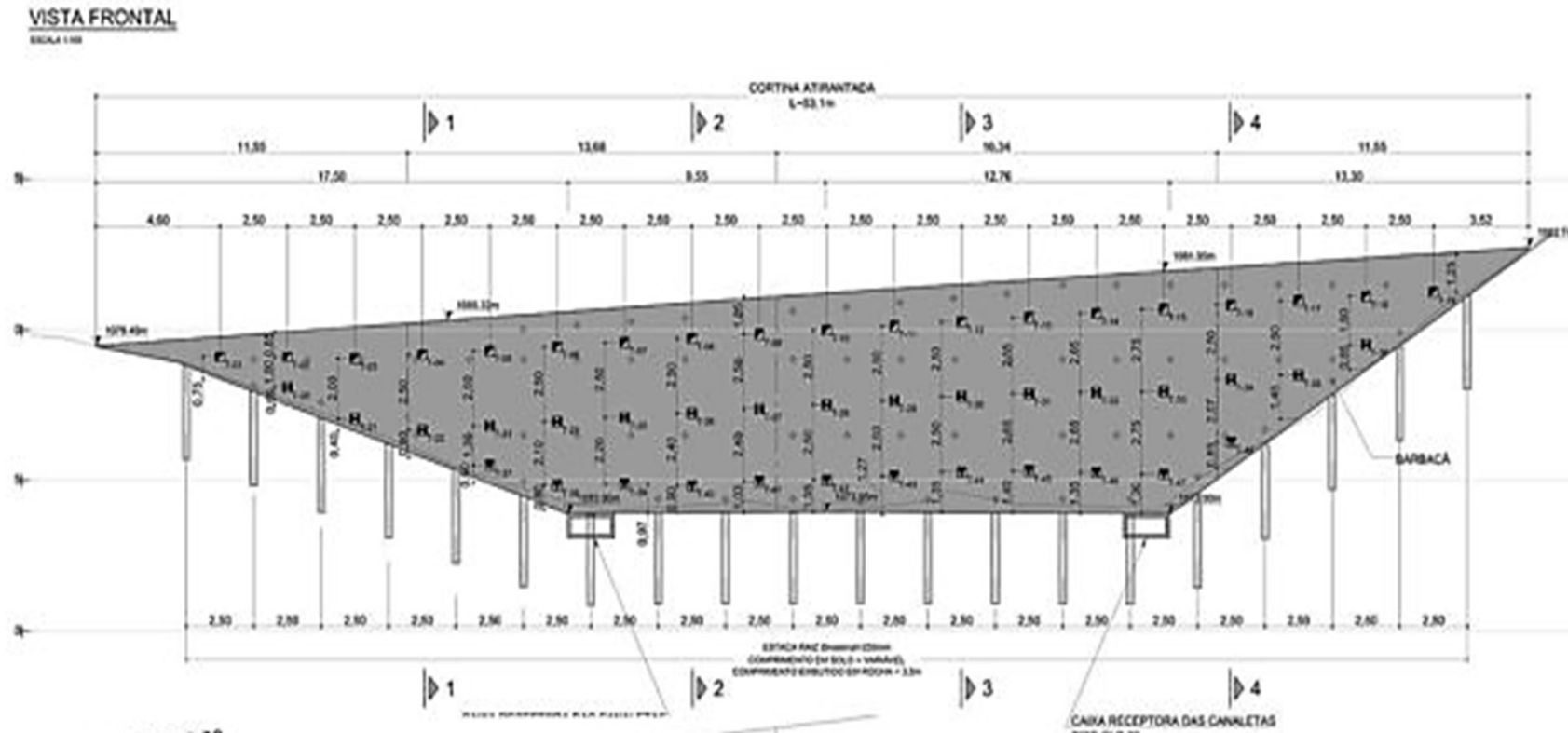


Fig. 7.31 Sistema de forças que atuam numa cortina atirantada idealizado. Nota: $H_1 + H_2 + H_3 = \text{área sob diagrama de pressão}$; os valores de P_1, P_2 e P_3 podem mudar enquanto a escavação continuar; o ensaio de recebimento do tirante odificará temporariamente a distribuição de carga. Fonte: Hanna (1982).

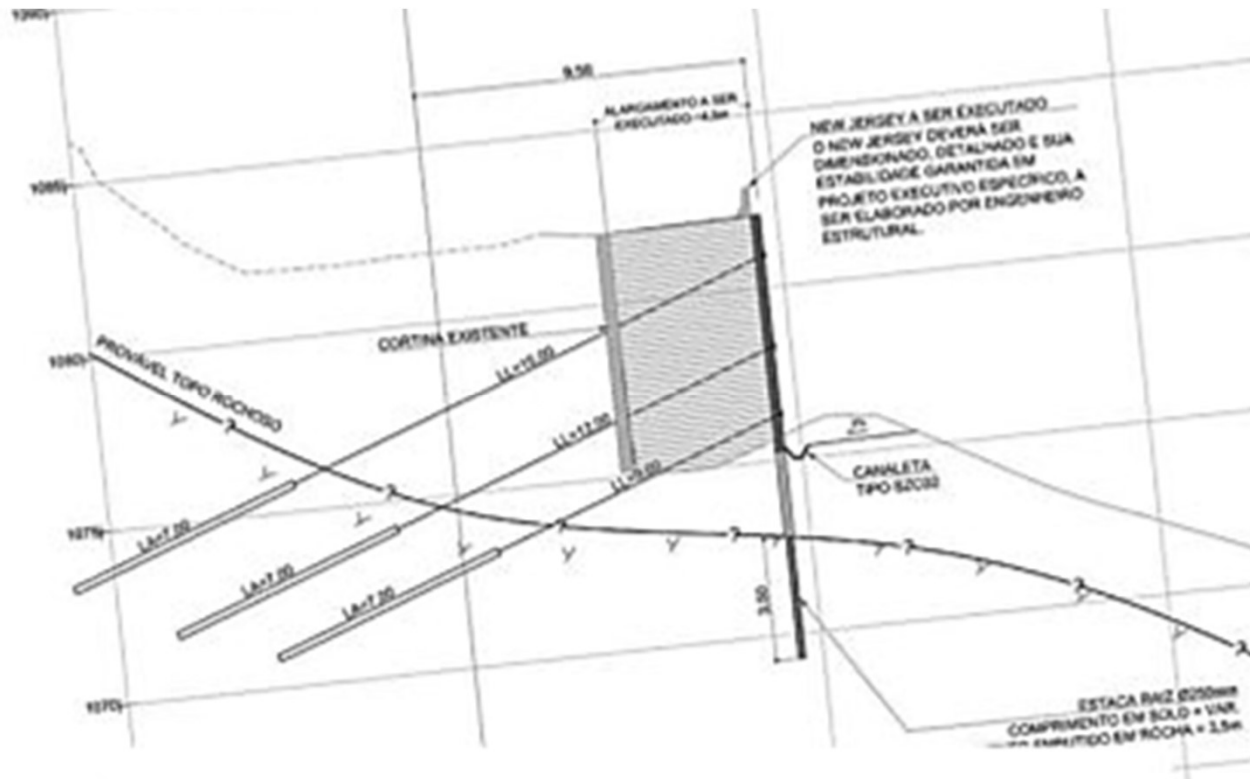


Exemplo – Projeto de Tirantes



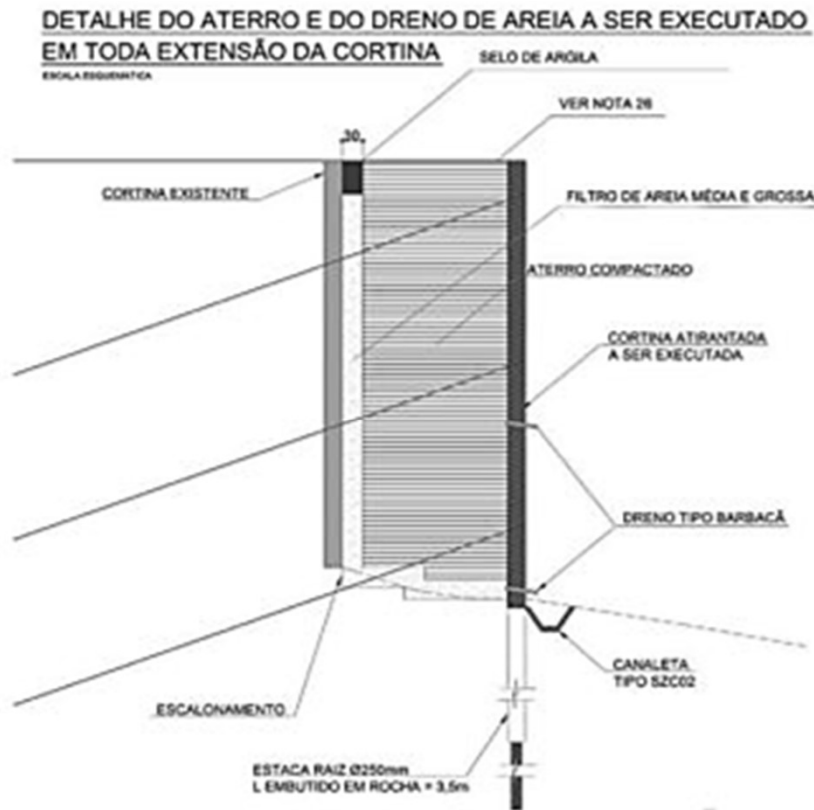
Fonte: seel.com.br

Exemplo – Projeto de Tirantes



Fonte: seel.com.br

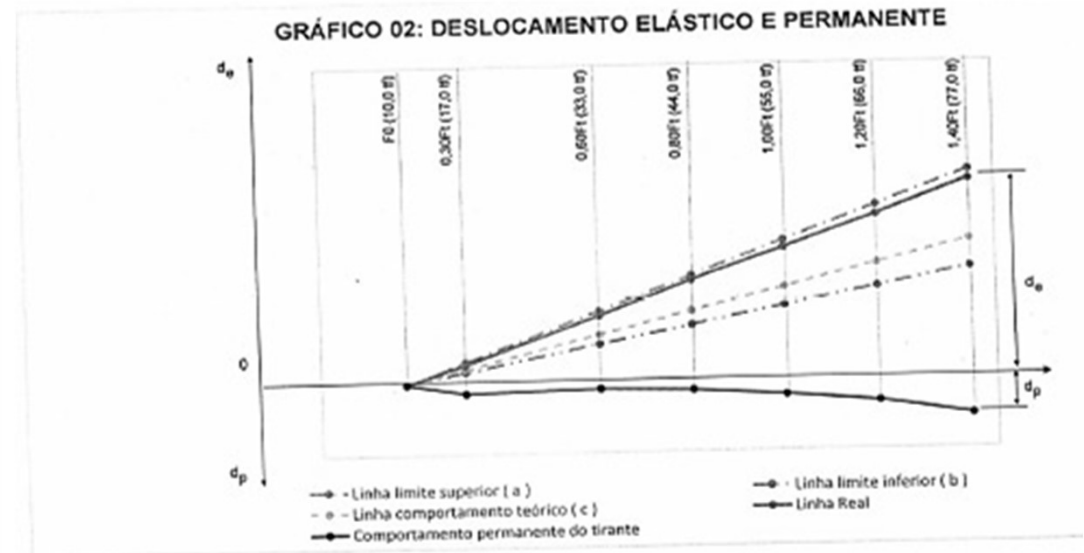
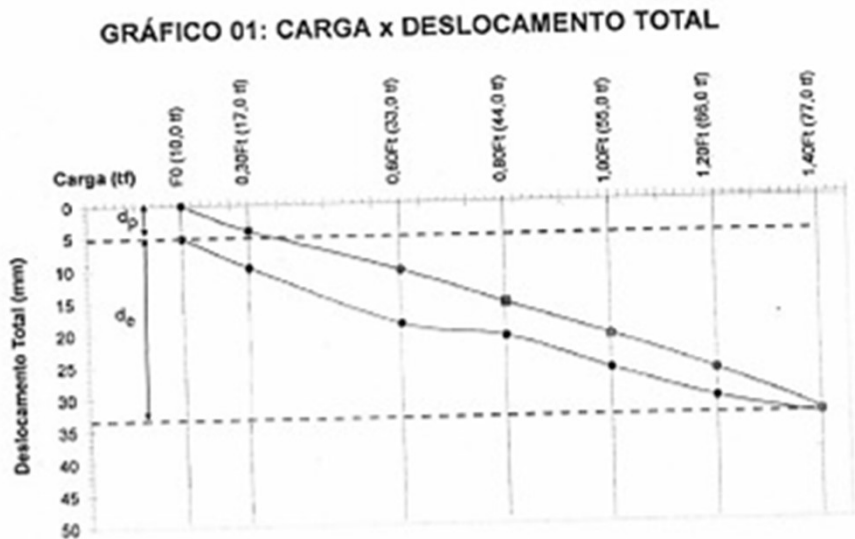
Exemplo – Projeto de Tirantes



Fonte: seel.com.br

Ensaio de Recebimento em Tirantes

- Controla capacidade de carga e comportamento de todos os tirantes de uma obra.



- Deformação de 20,92 mm correspondente à carga de trabalho do tirante (55,0 tf).
- Deformação máxima de 33,39 mm correspondente à carga máxima do ensaio (77,0 tf).
- Deformação elástica de 28,21 mm (total).
- Deformação permanente de 5,19 mm, correspondente à carga inicial (10,0 tf).

