



# Estruturas de Contenção

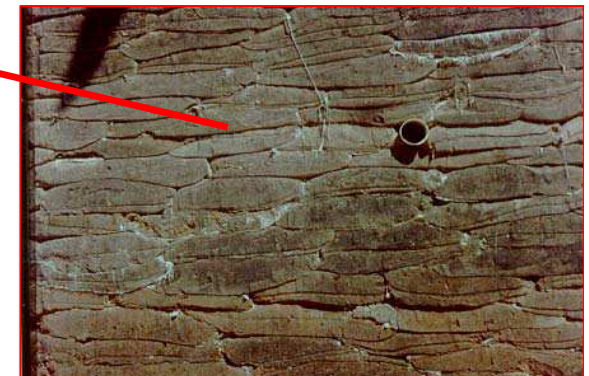
Marcio Varela

# Muro de Arrimo

- A designação “**Muros de Arrimo**” é utilizada de uma forma genérica para referir-se a qualquer estrutura construída com a finalidade de servir de contenção ou arrimo a uma determinada massa de solo “instável”, ou seja, que tem a possibilidade de se movimentar para baixo, à partir da sua ruptura por cisalhamento.



muro em solo-cimento - bairro de N. S. de Lurdes (J. Fora)



- Os principais tipos de estruturas de contenção são os seguintes:
  - Muros de peso: alvenaria de pedras, concreto gravidade, gabiões, solo-pneus, solo reforçado e sacos de solo-cimento;



muro em solo-cimento



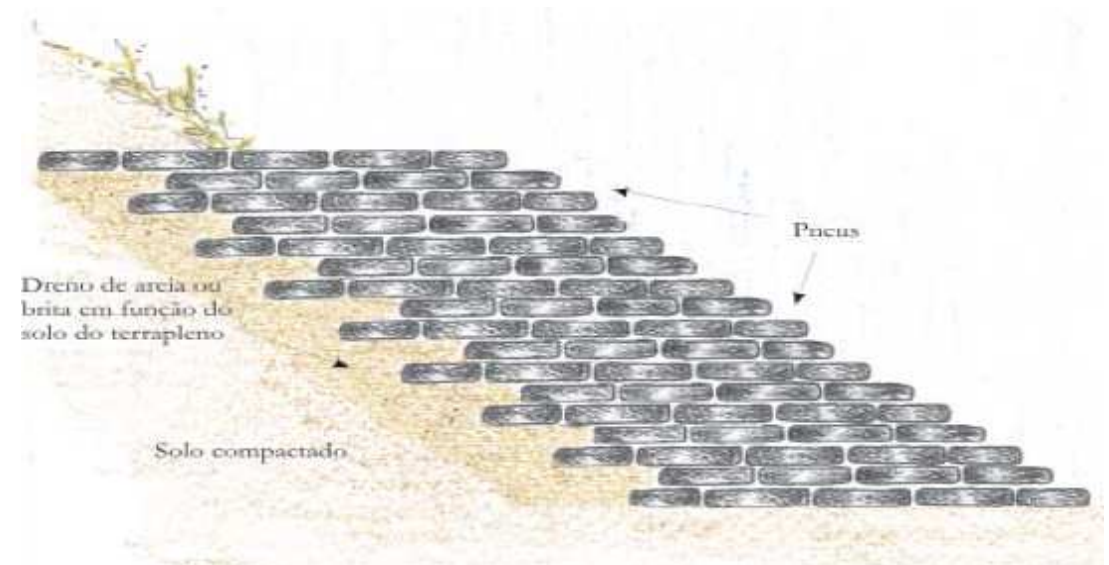
muro em pedras arrumadas manualmente em gaiolas metálicas – gabiões



muro em concreto ciclópico - bairro Aeroporto (J. Fora)



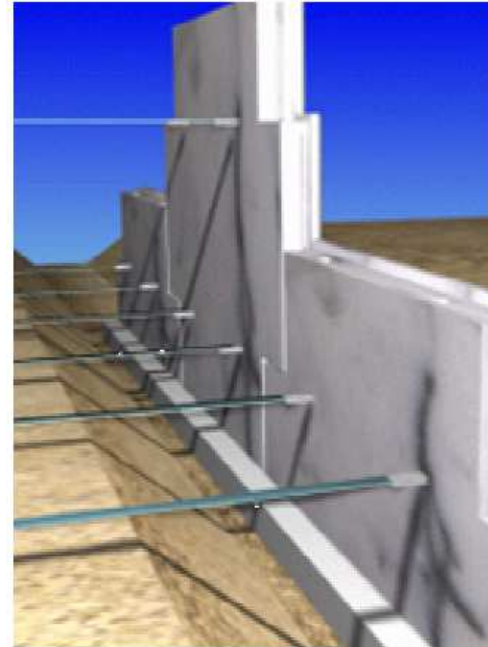
muro solo-pneu



- Muros de concreto armado: seção em L, com contrafortes, cortina atirantada;



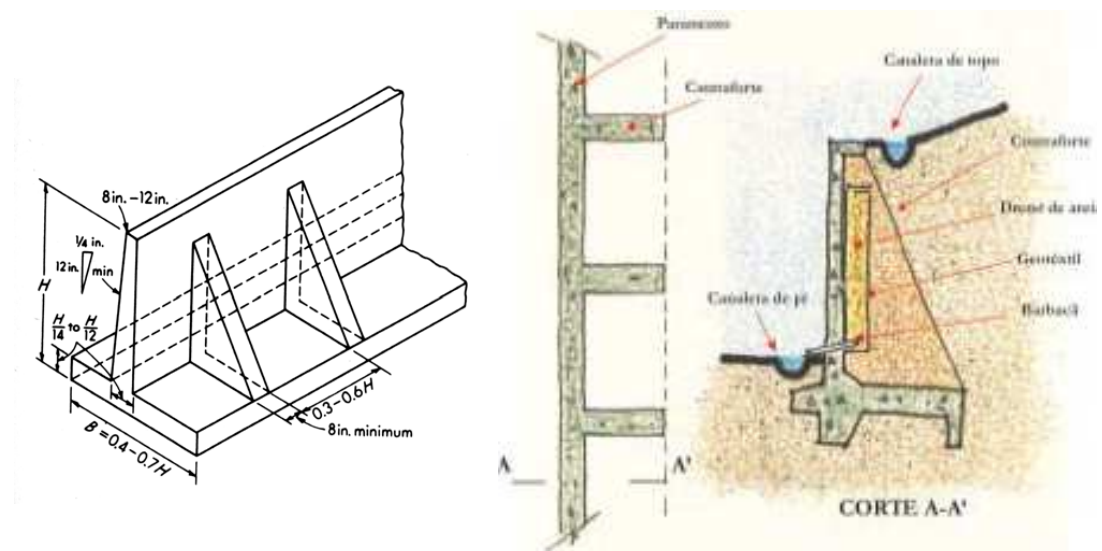
muro em cortina atirantada



Terra armada



muro em L com contrafortes

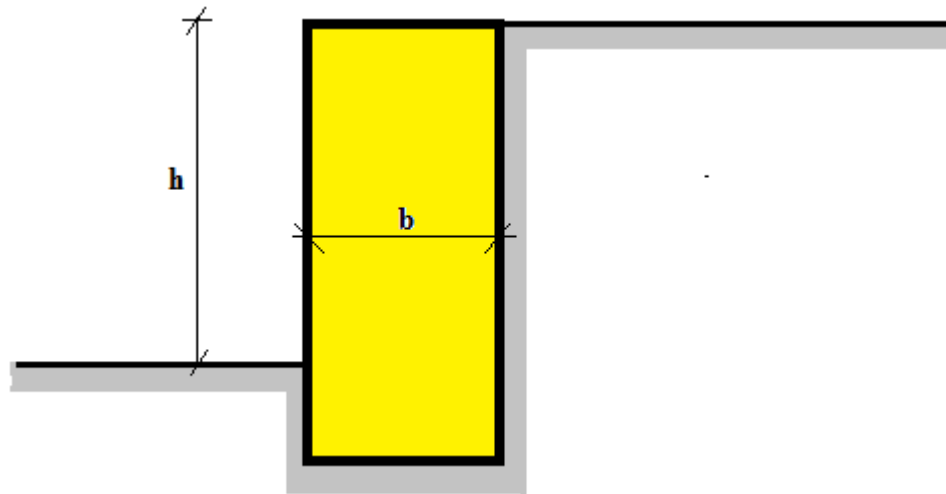


# Muro de Arrimo

- Pré Dimensionamento

- Perfil Retangular

- Econômico somente para pequenas alturas.
    - a) Muro em Alvenaria de tijolos
    - $b = 0,40.h$
    - b) Muro de alvenaria de Pedra ou de concreto ciclópico:
    - $b = 0,30.h$



# Muro de Arrimo

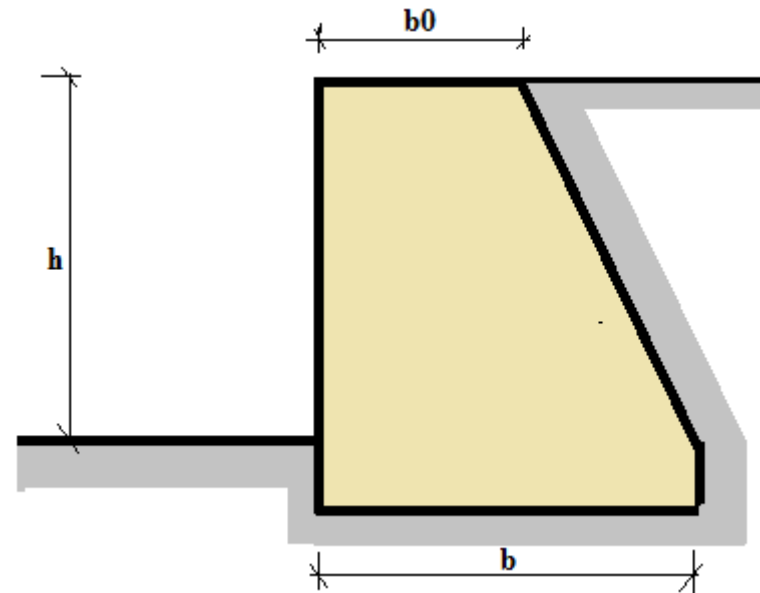
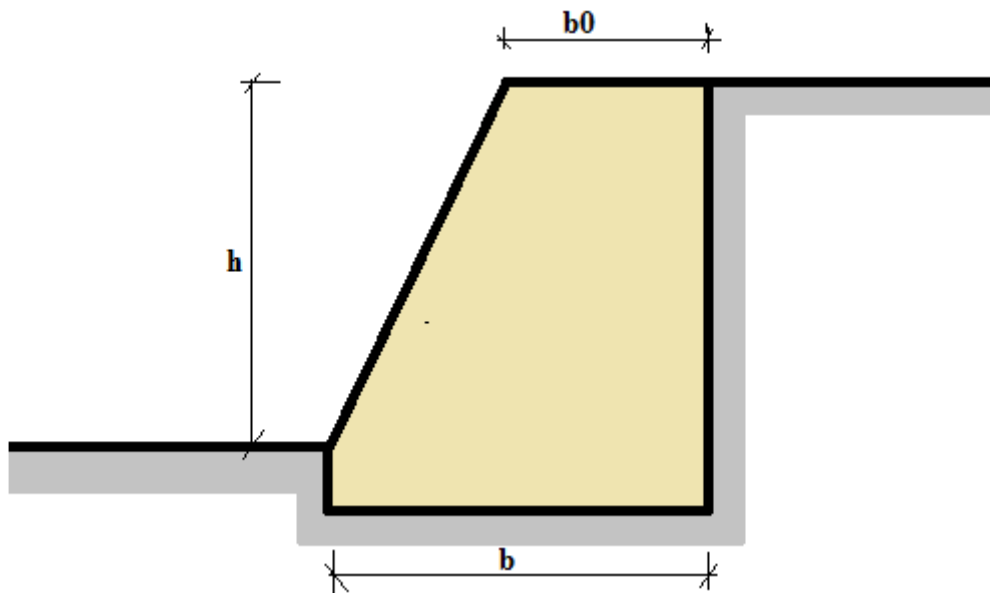
- Pré Dimensionamento

- Perfil Trapezoidal

- a) Concreto Ciclópico

- $b_0 = 0,14.h$

- $b = b_0 + h/3$



# Muro de Arrimo

- Pré Dimensionamento

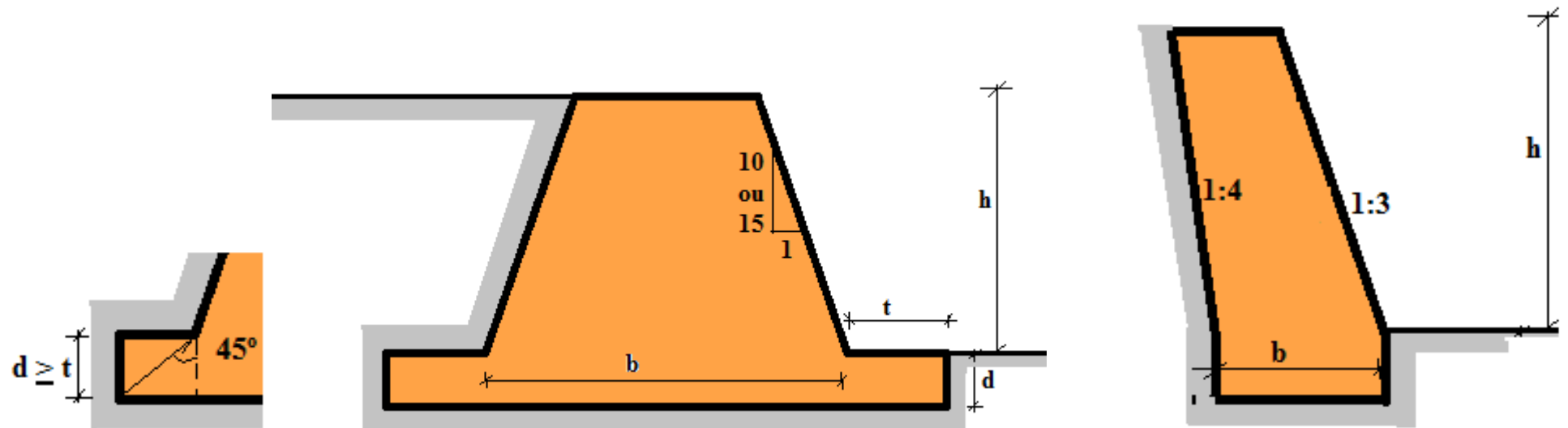
- Perfil Trapezoidal

- b) Alvenaria de Pedra ou Concreto Ciclóptico

- $t = h/6$

- $b = h/3$

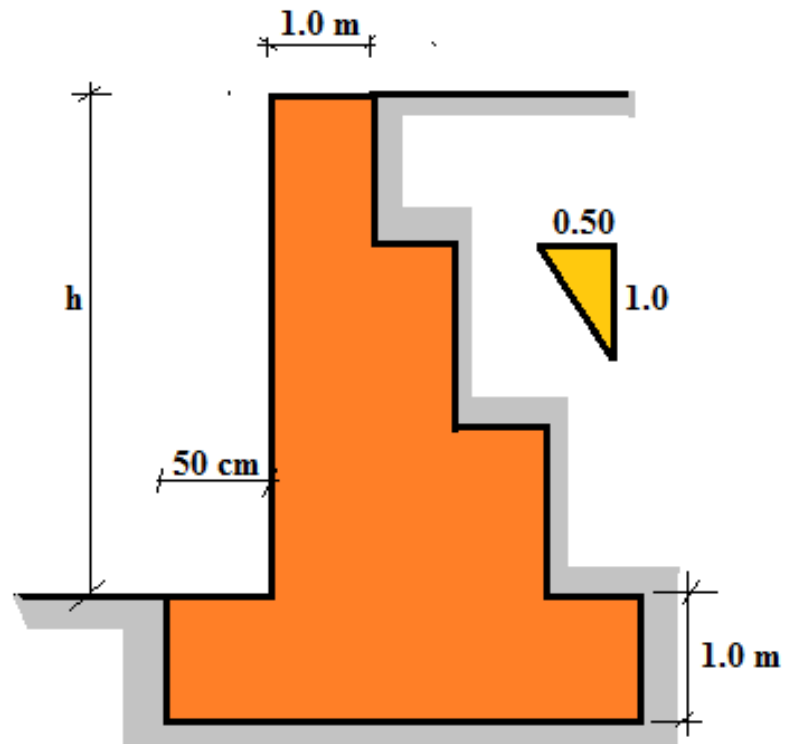
- $d \geq t$





# Muro de Arrimo

- Pré Dimensionamento
  - Perfil Escalonado
    - Dimensionamento em função da massa específica do material e do empuxo.



# Muro de Arrimo

- Dimensionamento
  - Estabilidade das Estruturas de Arrimo
  - Equilíbrio Estático:
  - Verificação ao deslizamento ou translação.

$$\sum N = \text{Cargas verticais}$$

$$\sum T = \text{Cargas horizontais}$$

*coeficiente de segurança contra escorregamento*

$$\varepsilon_{\text{esc}} = 1,5$$

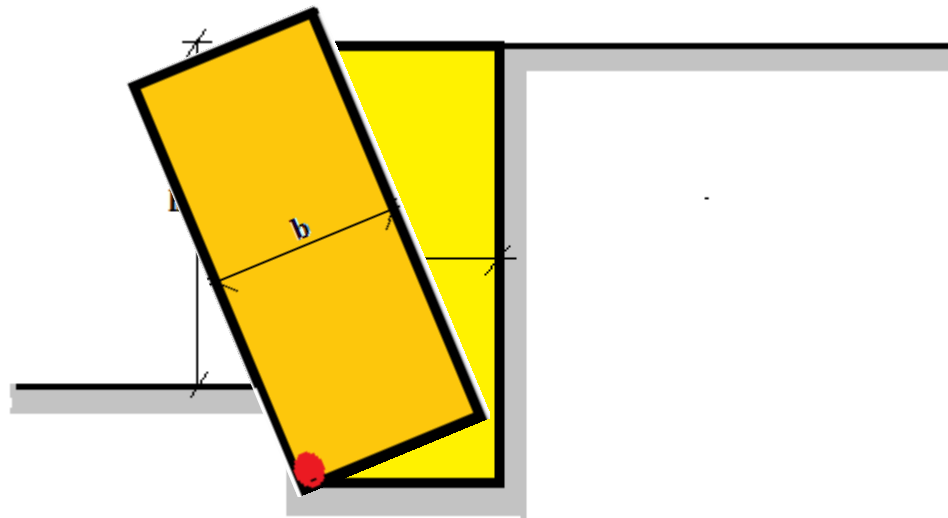
*coeficiente de atrito solo muro*

$$\begin{cases} \text{solo seco/concreto} - \mu = 0,55 \\ \text{solo saturado/concreto} - \mu = 0,30 \end{cases}$$

# Muro de Arrimo

- Dimensionamento
  - Estabilidade das Estruturas de Arrimo
  - Equilíbrio Estático:
  - Verificação ao Tombamento:

$\sum M =$  Momentos de Tombamento



# Muro de Arrimo

## ■ Exemplo Prático

□ Dimensionamento de um Muro de Arrimo em concreto ciclópico.

■ Dados:

■  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

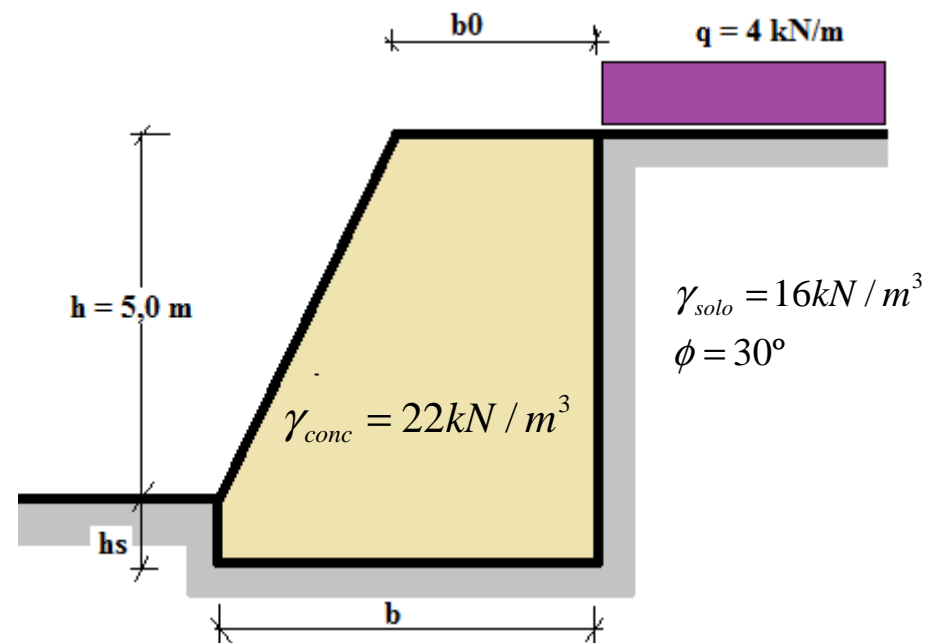
■ Coeficiente de atrito  $\mu = 0,55$

■ Coeficientes de segurança:

□ Escorregamento:  $\epsilon_1 = 1,5$

□ Tombamento:  $\epsilon_2 = 1,5$

■ Tensão admissível do solo:  $2,0 \text{ kgf/cm}^2$



# Muro de Arrimo

- Pré Dimensionamento

- Largura do Topo

$$b_0 = 0,14 \cdot h$$

$$b_0 = 0,14 \cdot 5,0$$

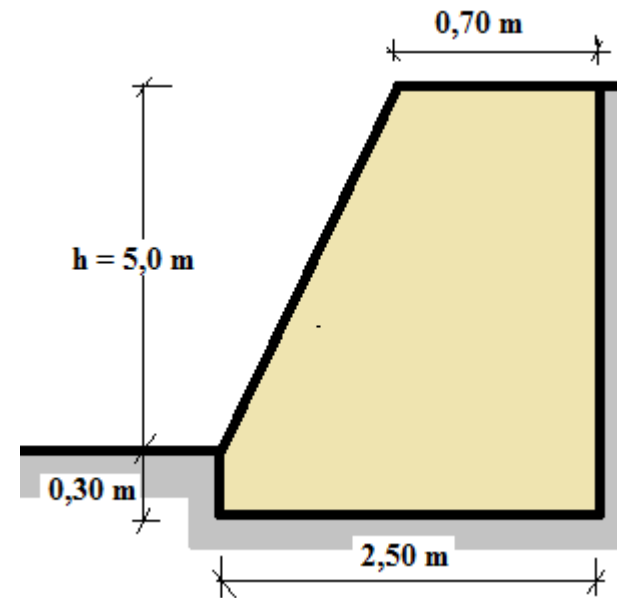
$$b_0 = 0,70m$$

- Largura da Base

$$b = b_0 + \frac{h}{3}$$

$$b = 0,70 + \frac{5,0}{3}$$

$$b = 2,37m \cong 2,50m$$



- **hs** = trecho enterrado, servindo de sapata ( depende do solo) =  $0,30 \text{ m}$

# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- Cálculo do Empuxo do solo

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) = 0,33$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_{\text{solo}} \cdot h^2$$

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot 0,33 \cdot 16 \cdot 5,0^2$$

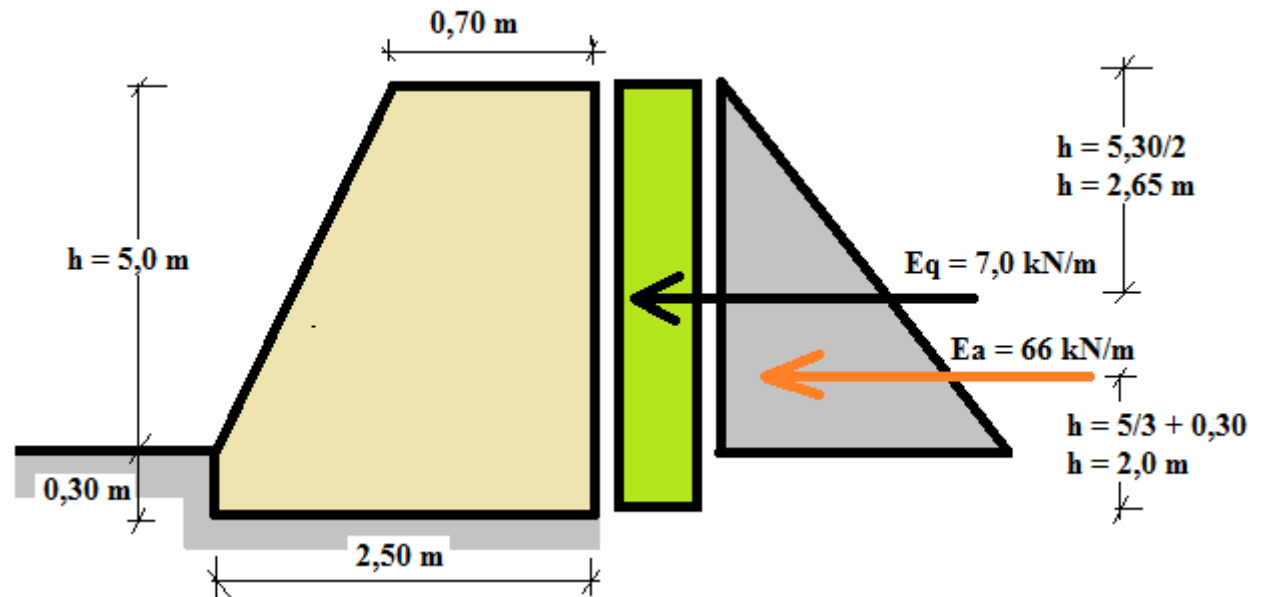
$$E_a = 66,0 \text{ kN} / \text{m}$$

- Empuxo Sobrecarga

$$E_q = K_a \cdot q \cdot h$$

$$E_q = 0,33 \cdot 4 \cdot 5,30$$

$$E_q = 7,0 \text{ kN} / \text{m}$$



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade
  - Cargas e Braços de alavanca
  - a) Muro

- **Peso do Muro**

$$P_{Muro} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{conc} \cdot h \cdot (b_0 + b)$$

$$P_{Muro} = \frac{1}{2} \cdot 22 \cdot 5,0 \cdot (0,70 + 2,50)$$

$$P_{Muro} = 176,0 \text{ kN} / \text{m}$$

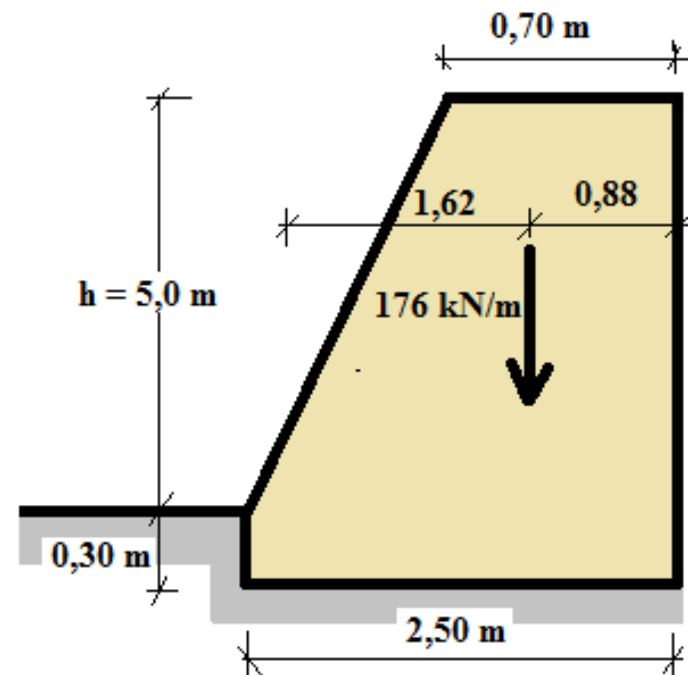
- **Ponto de aplicação**

$$x_{Muro} = \frac{b_0^2 + (b_0 \cdot b) + b^2}{3 \cdot (b + b_0)}$$

$$x_{Muro} = \frac{0,70^2 + (0,70 \cdot 2,5) + 2,5^2}{3 \cdot (2,5 + 0,70)}$$

$$x_{Muro} = 0,88 \text{ m}$$

$$B_{Muro} = b - x_{Muro} = 2,5 - 0,88 = 1,62 \text{ m}$$



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade
  - Cargas e Braços de alavanca
  - b) Sapata

- **Peso da Sapata**

$$P_{Sapata} = \gamma_{conc} \cdot h_s \cdot b$$

$$P_{Sapata} = 22 \cdot 0,30 \cdot 2,50$$

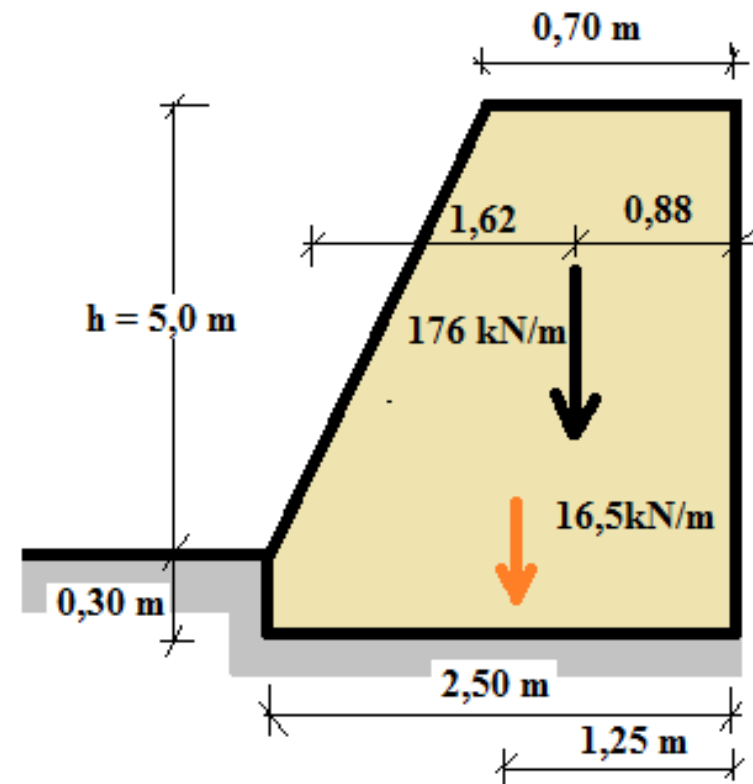
$$P_{Sapata} = 16,50 \text{ kN} / \text{m}$$

- **Ponto de aplicação**

$$B_{Sapata} = \frac{b}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25 \text{ m}$$

- **Peso Total do Muro**

$$P_{Total} = 176 + 16,5 = 192,50 \text{ kN} / \text{m}$$





# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- Tombamento

- Momento Ativo

$$M_{ativo} = E_q \cdot h_1 + E_a \cdot h_2$$

$$M_{ativo} = 7,0 \cdot 2,65 + 66,0 \cdot 2,0$$

$$M_{ativo} = 18,55 + 132$$

$$M_{ativo} = 150,55 \text{ kNm}$$

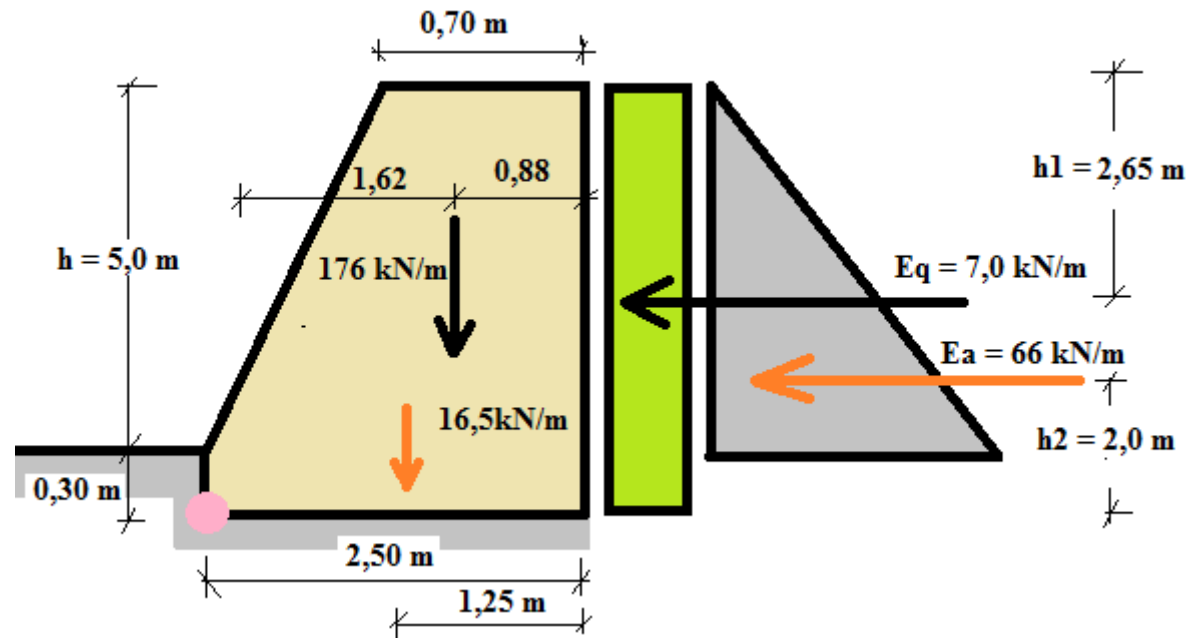
- Momento do Muro

$$M_{Muro} = P_{Muro} \cdot B_{Muro} + P_{Sapata} \cdot B_{Sapata}$$

$$M_{ativo} = 176,0 \cdot 1,62 + 16,5 \cdot 1,25$$

$$M_{ativo} = 285,12 + 20,63$$

$$M_{ativo} = 305,75 \text{ kNm}$$



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- Tombamento

- Momento Resultante

$$M_{Resultante} = M_{Muro} - M_{ativo}$$

$$M_{Resultante} = 305,75 - 150,55$$

$$M_{Resultante} = 155,20 kNm$$

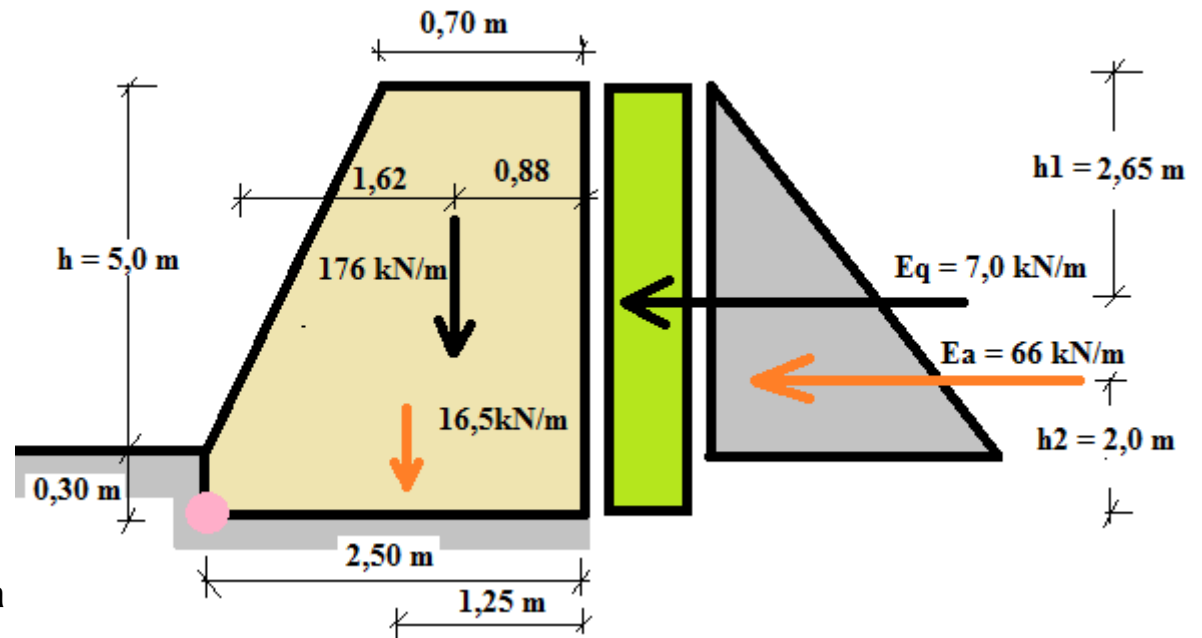
- Coeficiente de Segurança

$$\epsilon_2 = \frac{M_{Muro}}{M_{ativo}} \geq 1,5$$

$$\epsilon_2 = \frac{305,75}{150,55} \geq 1,5$$

$$\epsilon_2 = 2,0 \geq 1,5$$

Atende!



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- Escorregamento

- Coeficiente de atrito

$$\mu_{\text{solo sec o / concreto}} = 0,55$$

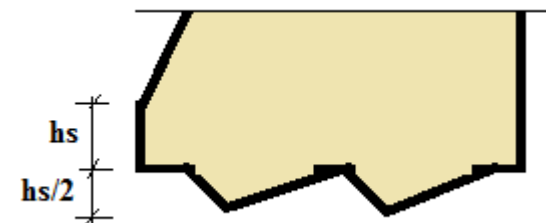
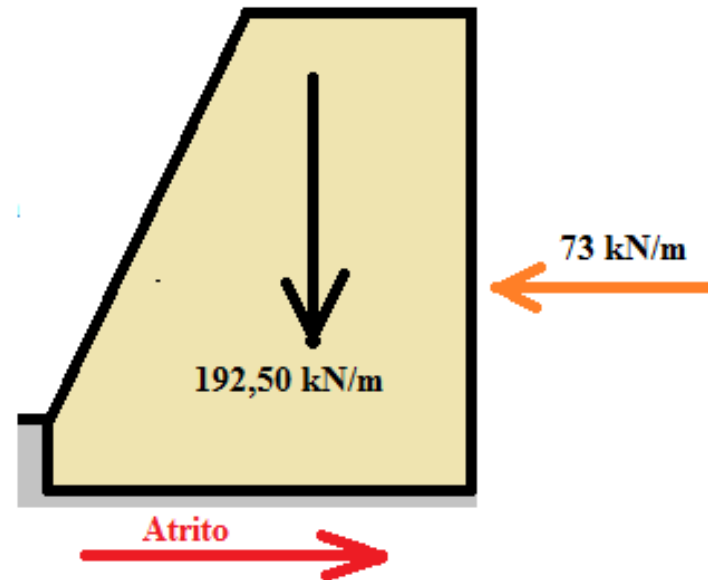
*Coeficiente de segurança contra o escorregamento*

$$\varepsilon_1 = \mu \cdot \frac{P_{\text{total Muro}}}{E_{\text{Total}}} \geq 1,5$$

$$\varepsilon_1 = 0,55 \cdot \frac{192,50}{(7,0 + 66,0)} \geq 1,5$$

$$\varepsilon_1 = 0,55 \cdot 2,64$$

$$\varepsilon_1 = 1,45 \geq 1,5 \rightarrow \text{Atende!}$$



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- Equilíbrio Elástico

- Posição do Centro de Pressão

$$C_{\text{Pressão}} = \frac{M_{\text{Resultante}}}{P_{\text{TotalMuro}}}$$

$$C_{\text{Pressão}} = \frac{155,20}{192,50}$$

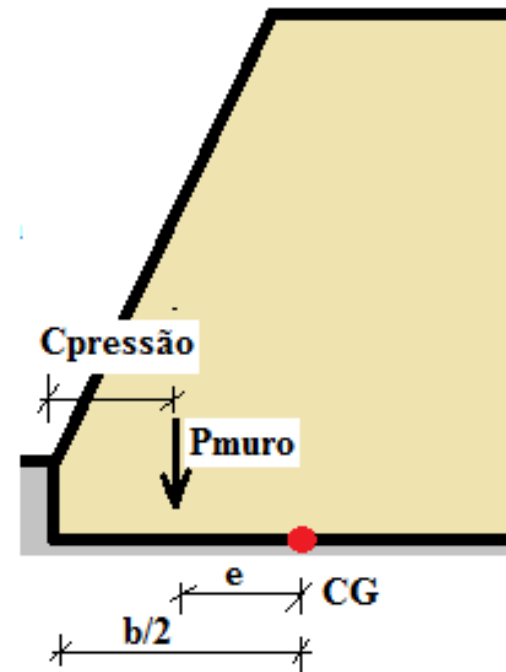
$$C_{\text{Pressão}} = 0,81m$$

- Excentricidade

$$e = \frac{b}{2} - C_{\text{Pressão}}$$

$$e = \frac{2,50}{2} - 0,81$$

$$e = 0,44m$$



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- Cálculos Auxiliares

- Relação Peso do Muro / Base do Muro

- $\frac{P_{TotalMuro}}{b} = \frac{192,5}{2,50} = 77,0 \text{ kN / m}$

- Relação excentricidade / Base do Muro

- $\frac{6 \cdot e}{b} = \frac{6 \cdot 0,44}{2,50} = 1,06$

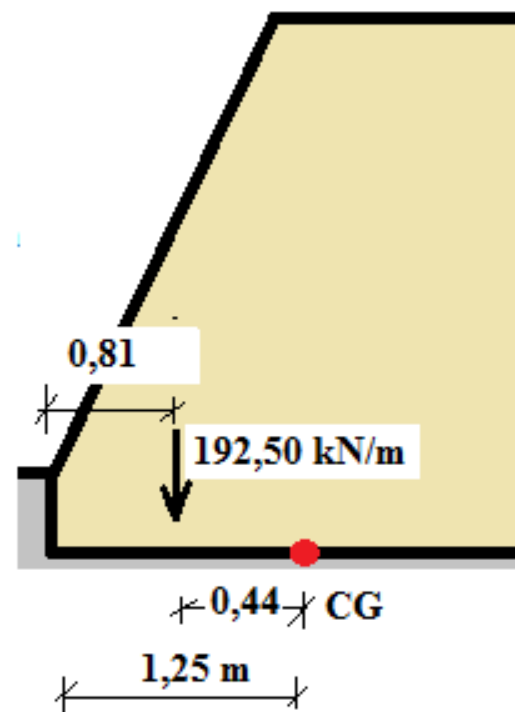
- Tensões:

- Máximas:

- $\sigma_1 = \frac{P_{TotalMuro}}{b} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b}\right)$

- Mínimas:

- $\sigma_1 = \frac{P_{TotalMuro}}{b} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{b}\right)$



# Muro de Arrimo

- Verificação da Estabilidade

- **Tensões:**

- **Máxima:**

$$\sigma_1 = \frac{P_{TotalMuro}}{b} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b}\right)$$

$$\sigma_1 = 77,0 \cdot (1 + 1,06)$$

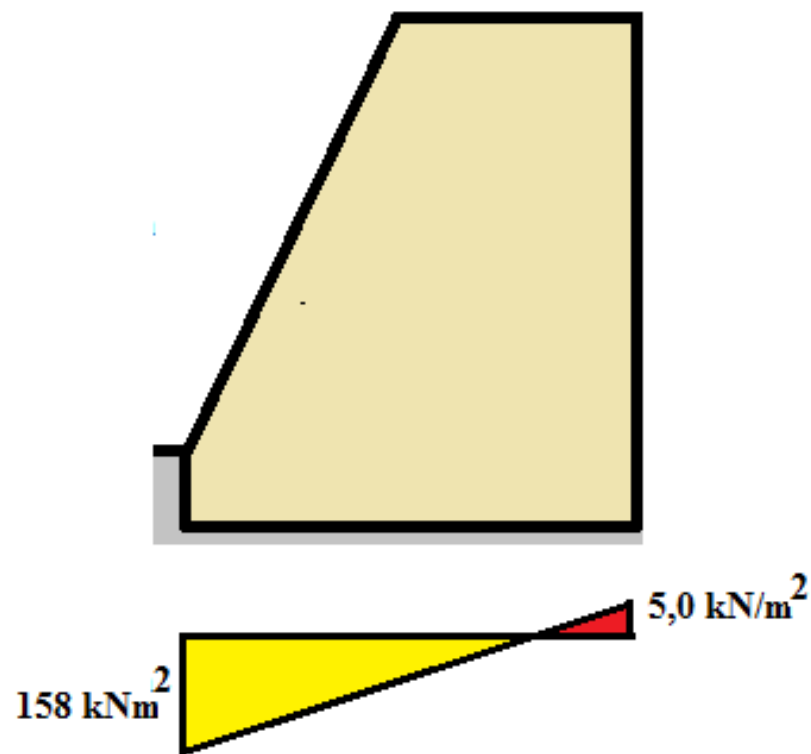
$$\sigma_1 = 158,0 \text{ kN} / \text{m}^2$$

- **Mínimas:**

$$\sigma_2 = \frac{P_{TotalMuro}}{b} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{b}\right)$$

$$\sigma_2 = 77,0 \cdot (1 - 1,06)$$

$$\sigma_2 = -5,0 \text{ kN} / \text{m}^2$$



# Muro de Arrimo

## ■ Verificação da Estabilidade

- Sempre que a tensão mínima for Negativa é sinal que está ocorrendo tração na base do muro, neste caso a verificação deve ser feita excluindo a tração, e utilizando a fórmula abaixo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2 \cdot P_{TotalMuro}}{3 \cdot C_{Press\tilde{a}o}}$$

## □ Tensão Máxima:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2 \cdot P_{TotalMuro}}{3 \cdot C_{Press\tilde{a}o}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{2 \cdot 192,50}{3 \cdot 0,81}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 160 \text{ kN} / \text{m}^2 < \sigma_{adm} = 200 \text{ kN} / \text{m}^2$$

