

Dimensionamento de um muro de flexão

Programa: Muro de Flexão

Arquivo: Demo_manual_02.guz

Este Manual de Engenharia descreve como dimensionar e analisar um muro de flexão.

Tarefa:

Dimensionar um muro de flexão com uma altura de 4.0 m e analisá-lo de acordo com a Norma EN 1997-1 (EC 7-1, metodologia de dimensionamento 1). O terreno atrás da estrutura é horizontal. O nível freático está a 2.0 m de profundidade. Atrás da estrutura, atua uma sobrecarga contínua com 5.0 m de comprimento e um valor de 10 kN/m². O solo de fundação consiste em MS – Areia siltosa e capacidade de suporte permitida é de 175 kPa. O solo atrás do muro consiste em S-F – Areia com partículas finas. O muro de flexão será executado em concreto armado de classe C 20/25.



Esboço do muro de flexão – Tarefa

Os parâmetros do solo são os seguintes:

| Solo | Perfil [<i>m</i>] | Peso volúmico $\gamma \left[kN/m^3 \right]$ | Ângulo de atrito interno φ_{af} [°] | Coesão do solo $c_{st} [kPa]$ | Ângulo de atrito estrutura – solo $\delta = [^{\circ}]$ | Peso volúmico saturado $\gamma_{em} \left[kN/m^3 \right]$ | |
|------|------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--|
| S-F | 0.0 - 4.0 | 17.5 | 28.0 | 0.0 | 18.5 | 18.0 | |
| MS | > 4.0 | 18.0 | 26.5 | 30.0 | 17.5 | 18.5 | |

Resolução

Para resolver este problema, iremos utilizar o programa GEO5 "Muro de Flexão". Neste texto, iremos explicar como resolver este exemplo passo-a-passo.

Na janela "Configurações", clique em "Selecionar" e escolha a configuração de análise número 3 – "Norma – EN 1997 – DA1".

| Iista de config | urações | | × |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|-------------|----------|
| Número | Nome | Válido para | |
| 1 | Norma - fatores de segurança | Tudo | |
| 2 | Norma - estados limites | Tudo | |
| 3 | Norma - EN 1997 - DA1 | Tudo | |
| 4 | Norma - EN 1997 - DA2 | Tudo | |
| 5 | Norma - EN 1997 - DA3 | Tudo | |
| 8 | República Checa - Normas antigas CSN (73 1001, 73 1002, 73 0037) | Tudo | |
| 25 | Reino Unido - EN 1997 | Tudo | |
| 26 | Reino Unido - EN 1997, gama água = 1,0 | Tudo | |
| 32 | EUA - LRFD 2003 | Tudo | |
| 33 | EUA - LRFD | Tudo | |
| 36 | NCMA - SRW Design Manual | Tudo | |
| 41 | LRFD - Norma | Tudo | |
| 69 | Suiça - SIA 260 (267) - STR, GEO - Norma | Tudo | |
| 70 | Suiça - SIA 260 (267) - STR, EQU - Norma | Tudo | |
| | | | Cancelar |

Caixa de diálogo "Lista de configurações"

Na janela "Geometria", escolha a 4ª forma do muro e introduza as suas dimensões, conforme mostra a imagem.

| k Geometria da parede Contraforte | |
|----------------------------------------------------------------|--|
| k = 0.40 [m] v1 = 0.40 [m] s1 = [-] Tipo não inserido V | |
| h s_2 :1 h = 3.60 [m] v_2 = 1.70 [m] s_2 = 0.00 [-] | |
| v_1 v_2 $h_1 = [m]$ $v_3 = [m]$ Haste 0.40 [m] | |
| xx1 h2 = [m] x1 = [m] x3 = [m] | |
| xx = 0.40 [m] x ₂ = [m] | |
| z ₁ = [m] k ₁ = [m] | |
| z ₂ = [m] | |

Janela "Geometria"



Agora, a estrutura apresenta o aspeto seguinte:



Janela "Geometria" – esboço do muro de flexão

Na janela "Material", introduza o material do muro. O muro terá um peso volúmico de $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ e será realizado em concreto armado de classe C 20/25, com aço de classe B 500.



Janela "Material" – Introdução das características materiais da estrutura



Na janela "Perfil", defina a interface de solos a uma profundidade de 4 m, através do botão "Adicionar".

| Т | | Espessura da camada | Profundidade | | 🕂 📰 Adicionar | | | | | | |
|-------|-----------|--------------------------------------------|--------------|------|---------------|--|--|--|--|--|--|
| | Interf. # | t [m] | z [m] | | | | | | | | |
| | → 1 | 4.00 | 0.00 4.00 | | | | | | | | |
| | 2 | - | 4.00 ∞ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | ٦ | lova interface | | | × | | | | | | |
| | | Profundidade das interfaces : z = 4.00 [m] | | | | | | | | | |
| | | Espessura da cama | ida: t | = | [m] | | | | | | |
| | | | 🕂 Adici | onar | X Cancelar | | | | | | |
| erfil | | | | - | | | | | | | |
| Å | | | | | | | | | | | |
| | | lanala | "Dorfil" | | | | | | | | |

Janela "Perfil"

De seguida, passamos à janela "Solo". Aqui, defina os parâmetros dos solos, conforme mostram as imagens seguintes, através do botão "Adicionar". Começamos por adicionar o solo S-F, que está presente atrás do muro. Depois, adicionamos o solo MS, que forma a fundação.

| Adicionar novos solos | | | | | × |
|-----------------------------------|-------------------|-------|----------------------|----------|------------------------------|
| — Identificação ——— | | | | | — Desenhar ——— |
| Nome : | S-F | | | | Categoria de padrão : |
| | | | | | GEO |
| — Dados base ——— | | | | ? | Procurar : |
| Peso volúmico : | γ = | 17.50 | [kN/m ³] | | Subcategoria : |
| Estado de tensão : | efetivo | | • | | Solos (1 - 16) |
| Ângulo de atrito interno : | φef = | 28.00 | [°] | | Padrão : |
| Coesão do solo : | c _{ef} = | 0.00 | [kPa] | | |
| Ângulo de atrito estrusolo : | δ = | 18.50 | [°] | | |
| — Empuxo em repouso — | | | | ? | |
| Solo : | não coesiv | 0 | - | | 2 Silte arenoso |
| | | | | | Cor : |
| — Computação de empuxo | s ——— | | | ? | • |
| Cálculo da prossão hidrostática : | padrão | | - | | Fundo : |
| | paurao | 10.00 | | | automático 💌 |
| Peso volúmico saturado : | γsat = | 18.00 | [kN/m³] | | Saturação <10 - 90> : 50 [%] |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Classificar Limpar | | | | | 🕂 Adicionar 🗙 Cancelar |

Caixa de diálogo "Adicionar novos solos" – adicionar solo S-F



| Adicionar novos solos | | | × |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|---------------------------------------|
| — Identificação ———— | | | — Desenhar ——— |
| Nome : | MS | | Categoria de padrão : |
| | | | GEO |
| — Dados base ——— | | ? · | Procurar : |
| Peso volúmico : | $\gamma = 18.00 \ [kN/m^3]$ | | Subcategoria : |
| Estado de tensão : | efetivo | | Solos (1 - 16) |
| Ângulo de atrito interno : | φef = 26.50 [°] | | Padrão : |
| Coesão do solo : | Cef = 30.00 [kPa] | | |
| Ângulo de atrito estrusolo : | δ = 17.50 [°] | | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · |
| — Empuxo em repouso — | | ? · | |
| Solo : | não coesivo | | 1 Silte |
| | | | Cor : |
| — Computação de empuxo |)S | ? | ▼ |
| Cálculo do prossão hidrostático : | nadrão 💌 | | Fundo : |
| Calculo da pressao hidrostatica. | | | automático 💌 |
| Peso volúmico saturado : | γsat = 18.50 [kN/m ³] | | Saturação <10 - 90> : 50 [%] |
| | | | |
| | | | |
| Classificar Limpar | | | 🕂 Adicionar 🗙 Cancelar |

Caixa de diálogo "Adicionar novos solos" – adicionar solo MS

Nota: O valor do empuxo ativo também depende do atrito entre a estrutura e o solo. O ângulo de atrito depende do material da estrutura e do ângulo de atrito interno do solo – normalmente está dentro do intervalo $\delta \approx \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) \cdot \varphi_{ef}$.



Atribuímos os solos às camadas geológicas na janela "Atribuir".



Janela "Atribuir"

Na janela "Terreno", selecionamos a forma de terreno horizontal.



Janela "Terreno"



Passamos à janela "Nível freático" e selecionamos as condições do nível freático nas proximidades da estrutura e os seus parâmetros, conforme mostra a imagem abaixo.

| h ₁ | — Parâmetros do nível freático — | | |
|----------------|--------------------------------------------------|-------------------------|------------|
| | Nível freático atrás da estrutura : | h1 = | 2.00 [m] |
| | Nível freático à frente da estrutura : | h2 = | [m] |
| | Sub-pressão da sapata devido à diferença de níve | eis freáticos : não con | siderado 🔻 |
| ático | Junta de dilatação | | |
| el fre | Profundidade da junta de dilatação : | ht = | [m] |
| N | | | |

Janela "Nível freático"

De seguida, avançamos para a janela "Sobrecarga". Clique no botão adicionar e selecione uma sobrecarga contínua permanente, com o valor de 10 kN/m³, atuante no terreno como uma carga morta, com um desenvolvimento de 5 metros, conforme mostra a imagem abaixo.

| Nova sobrecarga | | | | · | × |
|------------------|--------|------------|----------------------|-------------|------------|
| Nome : L1 | | | | | |
| — Propriedades o | da sol | brecarga | | | |
| Tipo : | | Contínua | | • | |
| Tipo de ação : | | permanente | | • | |
| Localização : | | no terreno | | • | |
| Origem : | x = | 0.00 | [m] | | |
| Comp. : | I = | 5.00 | [m] | _ | |
| | | | | ſ | |
| | | | | | |
| — Valor da sobre | carga | 1 | | | |
| Valor : | q = | 10.00 | [kN/m ²] | | |
| | | | | | |
| | | | | A dicionar | Y Cancalar |
| | | | | T Adicionar | |

Caixa de diálogo "Nova sobrecarga"



Na janela "Resistência da FF", selecione a forma do terreno à frente do muro e defina outros parâmetros de resistência da face frontal.

| 1 | | - Parâmetros da resistên | cia na face frontal |
|-------------------|---|--------------------------|---------------------|
| | 1 | | |
| | | lipo de resitência : | nao considerado |
| | | Solo : | MS |
| Resistência da FF | | Espessura : | h = 1.00 [m] |

Janela "Resistência da FF"

Nota: Neste caso, não consideramos a resistência da face frontal, fazendo com que os resultados sejam conservativos. A resistência da face frontal depende da qualidade do solo e do deslocamento da estrutura permitido. Podemos considerar um empuxo em repouso para o solo original, ou um solo bem compactado. Apenas é possível considerar empuxos passivos se o deslocamento da estrutura for permitido. (para mais informações, veja a Ajuda – F1).

Seguidamente, na janela "Configurações da etapa", selecione o tipo de situação do projeto como situação permanente e a pressão atuante na parede como: O muro pode sofrer deformações (empuxo ativo), uma vez que o muro poderá sofrer deformações.

| ' | Situação do projeto : | permanente |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| | Pressão atuante na parede : | O muro pode sofrer deformações (empuxo ativo) |
| Configurações da etapa | Pressão atuante no tardoz : | pressão em repouso |

Janela "Configurações da etapa"

Nota: Normalmente, o tardoz é dimensionado para empuxos em repouso, isto é, o muro não pode sofrer deformações. A possibilidade de avaliar o tardoz e o muro para empuxos ativos apenas é considerada em casos excecionais – como é o caso dos efeitos de sismos (situação de dimensionamento sísmico com coeficiente parcial igual a 1.0).

Agora, a nossa tarefa apresenta o aspeto seguinte:



Estrutura em análise

Agora, abra a janela "Verificação", onde pode analisar os resultados para o tombamento e deslizamento do muro de flexão.

| 1 | Verificação | o: 🕀 🕞 [1] | | | | | | | | | |
|---------|-------------|-----------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|---|-----------------|--------------|-----------|
| | No. | Força | — Verificação — | | | | | | | | |
| | de força | | [kN/m] | [kN/m] | x [m] | z [m] | carga | | TOMBAMENTO : | SATISFAZ | (52.7%) |
| | 1 | Peso - parede | 0.00 | 61.00 | 0.87 | -1.38 | | | DESLIZAMENTO · | ΝÃΟ SATISFAZ | (124 5%) |
| | | Peso - cunha de terra | 0.00 | 23.55 | 1.31 | -1.54 | | | DESELEMINE TO . | | (121.370) |
| | | Empuxo ativo | -42.28 | 60.25 | 1.80 | -1.46 | | | | | |
| | 4 | Pressão da água | -20.00 | 0.00 | 0.80 | -0.67 | | | | | |
| 0 | | Pressão de elevação | 0.00 | 0.00 | 0.80 | -4.00 | | | | | |
| açã | | L1 | -7.99 | 8.67 | 1.61 | -2.08 | | | | | |
| Verific | | · | | | | | | - | | | |

Janela "Verificação"



Nota: O botão "Em detalhe", na parte direita da janela, abre a caixa de diálogo com a informação detalhada dos resultados da análise.

Resultados da análise:

A verificação para o deslizamento não é satisfatória. A utilização da estrutura é a seguinte:

 Verificação da estabilidade ao tombamento

 Momento resistente
 M_{res} = 208,17 kNm/m

 Momento de tombamento
 M_{ovr} = 109,75 kNm/m

 Resistência do muro ao tombamento É SATISFATÓRIA

Verificação de deslizamento

Força horizontal resistente H_{res} = 65,74 kN/m Força horizontal ativa H_{act} = 81,83 kN/m Resistência do muro ao deslizamento NÃO É SATISFATÓRIA

A verificação para o deslizamento não é satisfatória e, assim, teremos que alterar o dimensionamento. Existem várias alternativas para melhorar o dimensionamento. Por exemplo, é possível:

- Utilizar um solo com melhores características atrás do muro
- Ancorar a base
- Aumentar o atrito ao encurvar a base da fundação
- Ancorar o tardoz

Estas alterações seriam complexas a nível económico e tecnológico, sendo que vamos optar por uma alternativa mais conveniente, que consiste na alteração da geometria do muro e introduzir um dente na base do muro.

Alterar o dimensionamento: alterar a forma e a geometria do muro

Volte à janela "Geometria" e altere a forma do muro de flexão. Para aumentar a resistência contra o deslizamento, introduzimos um dente na base do muro. Altere a forma do muro e os valores de x_1 e x_2 conforme mostra a imagem.

| 1 | LL | Д | | - | Ŀ | Д | Л | | L L | 1 | <u> </u> | | L | ⊥ | . 1 |
|-------|-------------------------------|-------|------------------|-----|------------------|------|-----|------------------|------|-----|-----------|---------|----|---|-----|
| | <u>, k</u> , | — Geo | metria da parede | | | | | | | | — Contraf | orte — | | | |
| | | k = | 0.40 | [m] | v1 = | 0.40 | [m] | s1 = | | [-] | Tipo não | inserid | lo | • | |
| | h s ₂ :1 | h = | 3.60 | [m] | v2 = | 1.70 | [m] | s ₂ = | 0.00 | [-] | | | | | |
| | V ₁ V ₂ | h1 = | | [m] | v3 = | | [m] | Haste | 0.40 | [m] | | | | | |
| | | h2 = | | [m] | x1 = | 0.80 | [m] | x3 = | 0.00 | [m] | | | | | |
| | x2 x3 | xx = | 0.40 | [m] | x ₂ = | 0.50 | [m] | | | | | | | | |
| etria | | Z1 = | | [m] | k1 = | | [m] | | | | | | | | |
| Geom | | Z2 = | | [m] | | | | | | | | | | | |

Janela "Geometria" (Alteração das dimensões do muro de flexão)

Nota: O dente da base do muro é, normalmente, analisado como uma base de fundação inclinada. Se a influência do dente da base for avaliada como resistência da face frontal, o programa analisa-o como uma fundação plana, mas a resistência da face frontal da estrutura é analisada para a profundidade da parte inferior do dente da base do muro. (Mais informação em Ajuda – F1)



Nova forma da estrutura

Volte a analisar a nova estrutura para o tombamento e deslizamento.

| No. | Força | Fx | Fz | Ponto de a | aplicação | Menor | — Verificação —— | | |
|----------|-----------------------|--------|--------|------------|-----------|-------|------------------|----------|----------|
| de força | | [kN/m] | [kN/m] | x [m] | z [m] | carga | TOMBAMENTO : | SATISFAZ | (49.0%) |
| 1 | Peso - parede | 0.00 | 66.00 | 0.97 | -1.26 | | DESLIZAMENTO · | SATISFA7 | (64.2%) |
| | Peso - cunha de terra | 0.00 | 23.55 | 1.31 | -1.54 | | DESERVICENTO | SATISTAL | (01.270) |
| | Empuxo ativo | -42.28 | 60.25 | 1.80 | -1.46 | | | | |
| 4 | Pressão da água | -28.80 | 0.00 | 0.80 | -0.40 | | | | |
| | Pressão de elevação | 0.00 | 0.00 | 0.80 | -4.00 | | | | |
| | L1 | -7.99 | 9.06 | 1.65 | -2.08 | | | | |

Janela "Verificação"

Agora, tanto o tombamento como o deslizamento do muro estão satisfatórios (Utilização: 49.0 % e 64.2%).



Seguidamente, na janela "Capacidade de carga", execute a análise para o dimensionamento da capacidade de suporte do solo de fundação - 175 kPa.

| 1 | Cálculo da capacidade de carga do solo de Inserir capacidade de carga do solo de fu Analisar a cap. de carga com o programa Analisar a cap. de carga com o programa Não calcular | Em detalhe Verificação EXCENTRICIDADE: SOLO DE FUNDAÇÃO: | SATISFAZ SATISFAZ | (66.5%) (79.9%) | | |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|--|--|
| | Tensão na base da fundação : | retangular | - | | | |
| æ | Cap. de carga da fundação do solo : $R =$ | 175.00 | [kPa] | | | |
| e carg | Comprimento total da fundação da parede : | | [m] | | | |
| Cap. de | Executar programa | | | | | |

Janela "Capacidade de carga"

Nota: Neste caso, analisamos a capacidade de suporte do solo de fundação como um valor introduzido, que pode ser obtido a partir de prospeção geológico-geotécnica ou a partir de algumas Normas. Estes valores são, de forma geral, altamente conservativos, sendo melhor analisar a capacidade de suporte do solo de fundação no programa "Sapata", que considera a influência de outros parâmetros como a inclinação do carregamento, a profundidade da fundação, etc.

Na janela "Dimensionamento", selecione a verificação do tardoz do muro. Dimensione a armadura principal para o tardoz -10 varões Ø 12 mm, de modo a satisfazer todos os princípios de dimensionamento.



Janela "Dimensionamento"



| Verificação da haste do muro - armadura traseira — | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|----------|---------|--|--|--|--|--|
| CORTANTE : | SATISFAZ | (80,4%) | | | | | |
| FLEXÃO : | SATISFAZ | (85,4%) | | | | | |
| PRINCÍPIOS DE DIM. : | SATISFAZ | (41,8%) | | | | | |

"Resultados Detalhados"

Agora, abra a janela "Estabilidade" e analise a estabilidade global do muro. Será iniciado o programa "Estabilidade de Taludes", onde iremos abrir a janela "Análises". No nosso caso, vamos utilizar o método de "*Bishop*", que fornece resultados conservativos. Execute a análise com otimização da superfície de deslizamento circular através do botão "Analisar", para executar os cálculos necessários, e, após finalizar, saia do programa através do botão "Guardar e sair". Os resultados serão transferidos para o relatório da análise do programa "Muro de Flexão".

| I | Análises : 🛨 | [1] | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|-----------------|------------------------|---|------------------------------|----------|--------------|---------|--------|-----------|--------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| | | Superfície de d | eslizamento : circular | • | 🞜 🔗 Su | bstituir | graficamente | | Editar | via texto | × Rem | nover | C⊅ Converter para polígon | D |
| | Applicar | — Parâmetros d | las análises | | Superfíc | ie de de | slizamento c | ircular | · | | | Veri | ificação da estabilidade d | e talude (Bishop) |
| | Analisar | Método : | Bishop | • | Centro : | x = | -0.59 | [m] | z = | 0.7 | 70 [m] | Som Som | na de forças ativas : F _a na de forças passivas : F _b | = 154.34 kN/m = 391.16 kN/m |
| | | Tipo de análise | : Otimização | - | Raio : | R = | 5.60 | [m] | | | | Mon | mento de deslizamento : Ma | = 864.33 kNm/m |
| Análises | | Restrições n | ão está inserido | | Ângulos : | α1 = | -48.65 | [°] | α2 = | 82.8 | 32 [°] | Mon Utili: Estal | nento de resistência : M _p zação : 39.5 % bilidade de talude VERIFICA | = 2190.48 kNm/m |

Programa "Estabilidade de Taludes" – janela "Análise"

Conclusão:

| _ | Tombamento: 49.0 % | $M_{res} = 218,35 > M_{ovr} = 107,94$ | [kNm/m] | SATISFAZ |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|---------|----------|
| _ | Deslizamento: 64.2 % | $H_{res} = 99,26 > H_{act} = 64,38$ | [kN/m] | SATISFAZ |
| _ | Cap. de suporte: 80.4 % | $R_d = 175 > \sigma = 140,31$ | [kPa] | SATISFAZ |
| — | Verif. da haste: 85.4 % | $M_{Rd} = 169,92 > M_{Ed} = 145,18$ | [kN·m] | SATISFAZ |
| | | | | |
| - | Estabilidade global: 39.5 % | Método – Bishop (otimização) | | SATISFAZ |

O dimensionamento do muro de flexão é SATISFATÓRIO.