

Dimensionamento de um muro de flexão

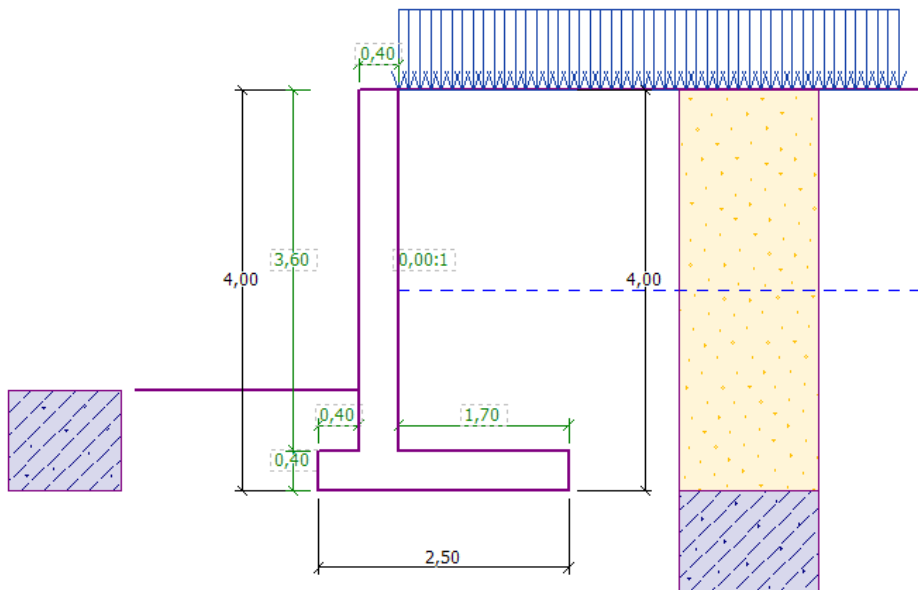
Programa: Muro de Flexão

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 [m]	Peso volúmico γ [kN/m ³]	Ângulo de atrito interno φ_{ef} [°]	Coesão do solo c_{ef} [kPa]	Ângulo de atrito estrutura – solo $\delta =$ [°]	Peso volúmico saturado γ_{sat} [kN/m ³]
S-F	0.0 – 4.0	17.5	28.0	0.0	18.5	18.0
MS	> 4.0	18.0	26.5	5.0	17.5	18.5

Resolução

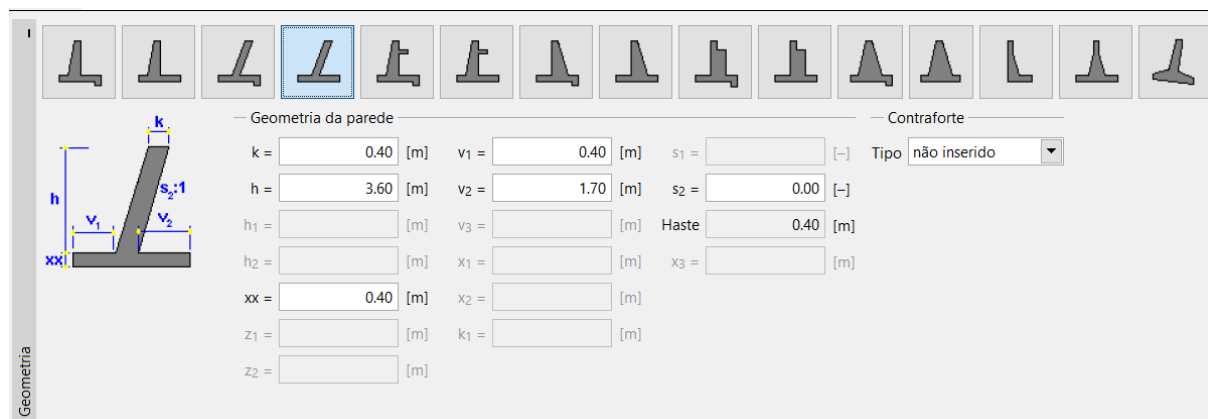
Para resolver este problema, iremos utilizar o programa GEO5 “Muro de Flexão”. Neste texto, iremos explicar como resolver este exemplo passo-a-passo.

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



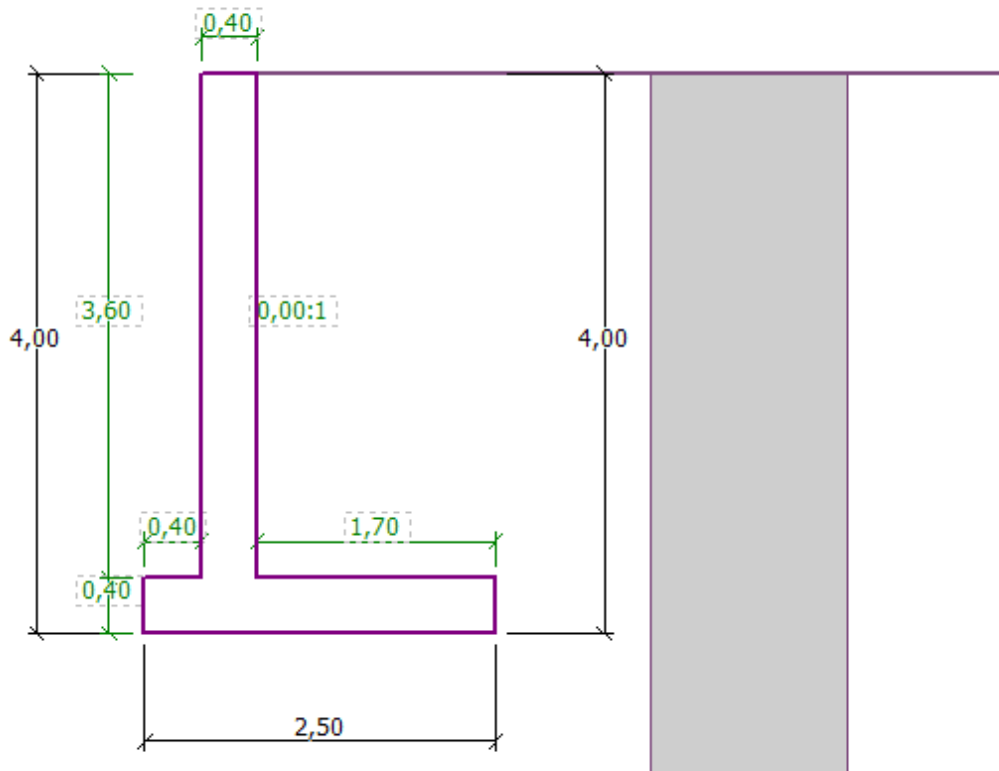
Caixa de diálogo “Lista de configurações”

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



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.

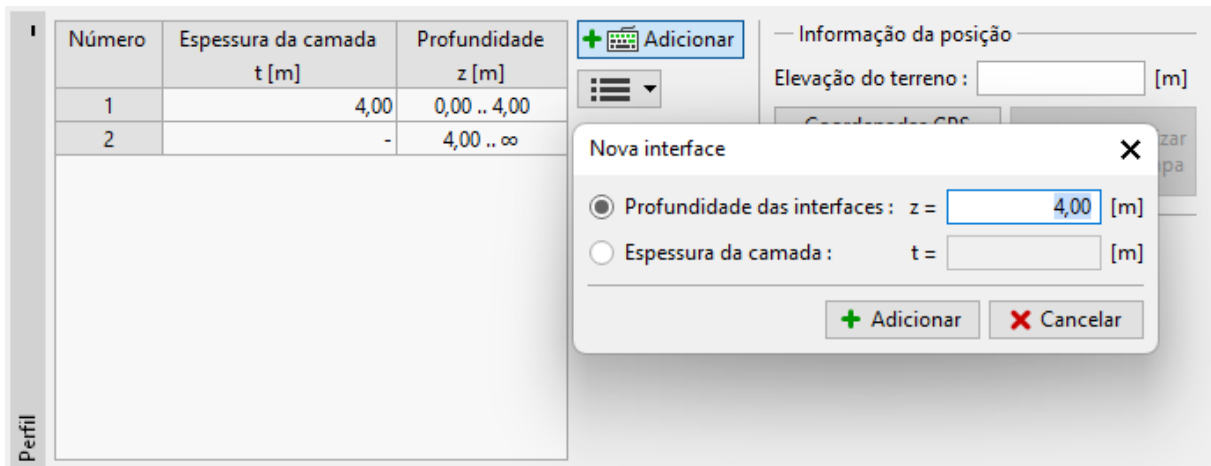
[kN/m³]

— Betão — — Armadura longitudinal —

Betão		Armadura longitudinal	
Catálogo	Personalizado	Catálogo	Personalizado
C 20/25 $f_{ck} = 20,00 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 2,20 \text{ MPa}$ $E_{cm} = 30000,00 \text{ MPa}$		B500B $f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$	

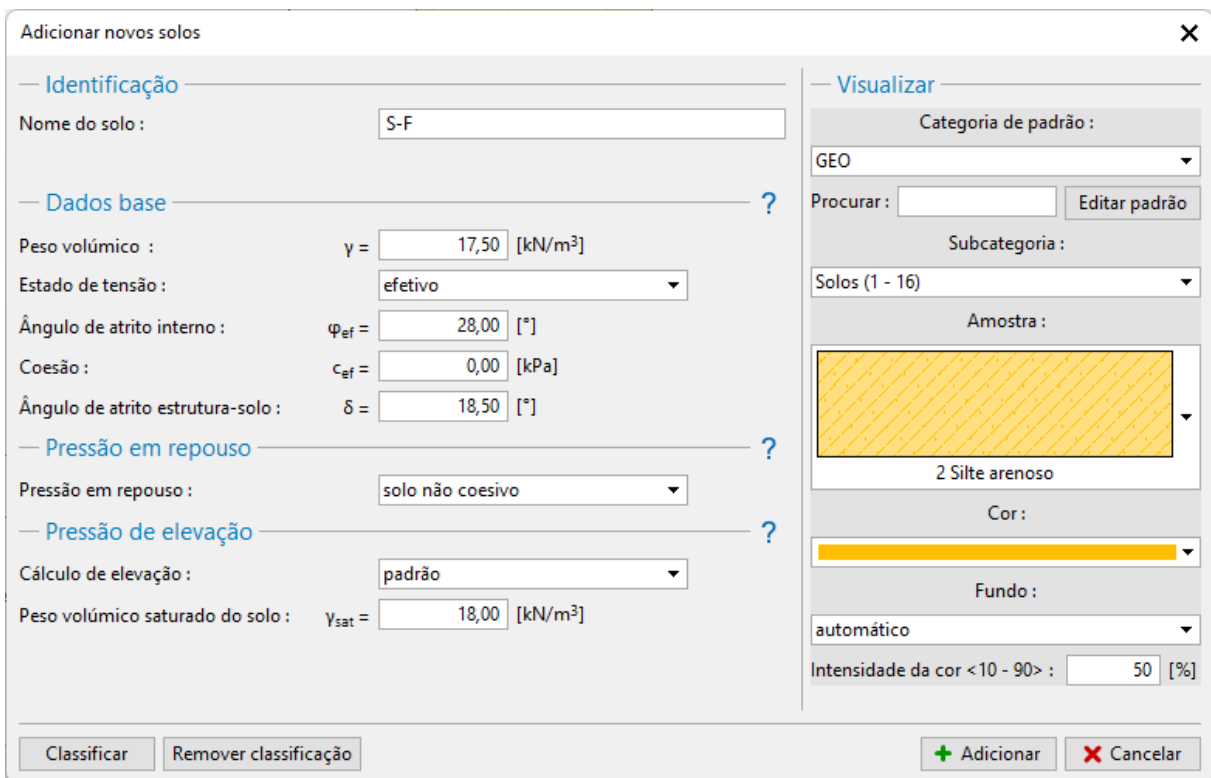
Janela "Material" – Introdução das características materiais da estrutura

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



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.



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

Adicionar novos solos
✕

— Identificação

Nome do solo :

— Dados base ?

Peso volúmico : $\gamma =$ [kN/m³]

Estado de tensão :

Ângulo de atrito interno : $\varphi_{ef} =$ [°]

Coesão : $c_{ef} =$ [kPa]

Ângulo de atrito estrutura-solo : $\delta =$ [°]

— Pressão em repouso ?

Pressão em repouso :

— Pressão de elevação ?

Cálculo de elevação :

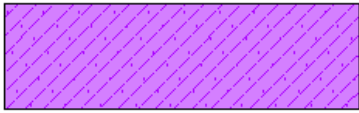
Peso volúmico saturado do solo : $\gamma_{sat} =$ [kN/m³]

— Visualizar

Categoria de padrão :

Procurar :

Subcategoria :

Amostra : 

2 Silte arenoso

Cor :

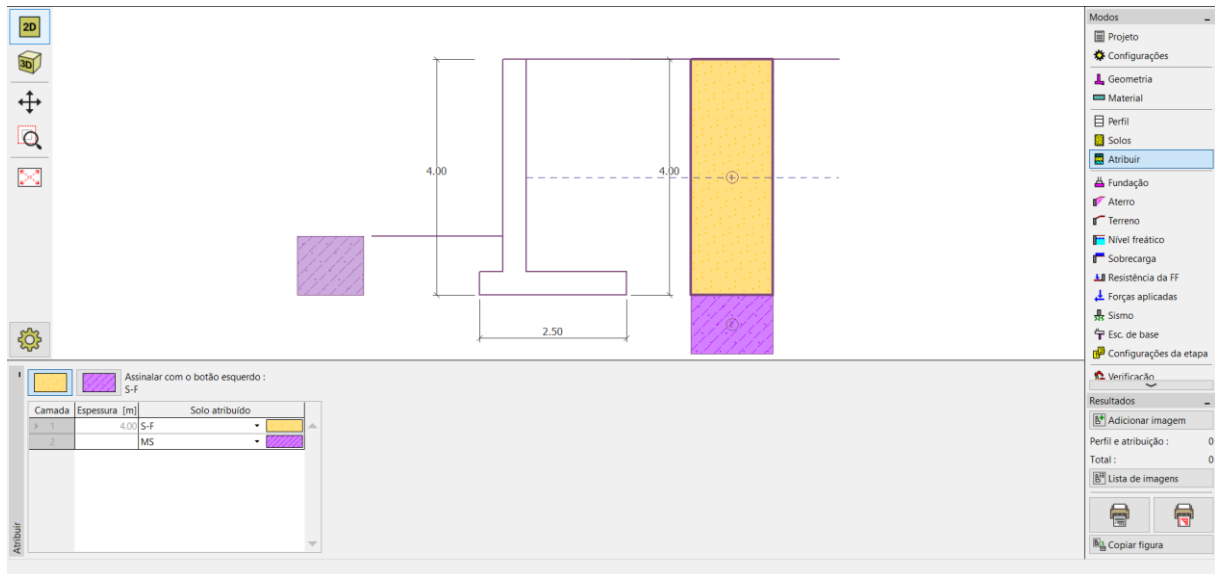
Fundo :

Intensidade da cor <10 - 90> : [%]

Caixa de diálogo “Adicionar novos solos” – adicionar solo MS

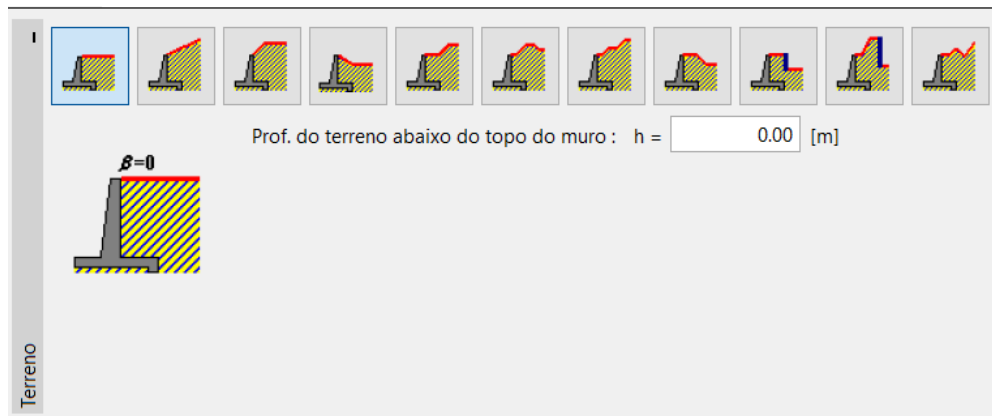
Nota: O valor do empuxo ativo também depende do atrito entre a estrutura e o solo. O ângulo de atrito depende do material da estrutura e do ângulo de atrito interno do solo – normalmente está dentro do intervalo $\delta \approx \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) \cdot \varphi_{ef}$.

Atribuímos os solos às camadas geológicas na janela “Atribuir”.



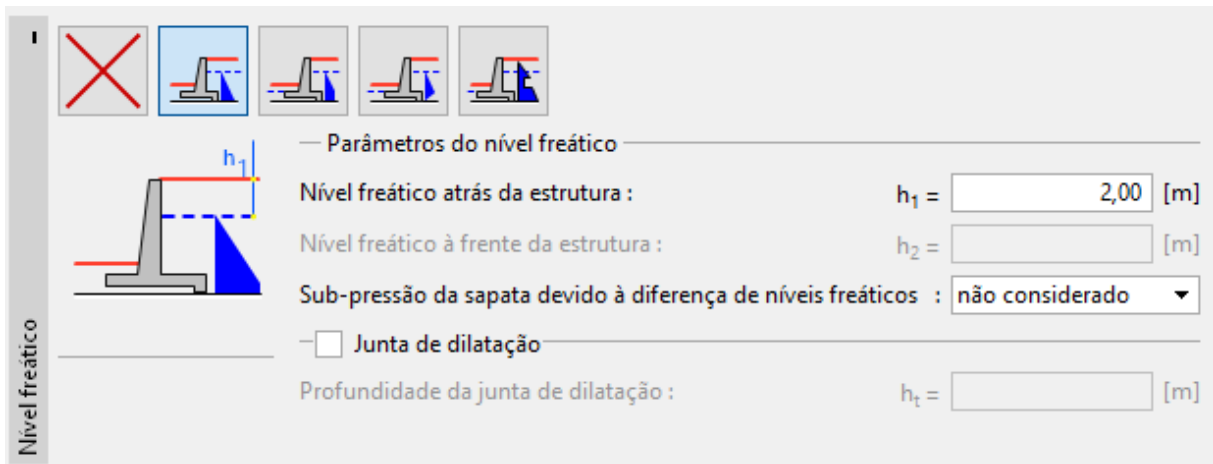
Janela “Atribuir”

Na janela “Terreno”, selecionamos a forma de terreno horizontal.



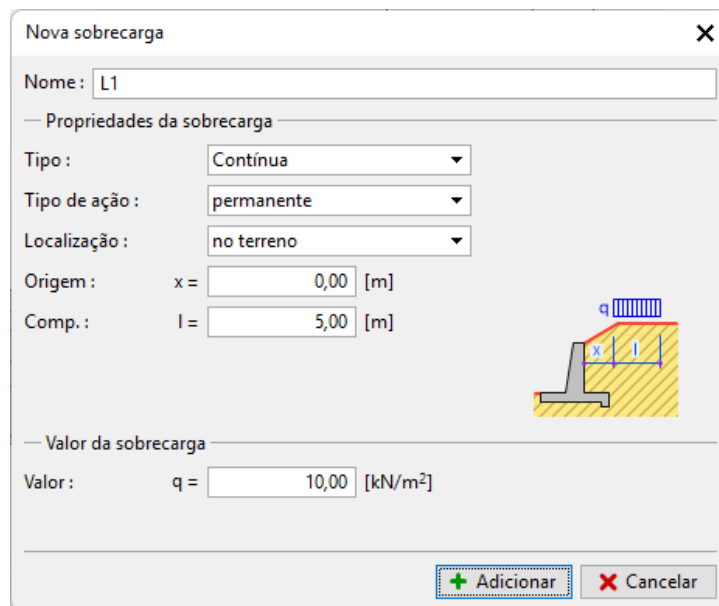
Janela “Terreno”

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.



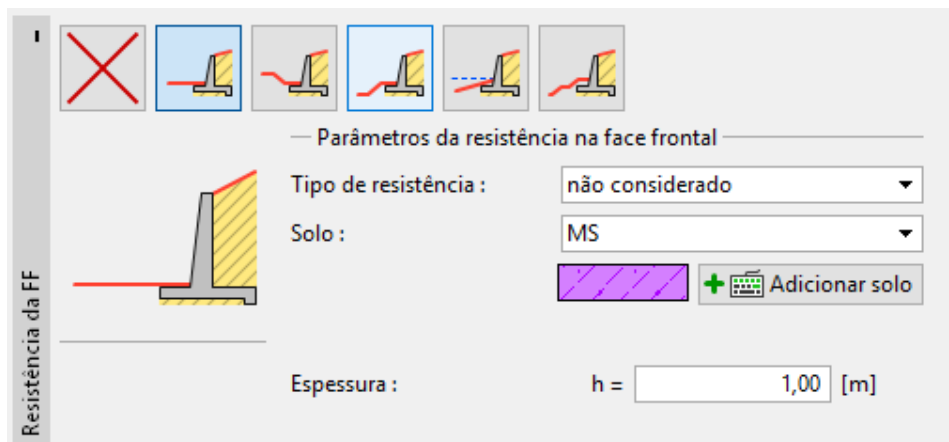
Janela “Nível freático”

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.



Caixa de diálogo “Nova sobrecarga”

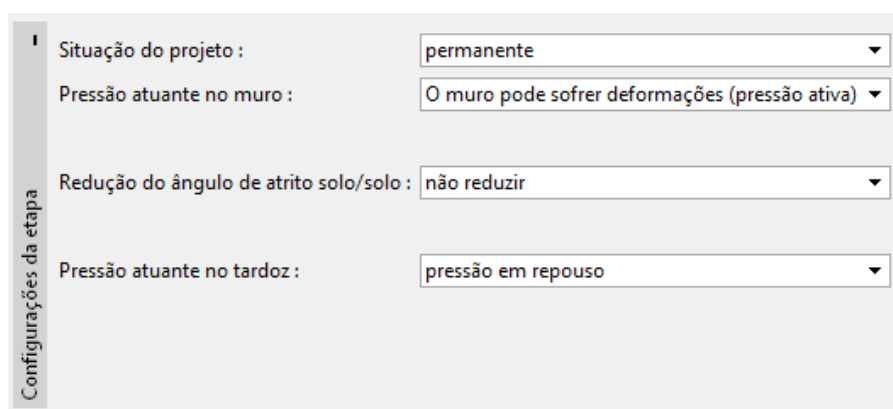
Na janela “Resistência da FF”, selecione a forma do terreno à frente do muro e defina outros parâmetros de resistência da face frontal.



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).

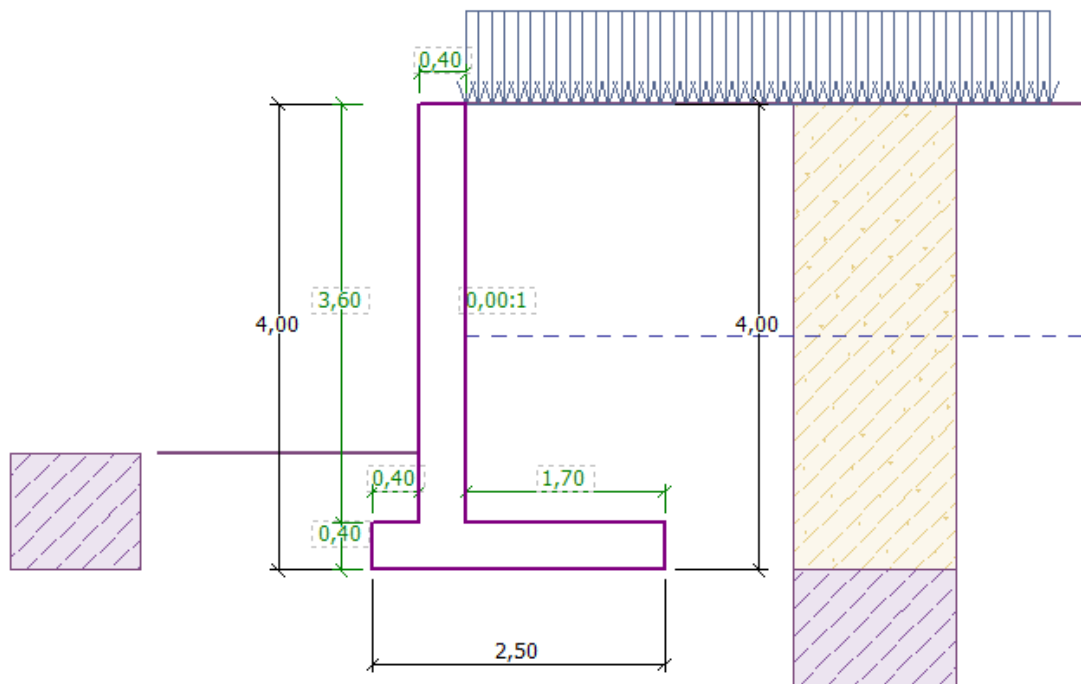
Seguidamente, na janela “Configurações da etapa”, selecione o tipo de situação do projeto como situação permanente e a pressão atuante na parede como: O muro pode sofrer deformações (empuxo ativo), uma vez que o muro poderá sofrer deformações.



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 excepcionais – 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.

Número	Força	F_x [kN/m]	F_z [kN/m]	Ponto de aplicação		Menor carga	Verificação
				x [m]	z [m]		
1	Peso - muro	0,00	61,00	0,87	-1,38	<input type="checkbox"/>	TOMBAMENTO: SATISFAZ (52,5%) DESlizAMENTO: NÃO SATISFAZ (119,7%)
2	Peso - solo	0,00	4,32	0,20	-0,70	<input type="checkbox"/>	
3	Peso - cunha de terra	0,00	23,55	1,31	-1,54	<input type="checkbox"/>	
4	Pressão ativa	-42,28	60,25	1,80	-1,46	<input type="checkbox"/>	
5	Pressão da água	-20,00	0,00	0,80	-0,67	<input type="checkbox"/>	
6	Pressão de elevação	0,00	0,00	0,80	-4,00	<input type="checkbox"/>	
7	L1	-7,99	8,67	1,61	-2,08	<input type="checkbox"/>	

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 $M_{res} = 209,03 \text{ kNm/m}$

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

Resistência do muro ao tombamento É SATISFATÓRIA

Verificação de deslizamento

Força horizontal resistente $H_{res} = 68,37 \text{ kN/m}$

Força horizontal ativa $H_{act} = 81,83 \text{ kN/m}$

Resistência do muro ao deslizamento NÃO É SATISFATÓRIA

Verificação global - MURO NÃO É SATISFATÓRIA

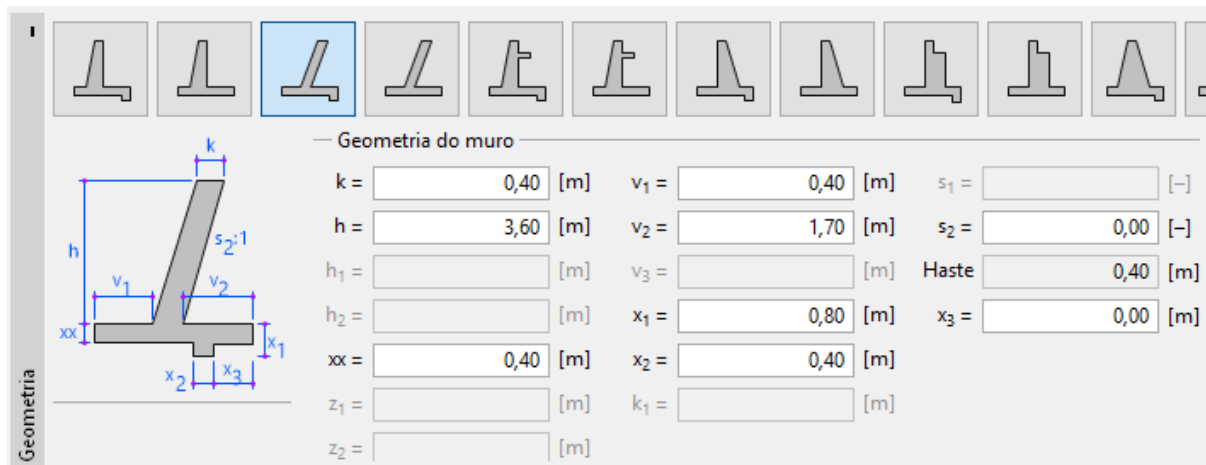
A verificação para o deslizamento não é satisfatória e, assim, teremos que alterar o dimensionamento. Existem várias alternativas para melhorar o dimensionamento. Por exemplo, é possível:

- 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.

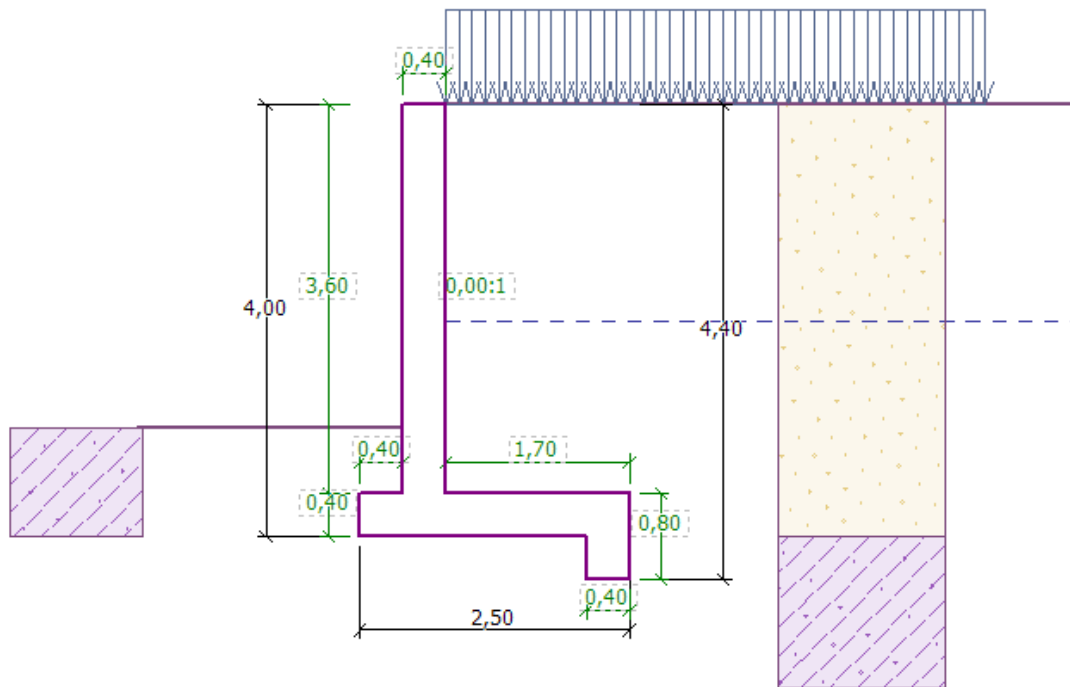
Alterar o dimensionamento: alterar a forma e a geometria do muro

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.



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.

Verificação						
Verificação : <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> [1]						
Número	Força	F_x [kN/m]	F_z [kN/m]	Ponto de aplicação x [m] z [m]		Menor carga
1	Peso - muro	0,00	65,00	0,95	-1,28	<input type="checkbox"/>
2	Peso - solo	0,00	4,32	0,20	-0,70	<input type="checkbox"/>
3	Peso - cunha de terra	0,00	23,55	1,31	-1,54	<input type="checkbox"/>
4	Pressão ativa	-47,11	61,78	1,82	-1,29	<input type="checkbox"/>
5	Pressão da água	-28,80	0,00	0,80	-0,40	<input type="checkbox"/>
6	Pressão de elevação	0,00	0,00	0,80	-4,00	<input type="checkbox"/>
7	L1	-9,28	9,07	1,65	-1,76	<input type="checkbox"/>

— Verificação

TOMBAMENTO : SATISFAZ (47,6%)

DESLIZAMENTO : SATISFAZ (93,5%)

Janela "Verificação"

Agora, tanto o tombamento como o deslizamento do muro estão satisfatórios

(Utilização: 47.6 % e 93.5%).

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

Cap. de carga

— Cálculo da capacidade de carga do solo de fundação —

- Inserir capacidade de carga do solo de fundação
- Analisar a cap. de carga com o programa "Sapata"
- Analisar a cap. de carga com o programa "Sapata CPT"
- Não calcular

Tensão na base da fundação :

Cap. de carga última do solo de fundação : R = [kPa]

Comprimento total da fundação do muro : [m]

— Verificação —

EXCENTRICIDADE: **SATISFAZ** (66,0%)

SOLO DE FUNDAÇÃO: **SATISFAZ** (89,1%)

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 tardo do muro. Dimensione a armadura principal para o tardo – 10 varões Ø 12 mm, de modo a satisfazer todos os princípios de dimensionamento.

Dimensionamento

— Localização do dimensionamento —

- Verificação da haste do muro - armadura frontal
- Verificação da haste do muro - armadura traseira **SATISFAZ** (86,4%)
- Verificação do avanço do muro
- Verificação do dente do muro

Largura da secção transversal : b = [m]

Verificação da haste do muro - armadura traseira

Dados para dimensionamento

Cobrimento da armadura : [mm]

Número de barras : [pcs]

Diâmetro da barra : [mm]

— Armadura adicional —

Número	Distância h ₁ [m]	Distância h ₂ [m]	N.º de barras [pcs]	Perfil [mm]

— Área de armadura —

Área de armadura necessária : **970,2 mm²**

Área de armadura introduzida : **1131,0 mm²**

Análise de fendilhação Com a influência da força normal

Fendilhação máx. : w_{max} = [mm]

Número	Força	F _x [kN/m]	F _z [kN/m]	Ponto de aplicação x [m]	z [m]	Menor carga
1	Peso - muro	0,00	35,99	0,20	-1,80	<input type="checkbox"/>
2	Pressão em repouso	-53,68	0,00	0,40	-1,28	<input type="checkbox"/>
3	Pressão da água	-12,78	0,00	0,40	-0,53	<input type="checkbox"/>
4	Pressão de elevação	0,00	0,00	0,40	-3,60	<input type="checkbox"/>
5	L1	-17,15	0,00	0,40	-1,94	<input type="checkbox"/>

— Verificação da haste do muro - armadura traseira —

TRANSVERSO : **SATISFAZ** (80,7%) Profundidade = 3,60 m

FLEXÃO : **SATISFAZ** (86,4%) Profundidade = 3,60 m

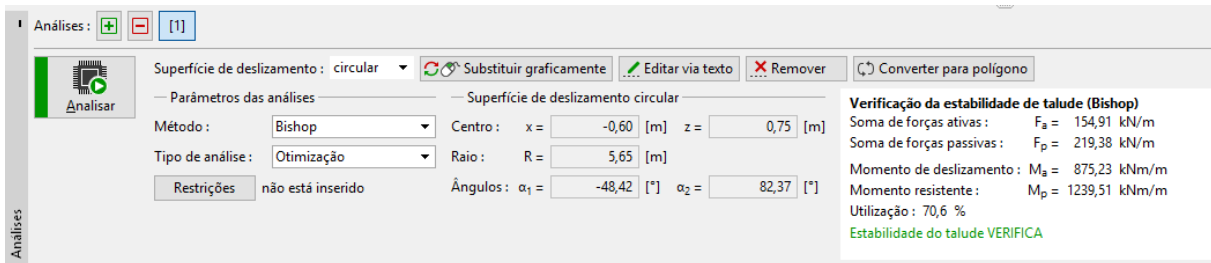
PRINCÍPIOS DE DIM. : **SATISFAZ** (41,8%)

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”.



Programa “Estabilidade de Taludes” – janela “Análise”

Conclusão:

- Tombamento: 47.6 % SATISFAZ
- Deslizamento: 93.5 % SATISFAZ
- Cap. de suporte: 89.1 % SATISFAZ
- Verif. da haste: 86.4 % SATISFAZ
- Estabilidade global: 70.6 % Método – Bishop (otimização) SATISFAZ

O dimensionamento do muro de flexão é **SATISFATÓRIO**.