

MUNICÍPIO DE PONTE ALTA DO NORTE

Rua João da Silva Calomeno, 243 - Centro

CEP: 89535-000

CNPJ: 95.991.287/0001-75

Telefones: (49) 3254-1171 *Principal*



MEMORIAL DESCRITIVO

MUROS DE CONTENÇÃO - RUA DELFINO MARCELO

Ponte Alta do Norte/SC, 01 de junho de 2021

Matheus Andriolli

Arquiteto e Urbanista

CAU/SC A124213-0

engenharia@pmpan.sc.gov.br

Objeto: Muros de Contenção - Rua Delfino Marcelo
Endereço: Rua Delfino Marcelo, Ponte Alta do Norte, Santa Catarina
Proprietário: Município de Ponte Alta do Norte

1. OBJETIVO

O presente documento tem por objetivo instruir as condições que presidirão o desenvolvimento e serviços de construção das estruturas de contenção para a Rua Delfino Marcelo, localizada nesse município. Será também realizada a repavimentação do passeio público com os blocos intertravados de concreto existentes nos trechos da rua que apresentam defeitos.

Determinando assim as condições mínimas para a execução de cada serviço e estabelecendo o padrão de qualidade para os materiais que serão empregados.

A contenção deve ser feita a fim de evitar o desprendimento e escorregamento do passeio público pois os terrenos de algumas casas encontram se abaixo da cota da Rua Delfino Marcelo.

A mão de obra e os materiais serão de boa qualidade e obedecerão as especificações correspondentes, ficando sujeitos a aprovação por parte da fiscalização. Quando não forem especificadas, obedecerão as normas técnicas.

2. RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

O Projeto terá sua Responsabilidade Técnica anotada perante o CAU/SC, conforme RRT do Profissional Arquiteto e Urbanista Matheus Andriolli. Os projetos fornecidos pelo departamento técnico da prefeitura serão:

Projeto Arquitetônico:

- Planta Baixa;
- Cortes;
- Localização;
- Situação.

Projetos Complementares:

- Projeto Estrutural.

Referente a responsabilidade da execução, a contratada deverá fornecer antes de iniciar os serviços o registro de responsabilidade técnica pelos serviços propostos.

3. APROVAÇÕES

Os serviços serão executados em estrita e total observância às indicações constantes dos projetos fornecidos pela contratante e referidos neste memorial descritivo. Cabe à construtora o fornecimento do registro de responsabilidade técnica de execução dos serviços proposto à obra vinculada e seus projetos fornecido este pela contratante.

4. SERVIÇOS

4.1. MUROS DE CONTENÇÃO

Antes do início da execução dos demais itens deverá ser feita a limpeza do terreno, nas imediações dos pontos onde serão executadas as obras de confecção do muro e demais obras. Tal limpeza consiste da retirada de qualquer vegetação rasteira e correspondente destinação apropriada dos resíduos.

4.1.1. MURO DE GABIÃO

A seguir são identificadas as especificações mínimas para os materiais e serviços que compõe os elementos em gabiões.

Arame: todo o arame utilizado na fabricação do gabião, e nas operações de amarração e atirantamento durante a construção devem ser de aço doce recozido. O diâmetro mínimo do arame utilizado deve ser de 2,7 mm para os gabiões caixa. Todo arame utilizado na fabricação dos elementos dos gabiões deve ter revestimento de zinco (mínimo de 240 gr/m²). Após zincado, o arame deve ser revestido com PVC por extrusão, com espessura não inferior a 0,40 mm.

Tela: a tela deve ser malha hexagonal de dupla torção; as dimensões das malhas deverão ser de 8 x 10 cm para os gabiões caixa.

Bordas: devem ser enroladas mecanicamente; o arame utilizado nas bordas deve ter diâmetro maior que o arame usado na fabricação da tela, ou seja, 3,4 mm para os gabiões caixa.

Arame de amarração e atirantamento: o diâmetro mínimo do arame deve ser de 2,2 mm.
Montagem: nos gabiões caixa costure as quatro arestas em contato e os diafragmas com as laterais.

Colocação: nivele a base onde os gabiões e colchões serão colocados até obter um terreno regular com a inclinação prevista (6o ou 10,5% de inclinação com a vertical); costure cada gabião caixa ao longo das arestas em contato, tanto horizontais como verticais, antes do enchimento; a costura é feita de forma contínua passando-se em todas as malhas, alternadamente, com volta simples e dupla; deve-se utilizar gabaritos de madeira, especialmente na face externa, para obter melhor alinhamento e acabamento.

Enchimento: efetuar o enchimento manualmente, com a melhor acomodação possível, reduzindo ao mínimo o volume de vazios entre as pedras; as pedras devem ser assentadas e dispostas entre si, formando a melhor amarração do conjunto; de forma alguma será aceita a colocação mecânica das pedras nas caixas; a pedra deve ser limpa e proveniente de jazida de basalto ou granito; o tamanho da pedra deve ser regular e as dimensões compreendidas entre a medida maior da malha e o dobro; o enchimento deve gerar o mínimo de vazios, gerando maior peso específico na estrutura.

Atirantamento: durante o enchimento, encha cada célula até um terço da sua capacidade; após, coloque dois tirantes unindo paredes opostas, com as extremidades amarradas ao redor de duas malhas; repetir a operação quando o enchimento alcançar dois terços da altura.

Fechamento: costure as tampas às bordas superiores da base e dos diafragmas; os gabiões caixa, colocados acima de uma camada já executada, devem ser costurados ao longo das arestas em contato com a camada dos gabiões já enchidos.

O muro de gabião deve receber drenagem baseada em uma camada drenante com brita no. 02, longitudinalmente ao muro, com tubo de PVC furado com diâmetro de 100mm.

4.1.2. MURO DE BLOCO DE CONCRETO

O muro de contenção será concebido com blocos de concreto armados, conforme projeto anexo.

A fundação será do tipo superficial, em sapatas corridas de concreto armado com vigas de rigidez com dimensões de 25x40cm armadas com 4 Ø 8.0 mm, estribado com Ø 5.0 mm a cada 15 cm. As valas deverão ser abertas com profundidade conveniente até atingir o terreno firme, onde serão assentadas as sapatas. As cavas deverão ser regularizadas em camada de concreto magro espessura mínima de 5,0cm para assentamento das sapatas.

Os pilares tem seu arrasamento junto ao nível das vigas de fundação.

O Concreto a ser utilizado nas estruturas de fundação terá FCK mínimo de 25 MPa.

As paredes do muro serão com blocos de concreto classe A, com resistência à compressão (fbk) de 4,5 MPa. Os blocos deverão ser preenchidos com concreto estrutural em fiadas alternadas, e armados vertical e horizontalmente de modo a reforçar e aumentar a rigidez do paramento.

A cinta de travamento superior deverá ser em blocos de concreto do tipo canaleta armada com 3 Ø 6.72 mm.

Deverão ser utilizados aços do tipo CA-25, CA-50 ou CA-60, de acordo com as prescrições da norma NBR 7480 (ABNT, 2007).

A contenção será executada com a utilização de alvenaria de blocos de concreto. As alvenarias serão assentadas com argamassa traço 1:0,5:8 (cimento, cal e areia). As fiadas deverão ser perfeitamente niveladas e aprumadas. Os blocos de concreto devem ser subdivididos em trechos de comprimento máximo de 2,00 m. Entre cada trecho deverá ser executado um pilar de concreto armado, para o travamento do muro, conforme detalhe em projeto.

4.2. MOVIMENTAÇÃO DE TERRA E PLANTIO DE GRAMA

O reaterro da vala da fundação do muro de será feito através da compactação das camadas de terra no máximo 20,0 cm.

O material excedente das valas e cortes no terreno será empregado para a realização dos taludes. Será, também, realizado o plantio de grama nos taludes, esta deverá ser plantada em placas justapostas, cuidando para não apresentarem ervas daninhas. Após o plantio, fazer uma cobertura com terra de boa qualidade, na espessura de 0,02m.

4.3. TRAVAMENTO EM MEIO- FIO

O travamento dos blocos intertravado de concreto deverão ser realizados com meio-fio de concreto nos locais determinados em projeto.

4.4. ESCADAS EM CONCRETO

Deverá ser executada escada de concreto armado com $F_{ck} = 25$ MPA moldada in loco de acordo com as especificações propostas em projeto

4.5. REASSENTAMENTO DOS BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

A pavimentação será executada com bloco de concreto intertravado existentes, assentados sobre berço de areia com espessura de 5 cm. A areia deverá ser limpa e isenta de matéria orgânica.

A junta entre os blocos não deverá ser superior a 0,2 mm. Após o assentamento será colocada uma camada de areia ou pedrisco para o fechamento das juntas com espessura de 2,5 cm. Ao término do assentamento da pavimentação ela deverá ser compactada por meio de rolo compactador.

Sobre o colchão de areia efetuar o assentamento do primeiro bloco, que deverá ficar colocado de tal maneira que sua face superior fique cerca de 1,0 cm acima da linha de referência. Em seguida o calceteiro o golpeará com o martelo até que sua face superior fique ao nível da linha.

Terminado o assentamento do primeiro bloco, os próximos serão colocados ao lado, tocando ligeiramente o primeiro e deixando apenas uma junta entre eles, formada unicamente pela irregularidade das faces.

Efetuar o rejuntamento com areia ou pedrisco. Durante a compactação, a rolagem deverá progredir dos bordos para o centro, paralelamente ao eixo da pista, de modo uniforme, cada passada atingindo a metade da outra faixa de rolamento, até quando não se observar mais nenhuma movimentação pela passagem do equipamento.

Qualquer irregularidade de depressão que venha a surgir durante a compactação deverá ser prontamente corrigida, removendo-se e recompondo-se as peças com maior ou menor adição do material de assentamento, em quantidade suficiente para completa correção do defeito verificado.

A compactação das partes inacessíveis aos rolos compactadores deverá ser efetuada por meio de soquetes manuais adequados. Poderão ser adotados outros métodos e equipamentos de compactação, a critério da fiscalização.

O travamento final dos blocos será realizado com blocos de meio-fio de concreto

4.6. LIMPEZA FINAL DE OBRA

A obra deverá ser entregue completamente limpa. Deverão ser removidos todos os detritos. Será precedida cuidadosa verificação por parte da fiscalização, das perfeitas condições de funcionamento e segurança de todas as instalações.

5. TERMO DE RECEBIMENTO DA OBRA

Dar-se-á a obra como concluída, quando a fiscalização, por intermédio de vistoria técnica, observar que o funcionamento do prédio está dentro das prescrições constantes do presente memorial e dentro das normas técnicas de execução de serviços desta natureza, caracterizando o recebimento provisório; além disso, a empreiteira, responsável pelos serviços apresentar o certificado de quitação do INSS, além do “HABITE-SE” da Prefeitura Municipal.

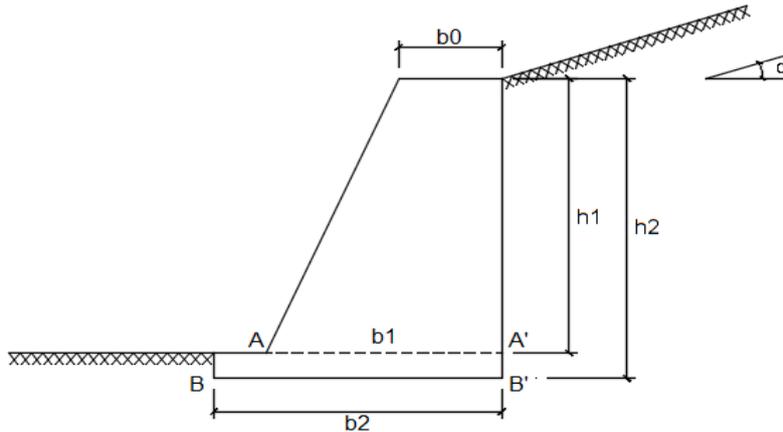
O recebimento definitivo será dado por comissão designada por autoridade competente mediante termo circunstanciado, assinado pelas partes, após o decurso do prazo de observação, ou vistoria que comprove a adequação do objeto aos termos contratuais.

6. NOTA

Todos os materiais utilizados e empregados na obra devem ser de primeira qualidade, e caso haja divergências entre o Projeto e o Memorial, prevalecerá sempre as prescrições do Memorial.

7. ANEXOS

Muro de arrimo



• Propriedades geométricas:

$h_1 =$	2,1 m	(Altura do muro medida da seção AA' até o topo)
$h_2 =$	2,1 m	(Altura do muro medida da seção BB' até o topo)
$h_0 =$	2 m	(Altura de terra equivalente à sobrecarga)
$b_0 =$	1,2 m	(Largura do topo do muro)
$b_1 =$	1,2 m	(Largura do muro na seção AA')
$b_2 =$	1,2 m	(Largura do muro na seção BB')

OBS.: A altura de terra equivalente à sobrecarga é calculada dividindo a sobrecarga pelo peso específico do solo. Fisicamente, ela corresponde a altura de solo que exerceria uma pressão sobre o talude igual a pressão exercida pela sobrecarga

• Propriedade dos materiais:

$\phi =$	35 Graus	(Ângulo de atrito do solo)
$\phi_1 =$	17,5 Graus	(Ângulo de rugosidade do muro)
$\alpha =$	0 Graus	(Ângulo de inclinação do terreno adjacente)
$\gamma_{\text{solo}} =$	17 kN/m ³	(Peso específico do solo)
$\gamma_{\text{alv}} =$	19 kN/m ³	(Peso específico do material do qual o muro é feito)
$\sigma_{\text{adm, solo}} =$	200 kN/m ²	(Tensão admissível do solo)
$\sigma_{\text{adm, alv}} =$	1000 kN/m ²	(Tensão admissível do material de que é feito o muro)

• Verificação da estabilidade da seção AA':

Cálculo do ângulo δ :

δ é o ângulo que a força de empuxo forma com a horizontal. Ele é igual a soma de ϕ_1 com o ângulo que a face do muro em contato com o solo forma com a vertical. Portanto, $\delta = \phi_1$

No livro "Caderno de Muros de Arrimo" do autor Antonio Moliterno são sugeridos os seguintes valores para o ângulo ϕ_1 :

$\phi_1 = 0$	(Ângulo para muros lisos - Ex.: Muro cimentado ou pintado com pixe)
$\phi_1 = 0,5 \cdot \phi$	(Ângulo para muros parcialmente rugosos)
$\phi_1 = \phi$	(Ângulo para muros rugosos)

$\delta =$ 17,5 Graus (Valor adotado para o ângulo δ)

Cálculo do coeficiente de empuxo ativo do solo:

O cálculo do coeficiente de empuxo ativo do solo (K_a) foi realizado utilizando a fórmula mais apropriada para o Método de Coulomb

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \phi)}{\text{sen}^2\beta \cdot \text{sen}(\beta - \phi_1) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi - \alpha) \cdot \text{sen}(\phi + \phi_1)}{\text{sen}(\beta - \phi_1) \cdot \text{sen}(\beta + \alpha)}} \right]^2}$$

β = Ângulo que a face do muro em contato com o solo forma com a horizontal

$$\beta = 90^\circ$$

$$K_a = 0,2461$$

Cálculo do peso próprio do muro:

O muro foi dimensionado através da análise das forças que atuam em uma porção de apenas 1 metro de comprimento do mesmo. Portanto, o peso próprio foi calculado multiplicando a área da seção transversal do muro por 1 e pelo peso específico do material do qual ele é feito

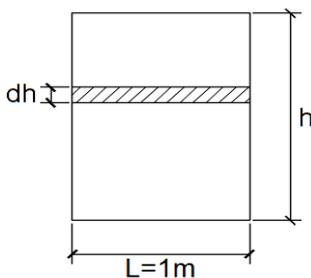
$$A_{st} = \frac{(b_1 + b_0) \cdot h_1}{2} \quad (\text{Área da seção transversal do muro compreendida acima da Seção AA'})$$

$$\gamma_{alv} = 19 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{Peso específico do material do qual o muro é feito})$$

$$P = A_{st} \cdot \gamma_{alv}$$

$$P = 47,88 \text{ kN} \quad (\text{Peso próprio do muro})$$

Cálculo do empuxo:



$$\sigma_h = K_a \cdot \sigma_v \quad (\text{Tensão na horizontal})$$

$$\sigma_v = \gamma_{solo} \cdot h \quad (\text{Tensão na vertical})$$

$$dA = dh \cdot L = dh \quad (\text{Elemento infinitesimal de área})$$

$$\sigma_h = \frac{dE}{dA} = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h$$

$$dE = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h \cdot dA = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h \cdot dh$$

$$E = \int_0^h dE = \int_0^h K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h \cdot dh = K_a \cdot \gamma_{solo} \int_0^h h \cdot dh$$

$$E = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot \left[\frac{h^2}{2} \right]_0^h$$

$$E = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h^2 \quad (\text{Fórmula do empuxo para solos não coesivos})$$

$$E = \frac{1}{2} Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h^2 - 2 \cdot c \cdot h \cdot \sqrt{Ka} \quad (\text{Fórmula do empuxo para solos coesivos})$$

$$E = \frac{1}{2} Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot (H^2 - h_0^2) \quad ; \quad H = h + h_0 \quad (\text{Fórmula do empuxo para solos não coesivos com sobrecarga})$$

O dimensionamento foi feito para um solo não coesivo, pois o empuxo gerado por esse tipo de solo é maior do que de um solo coesivo nas mesmas condições. Dessa forma, o dimensionamento fica a favor da segurança

Conforme mencionado anteriormente, o dimensionamento foi feito através da análise das forças atuando em apenas 1 metro de comprimento do muro

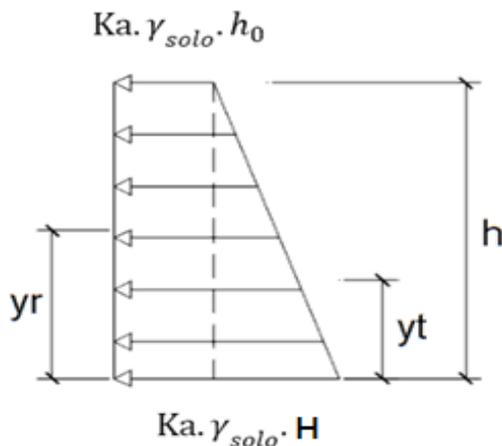
$$E = 26,80 \text{ kN}$$

$$E_h = 25,56 \text{ kN} \quad (\text{Componente horizontal do empuxo})$$

$$E_v = 8,06 \text{ kN} \quad (\text{Componente vertical do empuxo})$$

Cálculo do ponto de aplicação do empuxo:

A altura do ponto de aplicação do empuxo, representado nesse memorial pela letra y , foi calculado em relação a Seção AA'



y_r = Altura do centróide do retângulo

y_t = Altura do centróide do triângulo

A ilustração ao lado representa as pressões atuantes no muro ao longo de sua altura h

$$y = \frac{y_r \cdot A_r + y_t \cdot A_t}{A_r + A_t}$$

A_r = Área do retângulo

A_t = Área do triângulo

$$y_r \cdot A_r = \frac{h}{2} (h \cdot Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0) = \frac{h^2 \cdot Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0}{2}$$

$$y_t \cdot A_t = \frac{h}{3} \cdot \frac{(Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot H - Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0) \cdot h}{2} = \frac{Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot H \cdot h^2}{6} - \frac{Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0 \cdot h^2}{6} \quad ; \quad H = h + h_0$$

$$A_r = h \cdot Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0$$

$$At = \frac{(Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot H - Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0) \cdot h}{2} \quad ; \quad H = h + h_0$$

Fazendo as devidas substituições se obtém a fórmula final para o cálculo de y

$$y = \frac{h}{3} \cdot \frac{(2h_0 + H)}{(h_0 + H)} \quad ; \quad H = h + h_0$$

$$h_1 = 2,1 \text{ m}$$

$$h_0 = 2 \text{ m}$$

$$H = 4,1 \text{ m}$$

$$y = 0,93 \text{ m}$$

Cálculo do momento estabilizador:

As forças que produzem momentos fletores que tendem a estabilizar o muro são a força peso e a componente vertical da força de empuxo. Esses momentos foram calculados em relação ao ponto A (Ver ilustração no início do memorial)

$$M_E = P \cdot x + E_v \cdot b_1 \quad (\text{Momento estabilizador})$$

x = Coordenada horizontal do centro de gravidade do muro, calculada com origem no ponto A

$$M_E = 38,40 \text{ kNm}$$

Cálculo do momento de tombamento:

A única força que produz momento fletor que tende a tombar o muro é a componente horizontal da força de empuxo. Esse momento fletor deve ser calculado em relação ao mesmo ponto do momento estabilizador, ou seja, ponto A

$$M_T = E_h \cdot y \quad (\text{Momento de tombamento})$$

$$y = 0,93 \text{ m}$$

$$M_T = 23,76 \text{ kNm}$$

Cálculo do ponto de aplicação da força resultante R:

A força resultante R corresponde a força que a base do muro na seção AA' aplica na região abaixo dela. Seu ponto de aplicação em relação ao ponto A, é representado pela letra c

$$V_R = \sum F_v = P + E_v \quad (\text{Componente vertical da força resultante R})$$

$$H_R = \sum F_h = E_h \quad (\text{Componente horizontal da força resultante R})$$

$$c = \frac{M_E - M_T}{V_R}$$

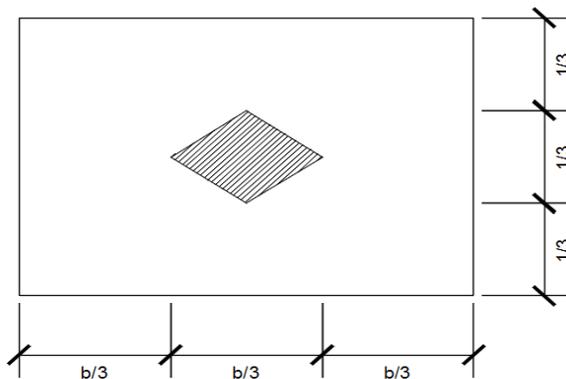
$c = 0,26 \text{ m}$

Cálculo da excentricidade da força resultante R:

A excentricidade da força resultante R corresponde a distância da força resultante R até o centro da seção AA'

$$e = \frac{b_1}{2} - c \quad (\text{Excentricidade da força resultante R})$$

Cálculo da tensão de compressão na seção AA':



A fórmula para o cálculo da maior tensão de compressão na seção AA' irá depender do ponto de aplicação da força resultante R. Se essa força estiver sendo aplicada dentro do núcleo central de inércia da seção (Losango da figura acima), toda a seção estará submetida a compressão, caso contrário apenas uma fração da seção estará comprimida

$$\sigma_1 = \frac{V_R}{b} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b} \right) \quad (\text{Máxima tensão de compressão para força resultante R dentro do núcleo central de inércia})$$

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot V_R}{3 \cdot c} \quad (\text{Máxima tensão de compressão para força resultante R fora do núcleo central de inércia})$$

A condição para que a força resultante R esteja dentro do núcleo central de inércia é que $b/3 \leq c \leq 2b/3$

$c = 0,26 \text{ m}$

$b/3 = 0,40 \text{ m}$

$(2 \cdot b)/3 = 0,80 \text{ m}$

Força resultante R se encontra fora do núcleo central de inércia da seção AA'

$\sigma_1 = 142,48 \text{ kN/m}^2$

1ª Verificação:

Pelo menos metade da seção AA' deve estar comprimida. Isso ocorre para $b/6 \leq c \leq (5b)/6$

$c = 0,26 \text{ m}$

$$b_1/6 = 0,20 \text{ m}$$
$$(5b_1)/6 = 1,00 \text{ m}$$

$$b_1/6 \leq c \leq (5b_1)/6 \quad \text{OK}$$

2ª Verificação:

A máxima tensão de compressão atuando na seção AA' deve ser menor que a tensão admissível do material do qual é feito o muro. Caso $h_1=h_2$, a máxima tensão de compressão atuando na seção AA' deve ser menor que a tensão admissível do solo

$$\sigma_1 = 142,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{adm,alv} = 1000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{adm,solo} = 200 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_{adm} \quad \text{OK}$$

3ª Verificação:

Para garantir a segurança contra o tombamento do muro, o momento estabilizador deve ser 50% maior que o momento de tombamento, ou seja, $(M_E/M_T) \geq 1,5$

$$M_E = 38,40 \text{ kNm}$$

$$M_T = 23,76 \text{ kNm}$$

$$(M_E/M_T) \geq 1,5 \quad \text{OK}$$

4ª Verificação:

A altura h_1 deve ser menor ou igual a altura h_2 (Ver ilustração no início do memorial)

$$h_1 = 2,1 \text{ m}$$

$$h_2 = 2,1 \text{ m}$$

$$h_1 \leq h_2 \quad \text{OK}$$

5ª Verificação:

A largura b_1 deve ser menor ou igual a largura b_2 (Ver ilustração no início do memorial)

$$b_1 = 1,2 \text{ m}$$

$$b_2 = 1,2 \text{ m}$$

$$b_1 \leq b_2 \quad \text{OK}$$

• Verificação da estabilidade da seção BB':

Calculo do ângulo δ :

δ é o ângulo que a força de empuxo forma com a horizontal. Ele é igual a soma de φ_1 com o ângulo que a face do muro em contato com o solo forma com a vertical. Portanto, $\delta = \varphi_1$

No livro "Caderno de Muros de Arrimo" do autor Antonio Moliterno são sugeridos os seguintes valores para o ângulo φ_1 :

- $\varphi_1 = 0$ (Ângulo para muros lisos - Ex.: Muro cimentado ou pintado com pixe)
- $\varphi_1 = 0,5 \cdot \phi$ (Ângulo para muros parcialmente rugosos)
- $\varphi_1 = \phi$ (Ângulo para muros rugosos)

$\delta = 17,5$ Graus (Valor adotado para o ângulo δ)

Cálculo do coeficiente de empuxo ativo do solo:

O cálculo do coeficiente de empuxo ativo do solo (K_a) foi realizado utilizando a fórmula mais apropriada para o Método de Coulomb

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \phi)}{\text{sen}^2\beta \cdot \text{sen}(\beta - \varphi_1) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi - \alpha) \cdot \text{sen}(\phi + \varphi_1)}{\text{sen}(\beta - \varphi_1) \cdot \text{sen}(\beta + \alpha)}} \right]^2}$$

$\beta = \hat{\text{Ângulo}} \text{ que a face do muro em contato com o solo forma com a horizontal}$

$\beta = 90^\circ$

$K_a = 0,2461$

Cálculo do peso próprio do muro:

O muro foi dimensionado através da análise das forças que atuam em uma porção de apenas 1 metro de comprimento do mesmo. Portanto, o peso próprio foi calculado multiplicando a área da seção transversal do muro por 1 e pelo peso específico do material do qual ele é feito

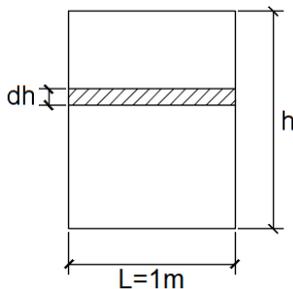
$$A_{st} = \frac{(b_1 + b_0) \cdot h_1}{2} + b_2 \cdot (h_2 - h_1)$$

(Área da seção transversal do muro compreendida acima da Seção BB')

$\gamma_{alv} = 19 \text{ kN/m}^3$ (Peso específico do material do qual o muro é feito)

$P = A_{st} \cdot \gamma_{alv} = 47,88 \text{ kN}$ (Peso próprio do muro)

Cálculo do empuxo:



$$\sigma_h = K_a \cdot \sigma_v$$

(Tensão na horizontal)

$$\sigma_v = \gamma_{solo} \cdot h$$

(Tensão na vertical)

$$dA = dh \cdot L = dh$$

(Elemento infinitesimal de área)

$$\sigma_h = \frac{dE}{dA} = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h$$

$$dE = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h \cdot dA = K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h \cdot dh$$

$$E = \int_0^h dE = \int_0^h K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot h \cdot dh = K_a \cdot \gamma_{solo} \int_0^h h \cdot dh$$

$$E = Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot \left[\frac{h^2}{2} \right]_0^h$$

$$E = \frac{1}{2} Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h^2 \quad (\text{Fórmula do empuxo para solos não coesivos})$$

$$E = \frac{1}{2} Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h^2 - 2 \cdot c \cdot h \cdot \sqrt{Ka} \quad (\text{Fórmula do empuxo para solos coesivos})$$

$$E = \frac{1}{2} Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot (H^2 - h_0^2) ; \quad H = h + h_0 \quad (\text{Fórmula do empuxo para solos não coesivos com sobrecarga})$$

O dimensionamento foi feito para um solo não coesivo, pois o empuxo gerado por esse tipo de solo é maior do que a de um solo coesivo nas mesmas condições. Dessa forma, o dimensionamento fica a favor da segurança

Conforme mencionado anteriormente, o dimensionamento foi feito através da análise das forças atuando em apenas 1 metro de comprimento do muro

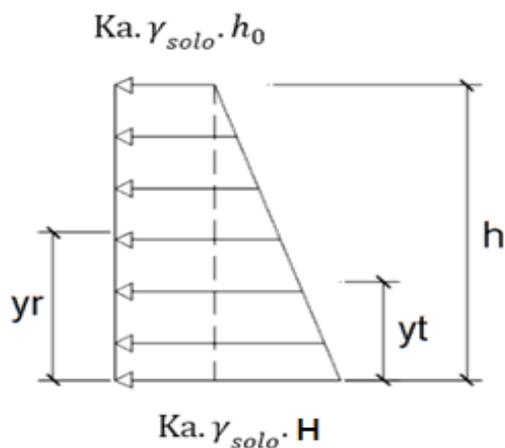
$$E = 26,80 \text{ kN}$$

$$E_h = 25,56 \text{ kN} \quad (\text{Componente horizontal do empuxo})$$

$$E_v = 8,06 \text{ kN} \quad (\text{Componente vertical do empuxo})$$

Cálculo do ponto de aplicação do empuxo:

A altura do ponto de aplicação do empuxo, representado nesse memorial pela letra y , foi calculado em relação a Seção BB'



y_r = Altura do centróide do retângulo

y_t = Altura do centróide do triângulo

A ilustração ao lado representa as pressões atuantes no muro ao longo de sua altura h

$$y = \frac{y_r \cdot Ar + y_t \cdot At}{Ar + At}$$

Ar = Área do retângulo

At = Área do triângulo

$$y_r \cdot Ar = \frac{h}{2} (h \cdot Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0) = \frac{h^2 \cdot Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0}{2}$$

$$y_t \cdot At = \frac{h}{3} \cdot \frac{(Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot H - Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0) \cdot h}{2} = \frac{Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot H \cdot h^2}{6} - \frac{Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0 \cdot h^2}{6} ; \quad H = h + h_0$$

$$Ar = h \cdot Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0$$

$$At = \frac{(Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot H - Ka \cdot \gamma_{solo} \cdot h_0) \cdot h}{2} ; \quad H = h + h_0$$

Fazendo as devidas substituições se obtém a fórmula final para o cálculo de y

$$y = \frac{h}{3} \cdot \frac{(2h_0 + H)}{(h_0 + H)} ; \quad H = h + h_0$$

$$h_2 = 2,1 \text{ m}$$

$$h_0 = 2 \text{ m}$$

$$H = 4,1 \text{ m}$$

$$y = 0,93 \text{ m}$$

Cálculo do momento estabilizador:

As forças que produzem momentos fletores que tendem a estabilizar o muro são a força peso e a componente vertical da força de empuxo. Esses momentos foram calculados em relação ao ponto B (Ver ilustração no início do memorial)

$$M_E = P \cdot x + E_v \cdot b_2 \quad (\text{Momento estabilizador})$$

x = Coordenada horizontal do centro de gravidade do muro, calculada com origem no ponto B

$$M_E = 38,40 \text{ kNm}$$

Cálculo do momento de tombamento:

A única força que produz momento fletor que tende a tombar o muro é a componente horizontal da força de empuxo. Esse momento fletor deve ser calculado em relação ao mesmo ponto do momento estabilizador, ou seja, ponto B

$$M_T = E_h \cdot y \quad (\text{Momento de tombamento})$$

$$y = 0,93 \text{ m}$$

$$M_T = 23,76 \text{ kNm}$$

Cálculo do ponto de aplicação da força resultante R:

A força resultante R corresponde a força que a base do muro na seção BB' aplica na região abaixo dela. Seu ponto de aplicação em relação ao ponto B, é representado pela letra c

$$V_R = \sum F_v = P + E_v \quad (\text{Componente vertical da força resultante R})$$

$$H_R = \sum F_h = E_h \quad \text{(Componente horizontal da força resultante R)}$$

$$c = \frac{M_E - M_T}{V_R}$$

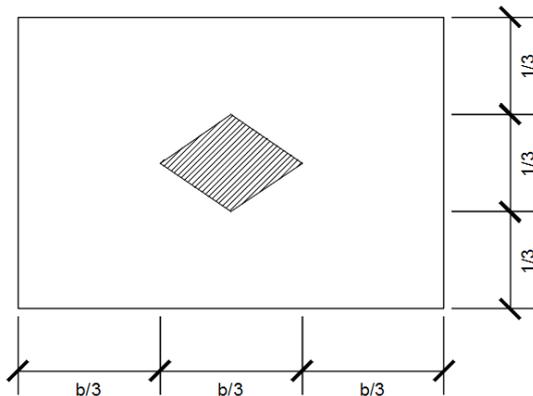
$$c = 0,26 \text{ m}$$

Cálculo da excentricidade da força resultante R:

A excentricidade da força resultante R corresponde a distância da força resultante R até o centro da seção BB'

$$e = \frac{b^2}{2} - c \quad \text{(Excentricidade da força resultante R)}$$

Cálculo da tensão de compressão na seção BB':



A fórmula para o cálculo da maior tensão de compressão na seção BB' irá depender do ponto de aplicação da força resultante R. Se essa força estiver sendo aplicada dentro do núcleo central de inércia da seção (Losango da figura acima), toda a seção estará submetida a compressão, caso contrário apenas uma fração da seção estará comprimida

$$\sigma_1 = \frac{V_R}{b} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b} \right) \quad \text{(Máxima tensão de compressão para força resultante R dentro do núcleo central de inércia)}$$

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot V_R}{3 \cdot c} \quad \text{(Máxima tensão de compressão para força resultante R fora do núcleo central de inércia)}$$

A condição para que a força resultante R esteja dentro do núcleo central de inércia é que $b/3 \leq c \leq 2b/3$

$$c = 0,26 \text{ m}$$

$$b/3 = 0,40 \text{ m}$$

$$(2 \cdot b)/3 = 0,80 \text{ m}$$

Força resultante R se encontra fora do núcleo central de inércia da seção BB'

$$\sigma_1 = 142,48 \text{ kN/m}^2$$

1ª Verificação:

Pelo menos metade da seção BB' deve estar comprimida. Isso ocorre para $b_2/6 \leq c \leq (5b_2)/6$

$$\begin{aligned}c &= & 0,26 \text{ m} \\b_2/6 &= & 0,20 \text{ m} \\(5 \cdot b_2)/6 &= & 1,00 \text{ m}\end{aligned}$$

$$b_2/6 \leq c \leq (5b_2)/6 \quad \text{OK}$$

2ª Verificação:

A máxima tensão de compressão atuando na seção BB' deve ser menor que a tensão admissível do solo

$$\sigma_1 = 142,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{adm, solo} = 200 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_{adm, solo} \quad \text{OK}$$

3ª Verificação:

Para garantir a segurança contra o tombamento do muro, o momento estabilizador deve ser 50% maior que o momento de tombamento, ou seja, $(M_E/M_T) \geq 1,5$

$$M_E = 38,40 \text{ kNm}$$

$$M_T = 23,76 \text{ kNm}$$

$$(M_E/M_T) \geq 1,5 \quad \text{OK}$$

4ª Verificação:

Para garantir a segurança contra o deslizamento é necessário que a maior força horizontal atuando no muro, majorada por um fator de segurança de 1,5, seja menor do que a força de cisalhamento que o solo é capaz de suportar. Resumindo, $1,5 \cdot H_R \leq V_R \cdot \text{tg}\phi$

$$\tau = c + \sigma_v \cdot \text{tg}\phi \quad (\text{Tensão de cisalhamento que provoca a ruptura do solo aderido à base do muro})$$

OBS.: Na fórmula acima, c é a coesão do solo, que será adotado como sendo igual a 0

$$\tau = \frac{F_{ruptura}}{A} = \left(\frac{V_R}{A}\right) \text{tg}\phi$$

$$F_{ruptura} = V_R \cdot \text{tg}\phi$$

HR =	25,56
VR =	55,94
tgφ =	0,700208

$$1,5 \cdot H_R \leq V_R \cdot \text{tg}\phi \quad 1,5 \cdot H_R \leq V_R \cdot \text{tg}\phi \quad \text{OK}$$