

Estabilização de taludes através de estacas anti-deslizantes

Programa: Estabilidade de Taludes, Estaca Anti-Deslizante

Arquivo: Demo_manual_19.gst

Introdução

As estacas anti-deslizantes são utilizadas para estabilizar encostas. Esta estrutura é semelhante a uma cortina de estacas, que é totalmente (ou quase totalmente) realizada no talude. Esta cortina de estacas intersesta a superfície de deslizamento e ajuda a evitar possíveis deslizamentos de terras. Normalmente, estas estacas têm seções transversais largas, que podem ser circulares ou quadrangulares.

O talude, para ser estabilizado através de estacas anti-deslizantes, deve verificar várias condições. Primeiro, é necessário conhecer a posição da superfície de deslizamento (a sua profundidade abaixo da superfície do terreno onde será inserida a estaca anti-deslizante). Outro aspeto importante é a condição da rocha (solo) abaixo da superfície de deslocamento, que não se deve encontrar erodida ou debilitada, uma vez que tem que transferir a sobrecarga a partir das estacas.

A análise das estacas anti-deslizantes pode ser dividida em duas fases. Primeiro, é necessário analisar a estabilidade global do talude. Nesta fase, vamos utilizar o programa GEO5 Estabilidade de Taludes. Através deste programa, obtemos as forças que irão atuar nas estacas para definir o fator de segurança necessário. Se a posição exata da superfície de deslizamento não for conhecida (a partir de investigações geotécnicas, por exemplo), é possível determina-la através deste programa, com recurso à otimização. A otimização procura a pior posição possível para a superfície de deslizamento (superfície crítica associada ao fator de segurança mais reduzido). A segunda fase é a análise realizada através do programa GEO5 Estaca Anti-deslizante. Neste programa, é necessário dimensionar e verificar as estacas. Os resultados desta análise são a distribuição das forças internas e o deslocamento horizontal das estacas.

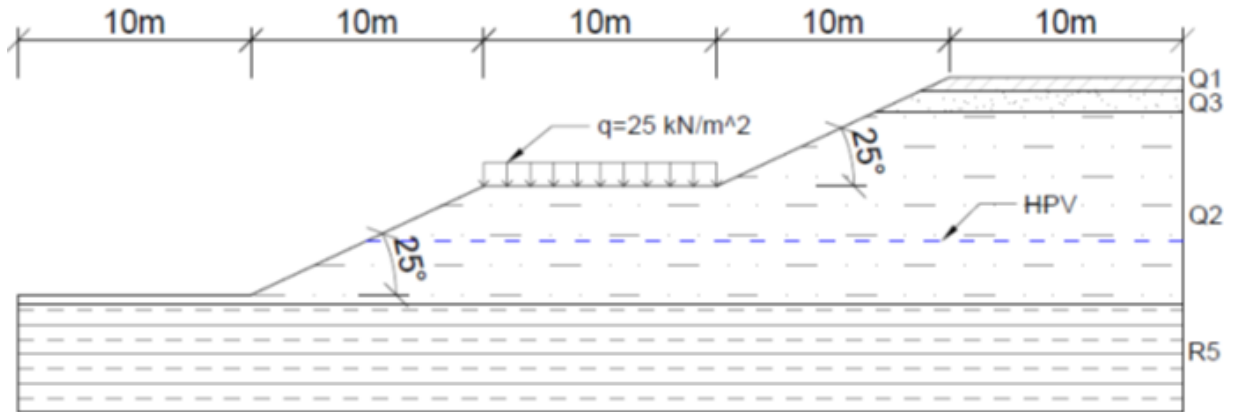
A imagem seguinte mostra um exemplo da utilização de estacas anti-deslizantes para estabilizar um talude onde foi executada uma via rodoviária. Este Manual de engenharia contém a resolução passo-a-passo de um exemplo semelhante.



Estacas anti-deslizantes (totalmente abaixo da superfície)

Definição do problema

Dimensione a estabilização de um talude com recurso a estacas anti-deslizante, de acordo com o esquema abaixo. O fator de segurança para a estabilidade **global** do talude deve ser, no mínimo, $FS = 2.0$. Considere uma situação de projeto permanente para esta estabilização.



Esboço da tarefa

A sobrecarga imposta pela estrada apresenta o valor de 25 kN/m^2 .

Os parâmetros geotécnicos do local em análise são apresentados na tabela seguinte:

Camada	Prof. (m)	ČSN 73 1001	$\gamma/\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m^3)	ϕ_{ef} ($^\circ$)	C_{ef} (kPa)	E_{def} (Mpa)	ν (-)
Silte com plasticidade reduzida F5/ML0 (Q1)	0.0 - 0.6	F5/ML	21/22	20	14	4	0.4
Argila arenosa (Q3)	0.6 - 1.5	F4/CS	18.5/19.5	26	4	8	0.35
Areia argilosa (Q2)	1.5 - 9.72	S5/SC	18/18.5	22	5	5	0.35
Ardósia muito degradada (R5)	9.72 - 17	R5	24/24.2	29	30	15	0.35

Parâmetros geotécnicos

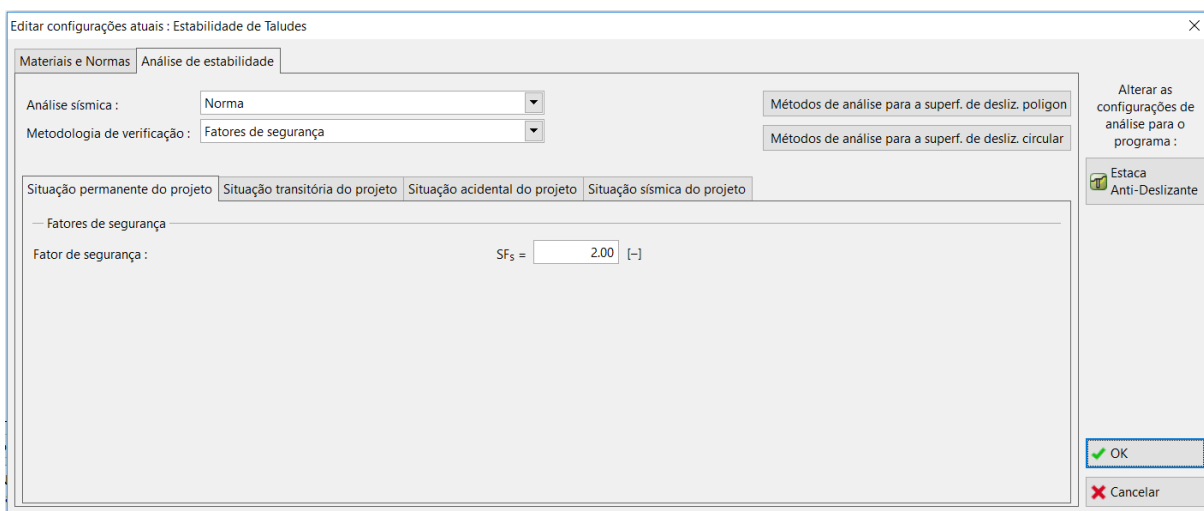
O nível freático encontra-se a 7.0 m de profundidade.

Resolução

A primeira parte da análise consiste em modelar toda a tarefa no programa GEO5 Estabilidade de Taludes. O processo de modelação neste programa está explicado no manual de engenharia [No. 8 \(Análise da estabilidade de taludes\)](#). Assim neste manual apenas vamos descrever as partes relacionadas com a análise de estacas anti-deslizantes.

Análise de um talude existente – etapa de construção 1

Primeiro, alteramos as configurações base para esta tarefa, através do botão “Editar” da janela “Configurações”. Definimos a metodologia de verificação como “Fatores de segurança (ASD)” e aumentamos o para do Fator de Segurança para **FS_s=2.0**.

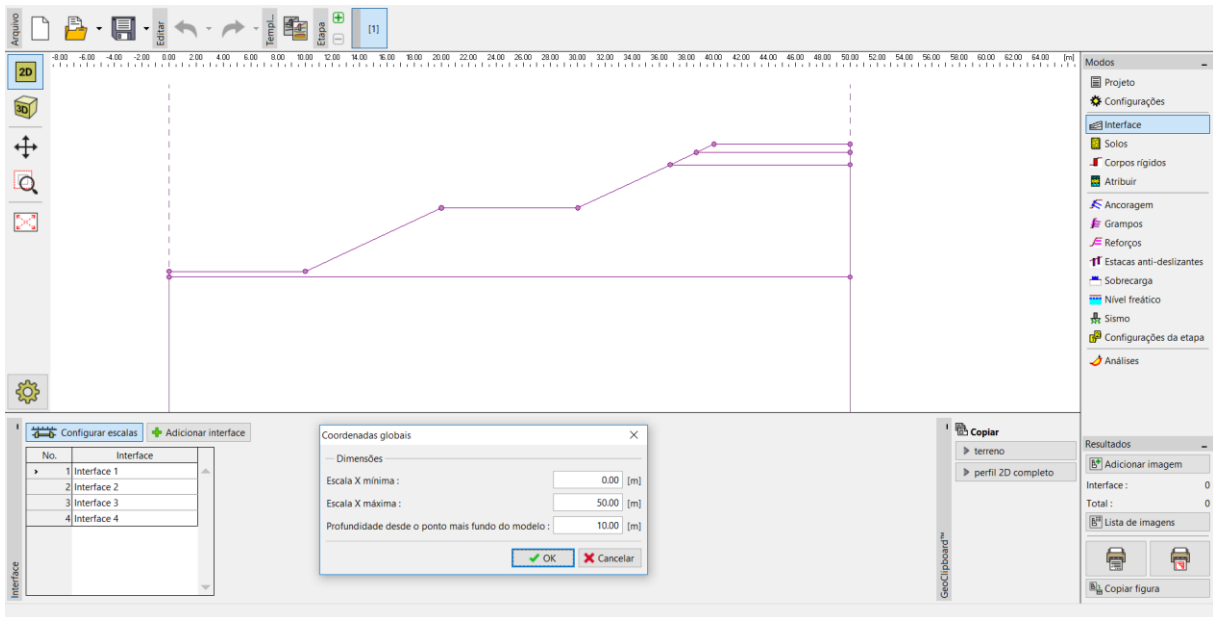


Janela “Configurações”

Na janela “Interface”, definimos as escalas e a modelados a forma do terreno e as interfaces entre as diferentes camadas geológicas, através das coordenadas de cada ponto. As coordenadas dos pontos a inserir são apresentadas na tabela seguinte.

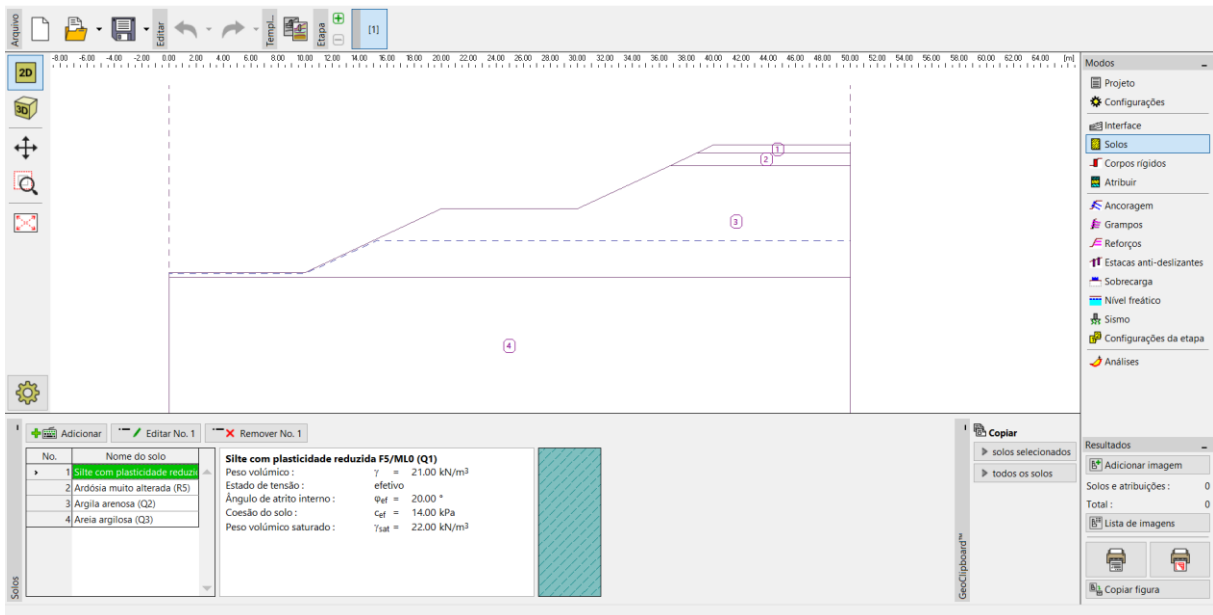
Interface 1			Interface 2			Interface 3			Interface 4		
1	0,00	0,00	1	38,71	8,72	1	36,78	7,82	1	0,00	-0,40
2	10,00	0,00	2	50,00	8,72	2	50,00	7,82	2	50,00	-0,40
3	20,00	4,66									
4	30,00	4,66									
5	36,78	7,82									
6	38,71	8,72									
7	40,00	9,32									
8	50,00	9,32									

Coordenadas das interfaces



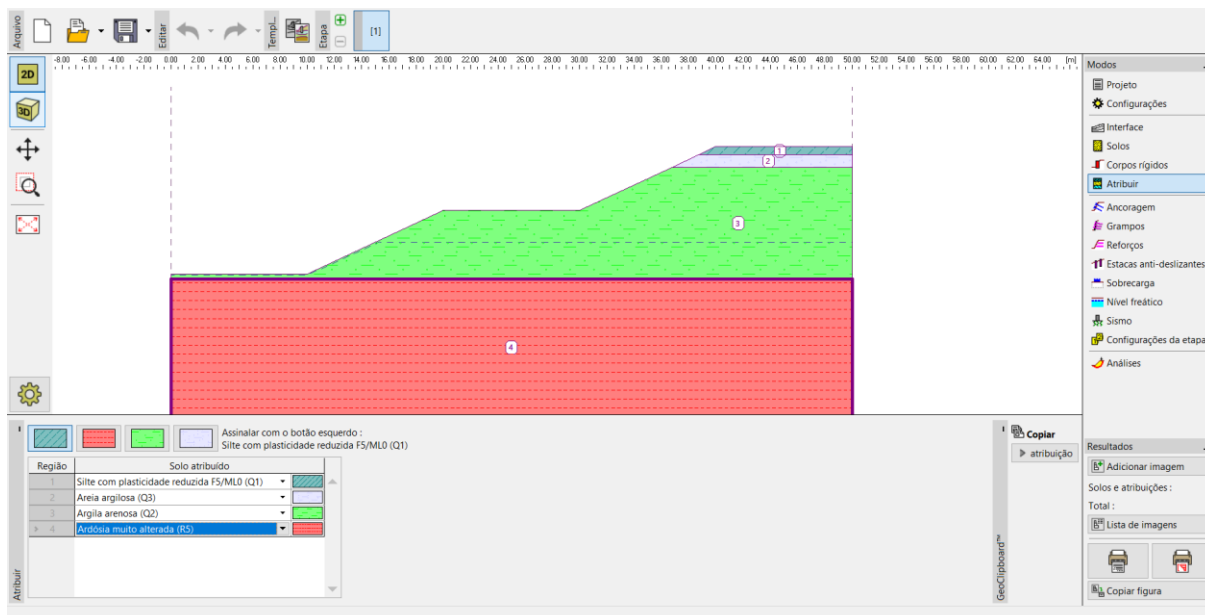
Janela "Interface" – definir escalas

De seguida, é necessário inserir os solos de acordo com os dados do problema.



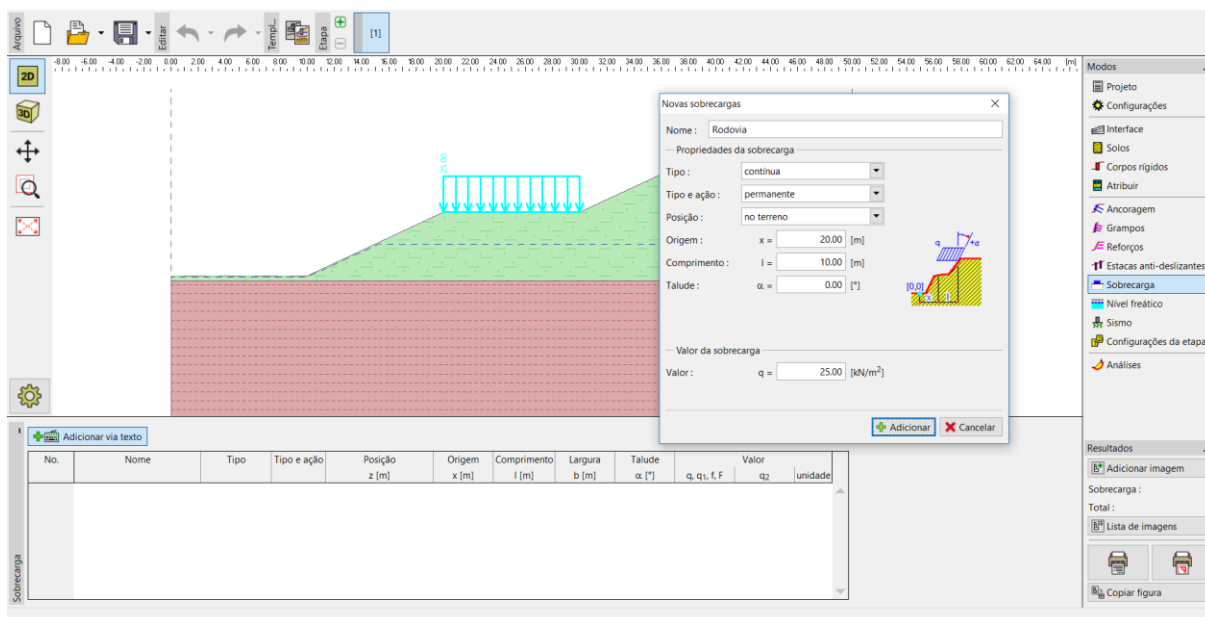
Janela "Solos"

Na janela “Atribuir”, realizamos a atribuição dos solos adicionados às camadas geológicas.



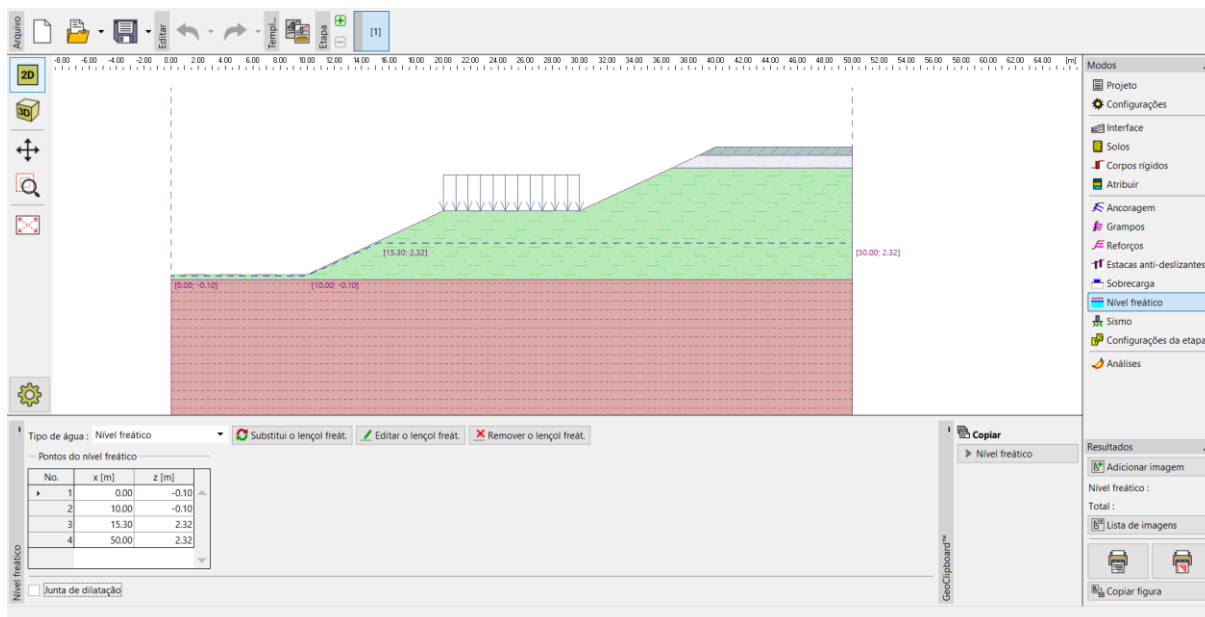
Janela “Atribuir”

No passo seguinte, definimos a sobrecarga imposta pela estrada. Esta atua como uma sobrecarga contínua permanente com o valor de 25 kPa.



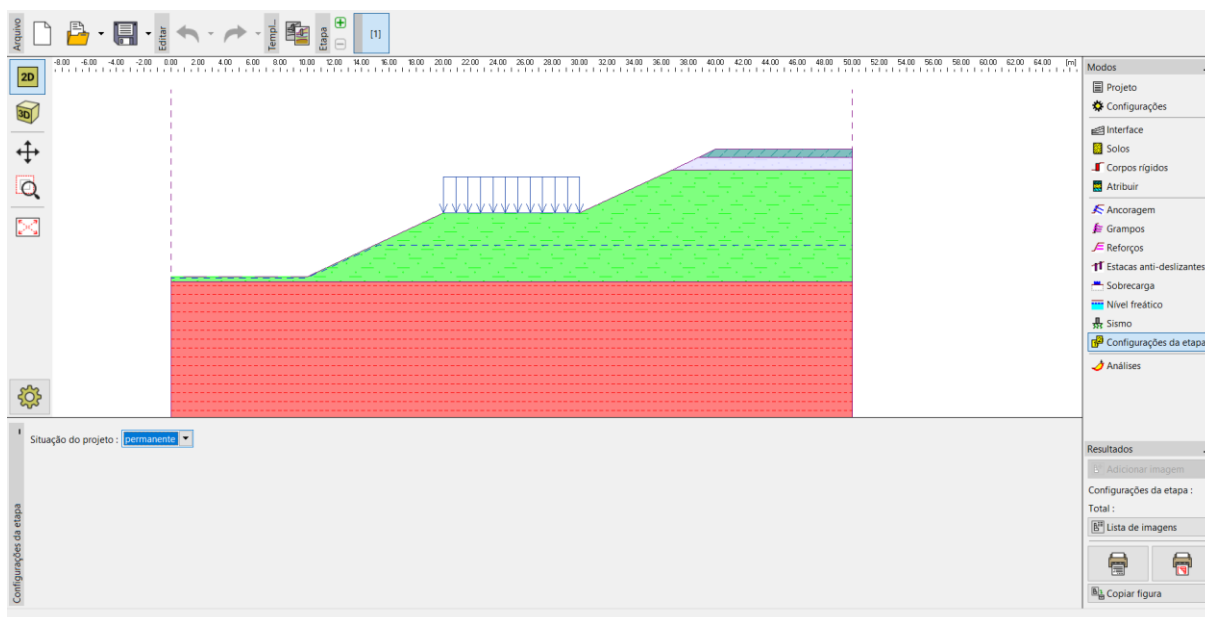
Janela “Sobrecarga”

Na janela “Nível freático”, adicionamos as coordenadas dos pontos que definem o nível freático.



Janela “Nível freático”

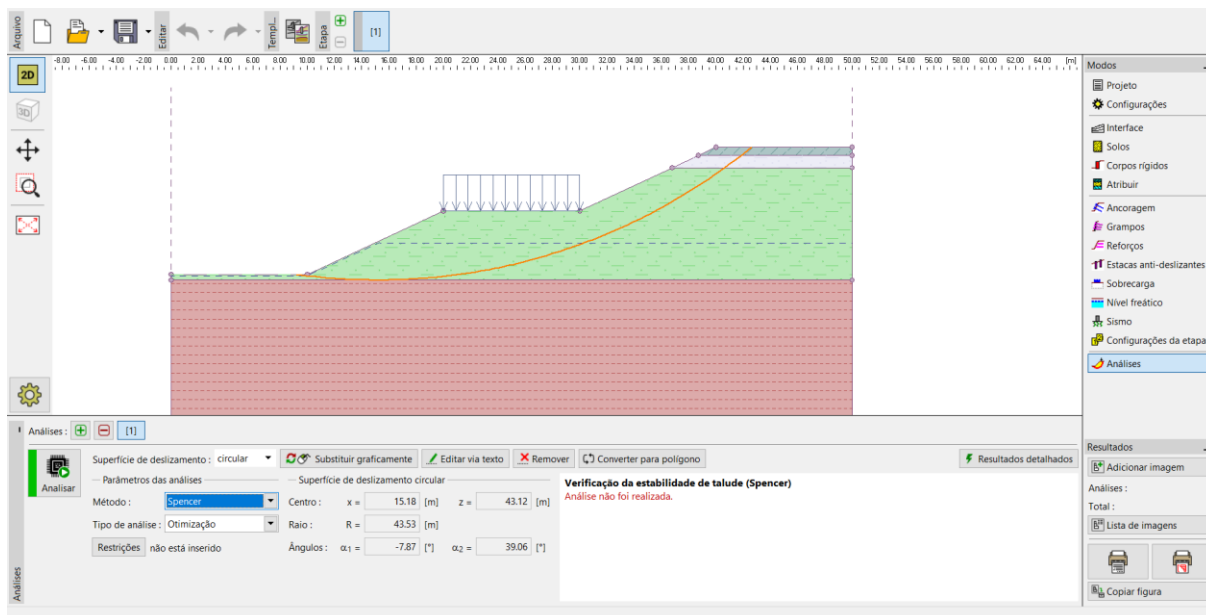
Queremos obter resultados a longo prazo, sendo que, para tal, definimos a situação de projeto como “permanente”.



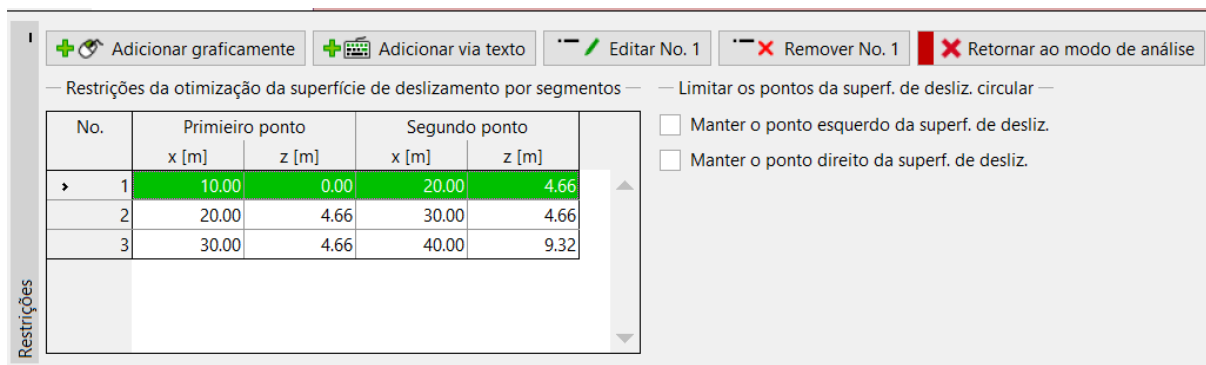
Janela “Configurações da etapa”

De seguida, passamos à janela “Análises”. É possível recorrer a vários métodos de análise para analisar a estabilidade de taludes. A comparação e informações detalhadas acerca de cada método estão descritas no Manual de Engenharia [No. 8 \(Análise da estabilidade de taludes\)](#).

Vamos analisar a estabilidade **global** do talude. Não se pretende analisar a parte superior, nem a inferior, do talude na sua totalidade. Assim, definimos linhas de restrição na face do talude. Isto significa que a superfície de deslizamento global será obtida durante a otimização.

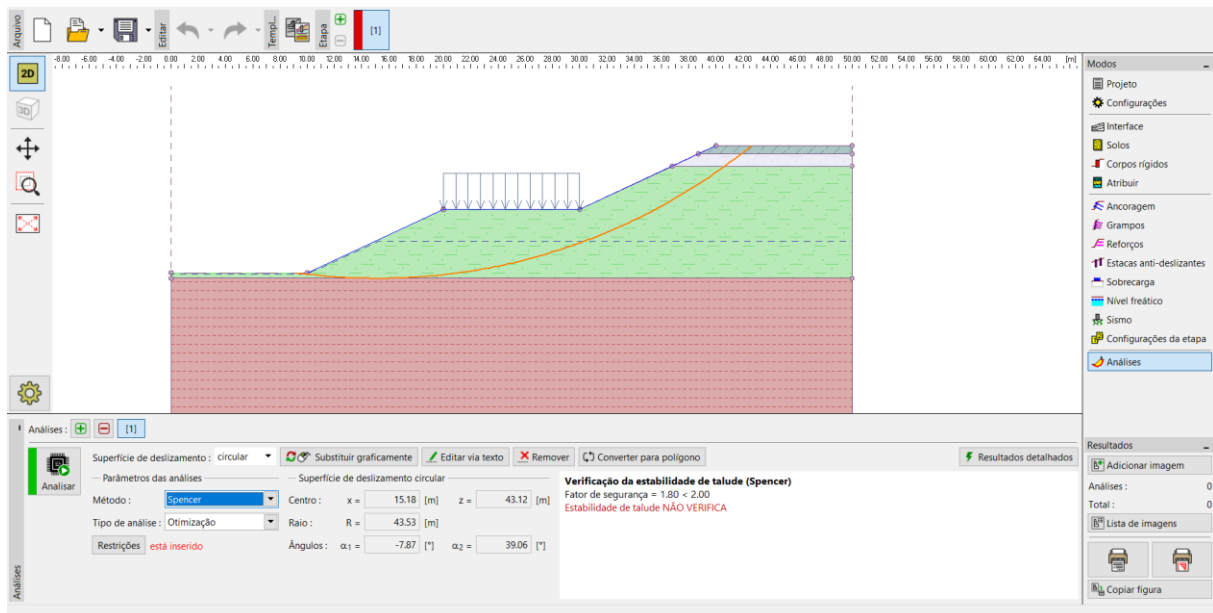


Janela “Análises” – restrições



Introduzir restrições

Vamos escolher o método de análise segundo Spencer para obter uma superfície de deslizamento circular otimizada. É possível introduzir uma forma aleatória para a superfície de deslizamento. A otimização encontra o pior cenário possível.



Janela “Análises”

Nota: É necessário conhecer as forças atuantes nas estacas para a análise seguinte. Nem todos os métodos podem ser utilizados para analisar estas forças no programa Estabilidade de Taludes. O usuário deve utilizar um destes métodos: Spencer, Janbu, Morgenstern-Price ou ITFM.

Nota: A escolha do método de análise e a forma da superfície de deslizamento são sempre decisões do projetista e dependem do seu conhecimento e experiência. Na prática da engenharia, é importante realizar várias análises com recurso a métodos diferentes e comparar os resultados.

Nota: Se a posição exata da superfície de deslizamento for conhecida, não deve ser utilizada a otimização. Deve ser escolhida a opção “Padrão” para o “Tipo de análise” e a superfície de deslizamento é introduzida manualmente.

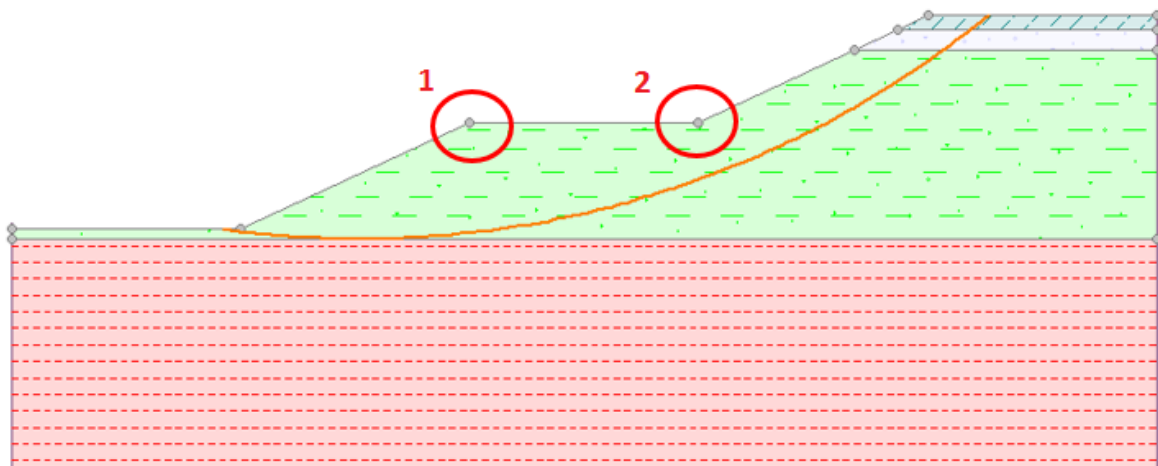
Dimensionamento das estacas anti-deslizantes

Antes do dimensionamento, passamos à etapa de construção seguinte. Isto permite-nos comparar os resultados entre as situações com, e sem, estacas.

Na janela “Estacas anti-deslizante”, existem duas alternativas possíveis para adicionar as estacas. É possível adicionar estacas graficamente, através do mouse, ou via texto, através da introdução das coordenadas da cabeça das estacas e o seu comprimento. Também é possível combinar estas duas alternativas – introduzir uma localização aproximada graficamente e editar para uma posição exata via texto.

Nota: Normalmente, a posição ideal para introduzir uma estaca anti-deslizante não é conhecida. A estaca deve interseccionar sempre a superfície de deslizamento e deve atravessar as camadas geológicas até atingir uma camada com capacidade de suporte elevada. Também é importante considerar as diferentes possibilidades tecnológicas para executar as estacas ou a sua ancoragem. A introdução de uma estaca a meio de um talude inclinado pode melhorar a sua estabilidade mas o problema consiste na forma de execução da tarefa...

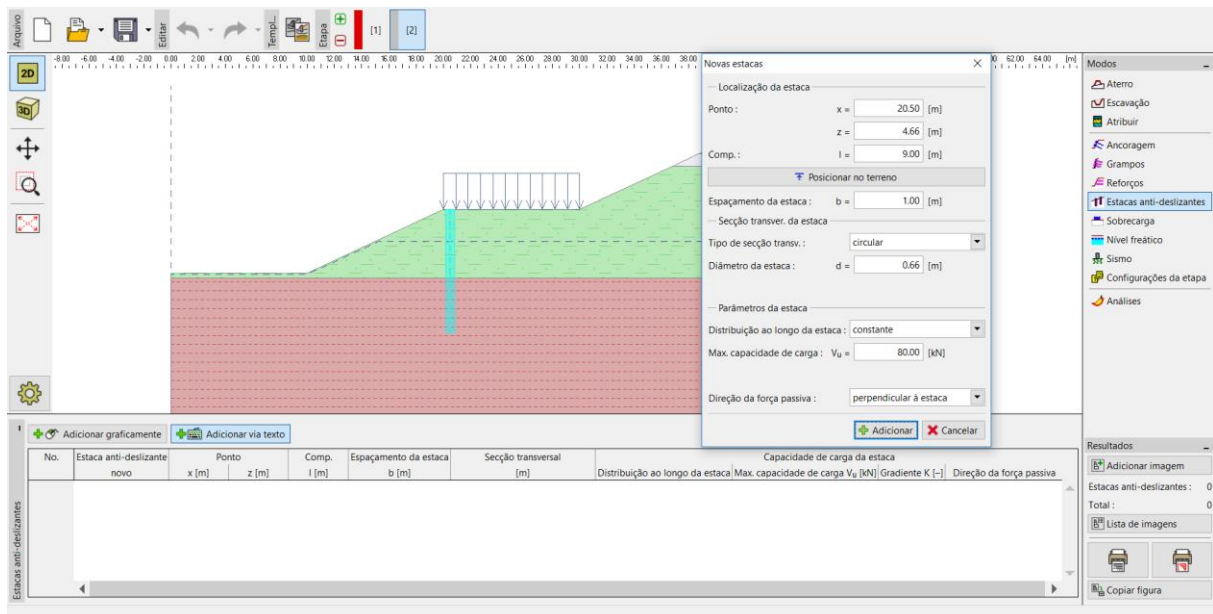
No nosso exemplo, temos duas posições para inserir as estacas anti-deslizantes, conforme mostra a imagem seguinte.



Localizações possíveis para inserir estacas anti-deslizantes

Vamos mostrar a análise para o ponto 1. A decisão sobre a localização de uma estaca anti-deslizante é sempre do projetista.

Nota: No caso de estacas sobrecarregadas, ou se for pretendido que a secção transversal das estacas seja menor, também é possível inserir duas feixes de estacas (em ambos os pontos).

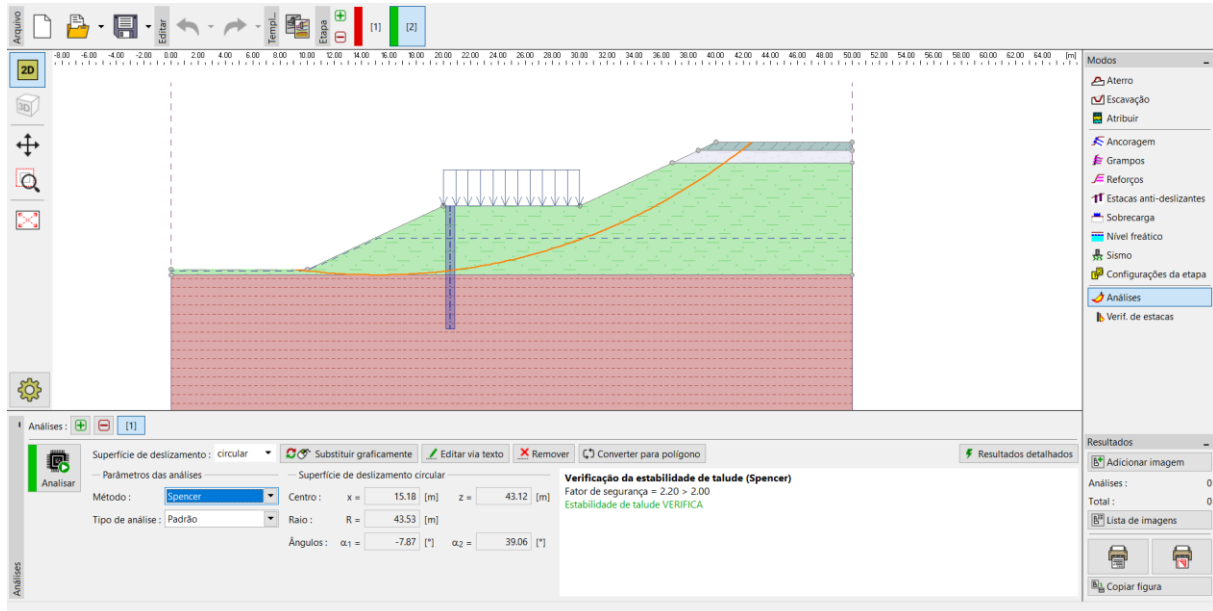


Janela “Estacas anti-deslizantes” – adicionar uma nova estaca

Nota: Para além da posição, espaçamento e diâmetro das estacas, também é necessário introduzir parâmetros adicionais. A capacidade de suporte máxima de uma estaca é a força que atua contra o deslizamento de terras. Este valor será verificado na próxima análise, realizada através do programa Estaca Anti-deslizante. A capacidade de suporte pode ser definida como constante ou de forma a aumentar linearmente, desde a base da estaca. A força passiva atua horizontalmente na estaca ou na direção da superfície de deslizamento. É possível encontrar mais informações na Ajuda (F1).

Vamos utilizar estacas circulares com diâmetro de 0.66 m e comprimento de 9.0 m. O espaçamento entre estacas será de 1.0 m e a capacidade de suporte estimada (V_u) é 80 kN.

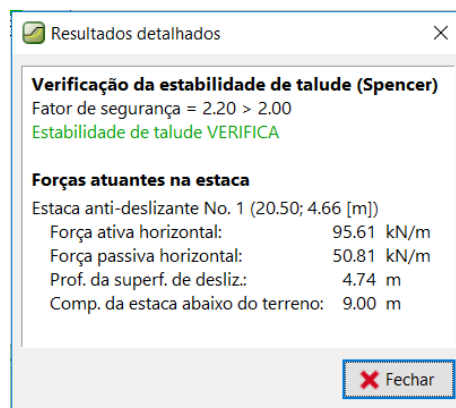
Após adicionar as estacas, passamos à janela “Análises”. Seleccionamos a opção “Padrão” para o tipo de análise. Neste tipo de análise, o programa não procura uma nova superfície de deslizamento. Apenas calcula o fator de segurança para a superfície de deslizamento definida (no nosso caso, definida a partir da etapa de construção anterior). As restantes definições não são alteradas.



Janela “Análises” – influência de estacas anti-deslizantes

É óbvio que a utilização de estacas anti-deslizantes melhora a estabilidade do talude e que agora, o talude está aceitável de acordo com o fator de segurança definido.

Após clicar no botão “Resultados detalhados”, é possível visualizar a caixa de diálogo com a informação da análise da estabilidade do talude.



Caixa de diálogo – “Resultados detalhados”

Nota: Obtemos a profundidade da superfície de deslizamento para a localização das estacas e os valores das duas forças atuantes nas estacas.

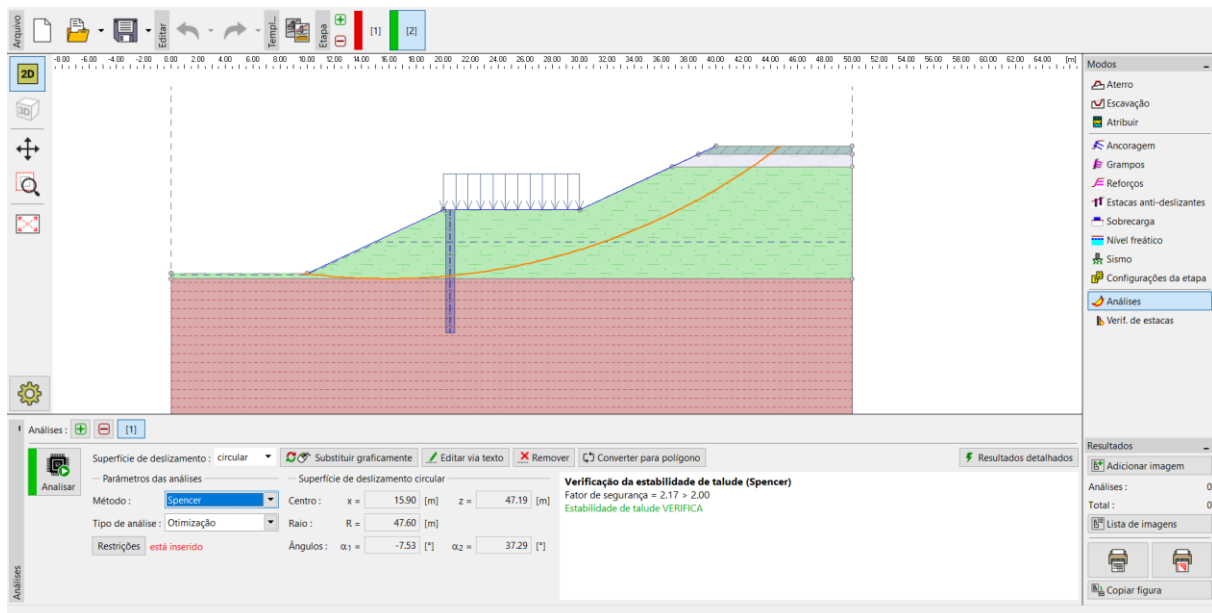
*A **força ativa** atua na estaca a partir da parte superior do talude. Esta força é desestabilizadora.*

*A **força passiva** atua contra o deslizamento de terras e ajuda a estaca a estabilizar o talude (uma força passiva nula significa que o talude não é estável na zona da estaca e é necessário avaliar a sua estabilidade à parte).*

A diferença entre as forças ativa e passiva consista na força que deve ser transferida pela estaca para garantir o fator de segurança definido para o talude. De uma forma mais simplificada, é a capacidade de suporte mínima que a estaca deve verificar.

O fator de segurança depende sempre da posição e da forma da superfície de deslizamento. A superfície de deslizamento crítica, para um talude sem estacas, apresenta um fator de segurança **FS=1.8**. A mesma superfície de deslizamento, para um talude com estas anti-deslizantes, apresenta **FS=2.20**. Também é possível a existência de uma nova superfície de deslizamento que não se apresentava como crítica antes da instalação das estacas, mas que se pode tornar na superfície crítica após a estabilização do talude. Esta superfície de deslizamento apresentava **FS>1.8** antes da instalação das estacas e **FS<2.20** após.

Vamos verificar esta hipótese nas etapas seguintes, através da otimização do talude com estacas.



Janela “Análises” – otimização da superfície de deslizamento após instalar estacas anti-deslizantes

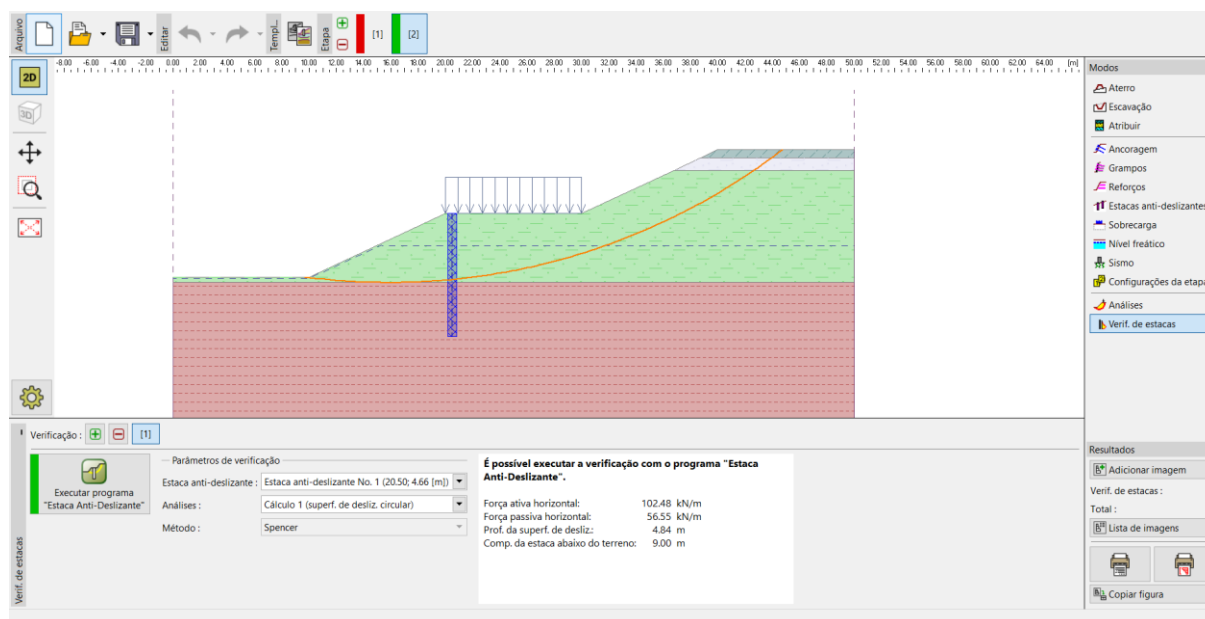
É possível verificar que a estabilidade do talude está aceitável para o fator de segurança imposto, mesmo para a nova superfície de deslizamento obtida. A diferença entre a superfície de deslizamento anterior e a atual é mínima para este exemplo, o que poderá não se verificar sempre. É sempre importante verificar a nova superfície de deslizamento, após a instalação das estacas.

Este estado após instalar as estacas é crítico. Assim, vamos utiliza-lo para o próximo dimensionamento e análise das estacas.

Análise e dimensionamento das estacas

Vamos escolher a análise No. 1, na janela “Verificação de estacas” e clicar no botão “Executar programa Estaca Anti-Deslizante”.

Nota: No caso de existir mais do que uma fileira de estacas, é necessário especificar qual fileira será analisada.



Janela “Verificação de estacas”

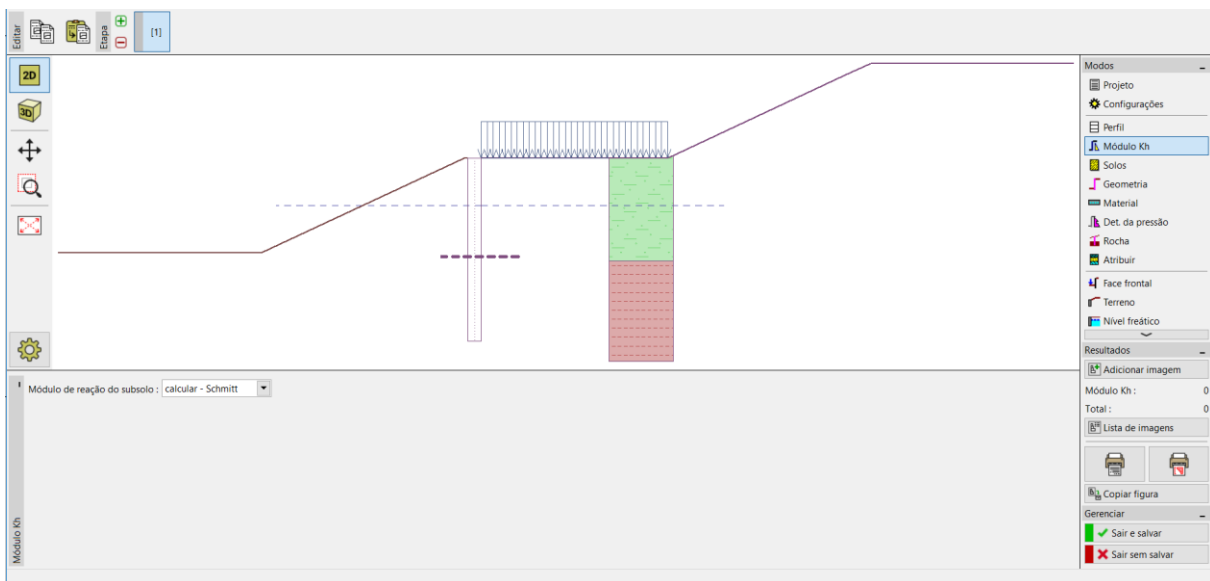
O programa Estaca Anti-Deslizante é utilizado para determinar deformações e as forças internas nas estacas. Este programa é semelhante ao programa Verificação de Contensões. A principal diferença entre estes programas é a forma de determinação das cargas atuantes nas estacas. No programa Verificação de Contensões, a estrutura é carregada por empuxos de terra ao longo de toda estaca. No programa Estaca Anti-Deslizante, a carga é dividida em duas partes. Na secção acima da superfície de deslizamento, a estaca é carregada com base na diferença entre as forças ativa e passiva. Abaixo da superfície de deslizamento, a carga é determinada pelos empuxos de terra.

Todos os dados do programa Estabilidade de Taludes são transferidos automaticamente para o programa Estaca Anti-Deslizante.

Nota: A introdução da maioria dos dados base no programa Estaca Anti-Deslizante é igual ao programa Verificação de Contensões. Isto está descrito detalhadamente nos Manuais de Engenharia referentes a este programa (No. 6 e No. 7).

Nota: Se for desejado alterar alguma das configurações de análise no programa Estaca Anti-Deslizante (método de análise dos empuxos de terra, Normas para materiais, etc.), é necessário realizar as alterações na janela “Configurações” do programa Estabilidade de Taludes.

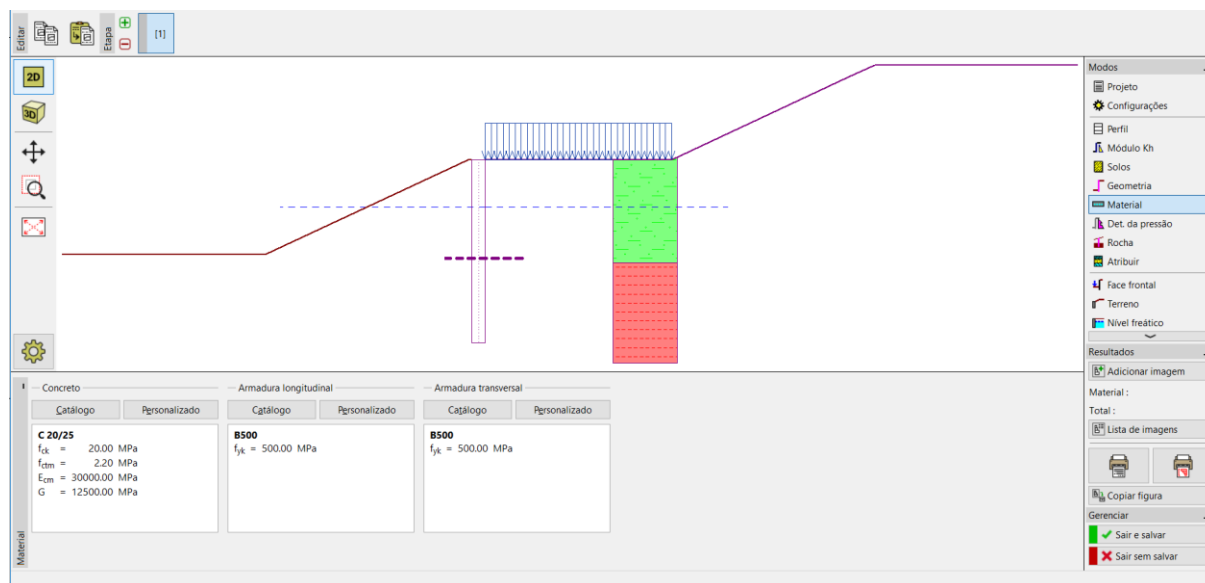
Na janela “Módulo Kh”, definimos o método de análise para obter o módulo de reação. Vamos selecionar a opção para este ser calculado segundo Schmitt. É possível encontrar mais informações acerca do módulo Kh nos manuais de engenharia referentes ao programa Verificação de Contensões ou na Ajuda (F1).



Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Módulo Kh”

Na janela “Solos”, é necessário adicionar o módulo de deformação e o coeficiente de Poisson, para cada solo, de acordo com a tabela presente na 3ª página deste documento. Estes parâmetros são necessários para a determinação do módulo Kh. Vamos considerar um ângulo de atrito entre o solo e a estrutura de $\delta=15^\circ$, para cada solo.

O tipo de concreto e de aço são definidos na janela “Material”. É possível selecionar os parâmetros a partir do catálogo de materiais ou introduzi-los manualmente. Vamos escolher concreto C20/25 e armadura longitudinal e transversal B500.

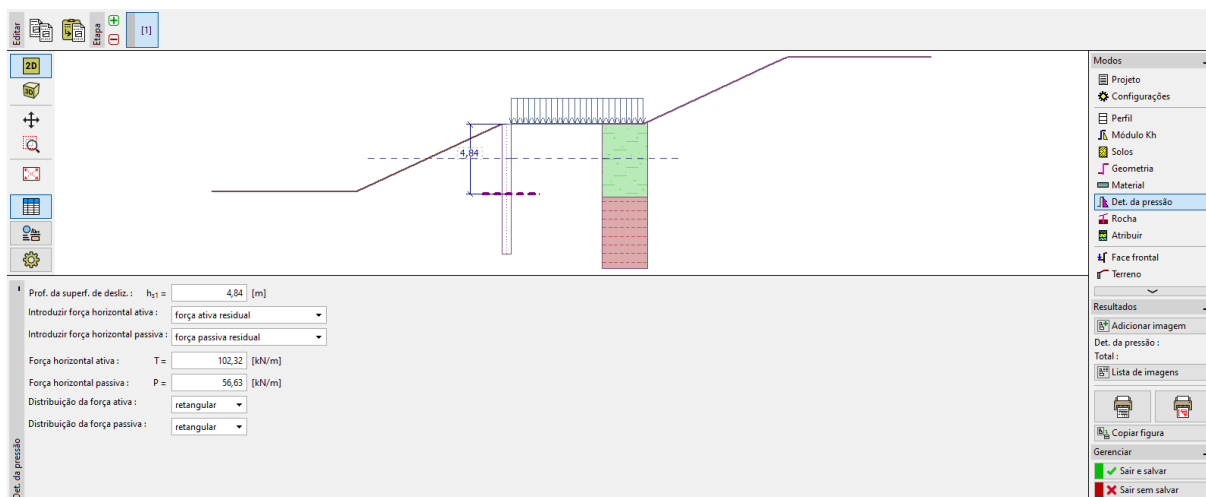


Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Material”

A janela seguinte é “Determinação da pressão”. Nesta janela vamos encontrar valores inseridos automaticamente para as forças ativa e passiva e para a profundidade da superfície de deslizamento. Estes dados foram obtidos através da análise da estabilidade de taludes.

Existem três distribuições possíveis para as pressões atuantes na estaca, na secção acima da superfície de deslizamento. A força ativa pode ser distribuída através de três formas (triangular, retangular, trapezoidal), a força passiva pode ser distribuída de forma igual à força ativa ou de através de uma parábola simplificada. A distribuição da pressão está explicada em detalhe na Ajuda do software GEO5 (F1).

Nota: Em geral, a distribuição da pressão depende do tipo de solo acima da superfície de deslizamento. No nosso caso, o solo principal é argila arenosa – para solos com partículas finas, é recomendável a utilização de uma distribuição com forma retangular. A forma da distribuição da força passiva é uma decisão do projetista.

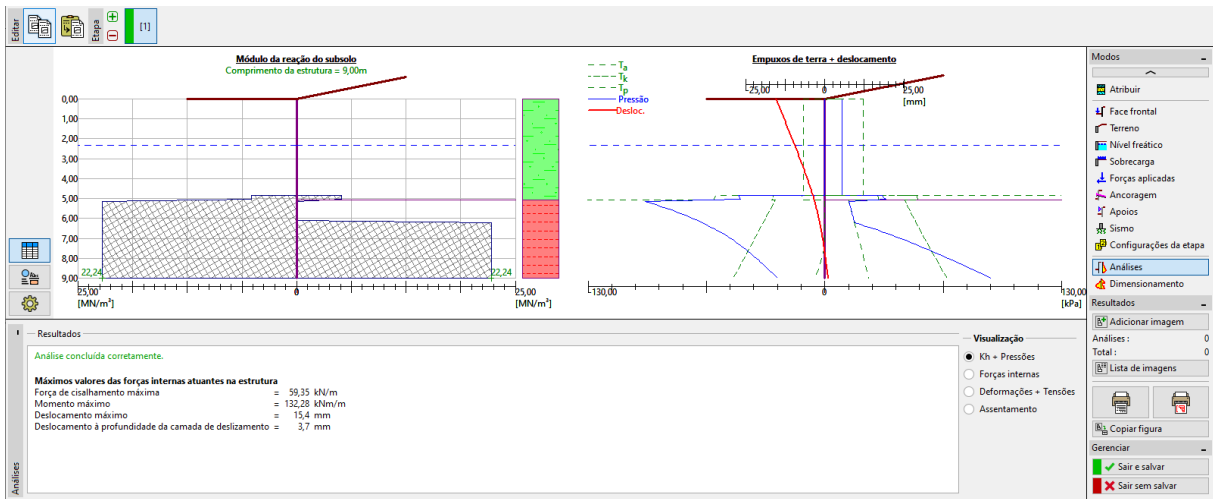


Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Determinação da pressão”

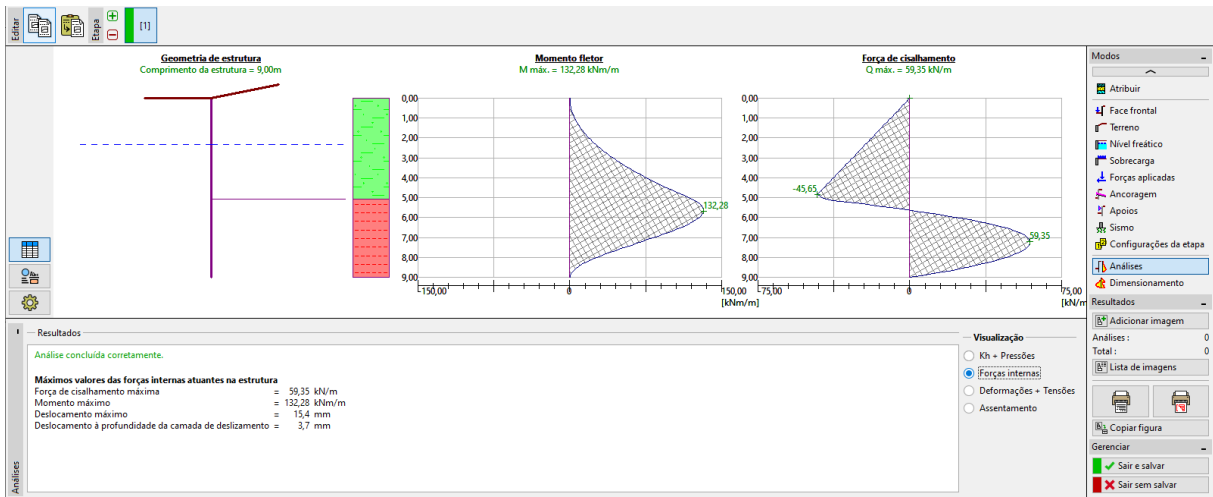
Nota: Também é possível determinar a pressão atuante acima da superfície de deslizamento manualmente. Esta hipótese é utilizada quando não se pretende calcular a carga atuante na estaca de acordo com a diferença entre as forças ativa e passiva.

Nota: Se considerarmos uma estaca em consola numa camada rochosa, devemos configurar a janela “Rocha”. Neste caso, seria necessário introduzir o comprimento da estaca inserida na rocha e a capacidade de suporte da rocha. A tensão máxima não seria considerada como empuxo de terra passivo e poderia atingir qualquer valor. Este valor de tensão seria comparado à capacidade de suporte da rocha na janela “Análises”. Não vamos utilizar esta janela no nosso exemplo.

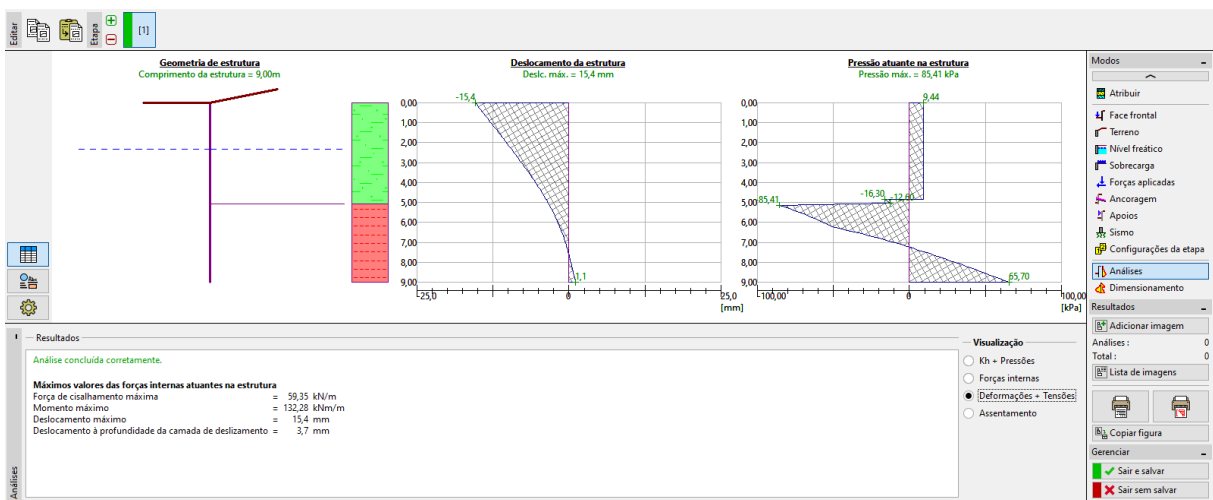
Agora, passamos à janela “Análises”.



Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Análises” – Kh + pressões

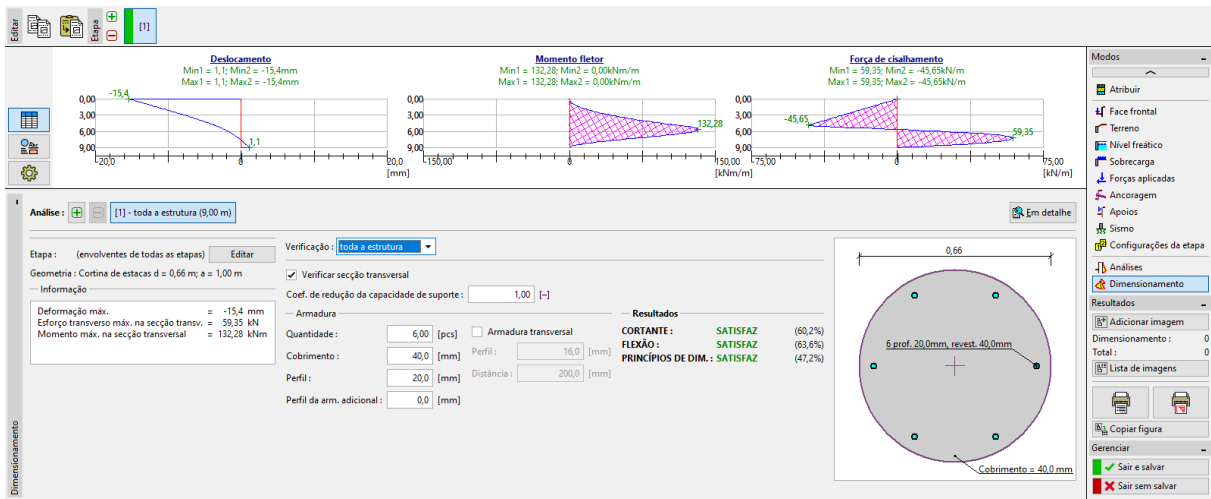


Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Análises” – forças internas



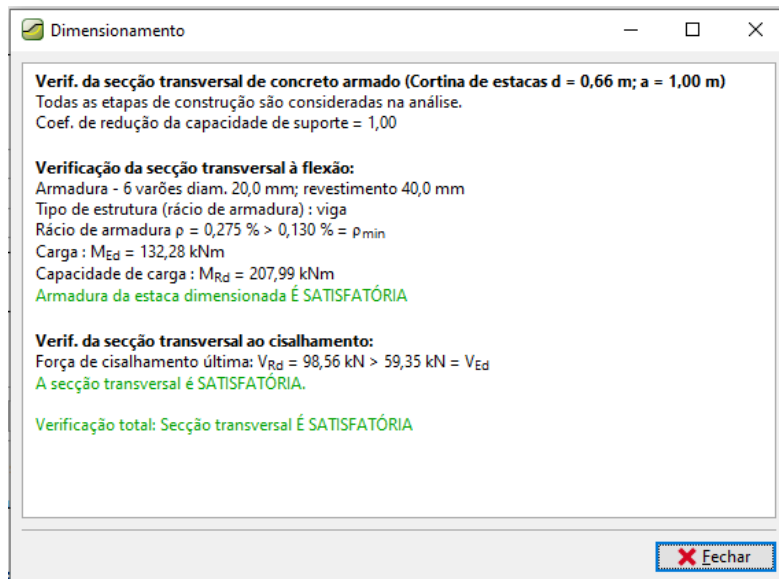
Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Análises” – deformações + tensões

Na janela “Dimensionamento”, vamos dimensionar a armadura das estacas.



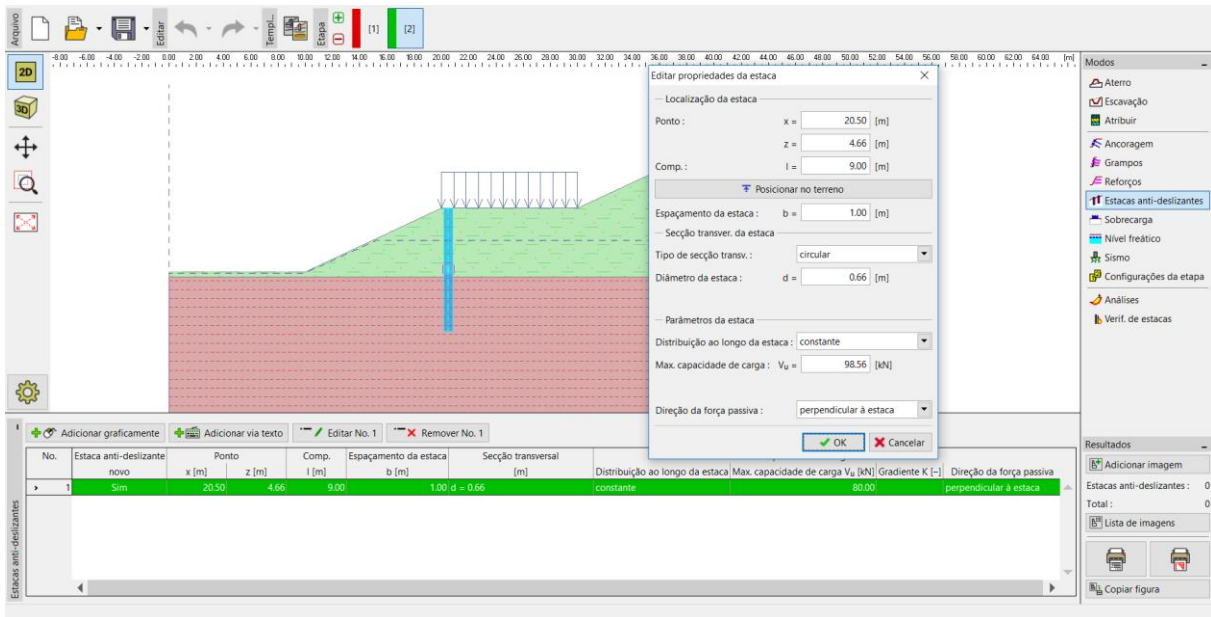
Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Dimensionamento”

O dimensionamento da estaca está satisfatório para todas as verificações. Se desejarmos conhecer a capacidade de suporte ao corte máxima da estaca, podemos abrir a caixa de diálogo “Em detalhe”.



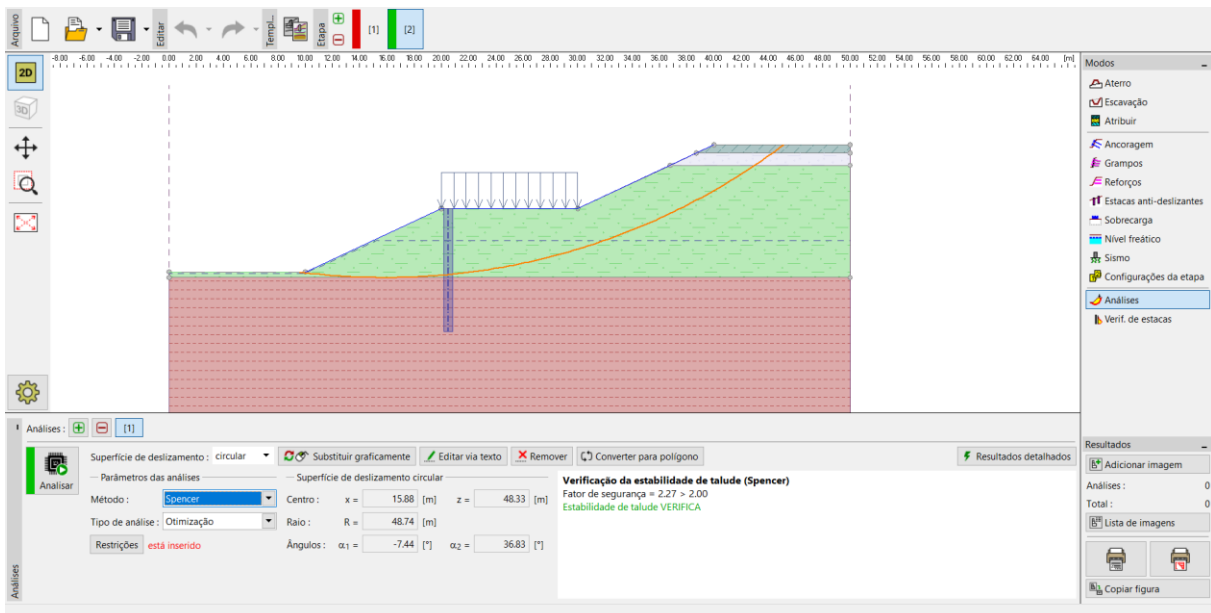
Programa Estaca Anti-Deslizante – janela “Análises” – “Em detalhe”

Considerámos a capacidade de suporte máxima das estacas como $V_u=80$ kN, no programa Estabilidade de Taludes. Agora, vamos verificar que a capacidade de carga real é superior (98.56 kN). Se desejarmos conhecer o fator de segurança real do talude, é necessário voltar ao programa Estabilidade de Taludes (através do botão “Guardar e sair”) e alterar o valor de V_u de 80 kN para 98.56 kN.



Programa Estabilidade de Taludes – editar parâmetros da estaca

Agora, realizamos a análise para esta modificação.



Programa Estabilidade de Taludes – análise com a capacidade de suporte real das estacas

Nota: A forma e posição da superfície de deslizamento crítica podem variar ao alterar a capacidade de suporte das estacas. Os valores das forças atuantes nas estacas são diferentes. No nosso exemplo, as alterações são mínimas e as forças são praticamente iguais. Se as variações forem elevadas, deve ser realizada uma nova análise no programa Estaca Anti-Deslizante.

Conclusão

O fator de segurança necessário para o talude era **FS=2.0**. Após melhorar a estabilidade do talude, através de estacas anti-deslizantes, o fator de segurança passou de **FS=1.8** para **FS=2.27**.

O dimensionamento da estaca é satisfatório (em termos de cisalhamento e flexão) e o deslocamento máxima das estacas é 15.4 mm. Este valor do deslocamento é aceitável.