

## Estabilidade de rochas – superfície de deslizamento plana

Programa: Estabilidade de Rochas

Arquivo: Demo\_manual\_29.gsk

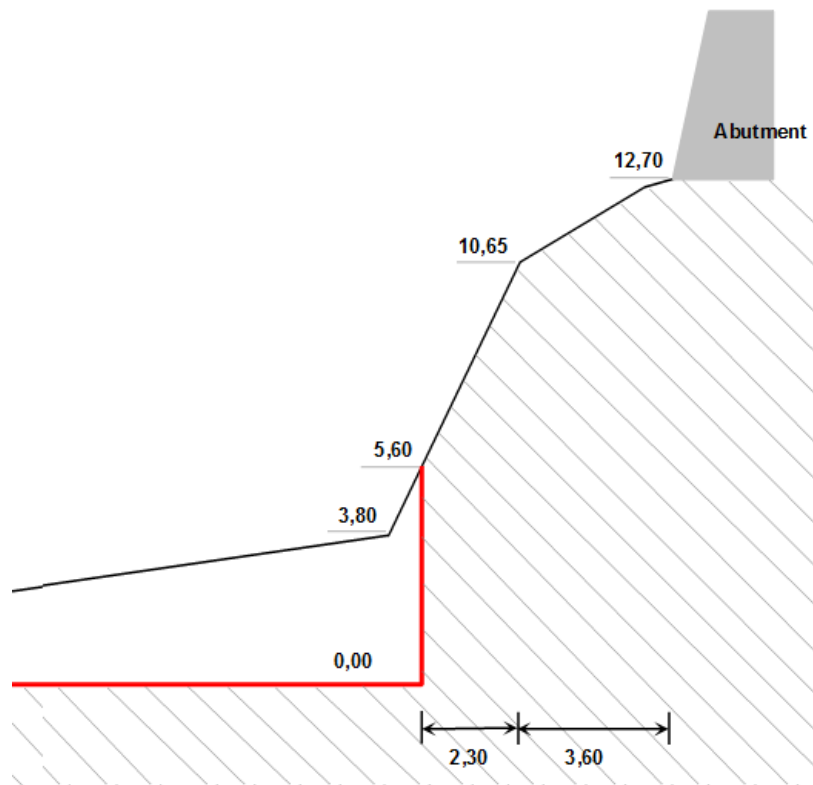
Este manual de engenharia descreve como determinar a estabilidade de um talude rochoso formado por meta-basaltos, para uma secção transversal específica (margem esquerda da área em análise). A face do talude rochoso analisado é obtida através da escavação do talude rochoso estável existente. Na base do talude foi construído um edifício e no topo será construído um arruamento. Estão disponíveis os resultados obtidos a partir de uma investigação geológica antiga e de uma investigação hidrogeológica realizada recentemente, que incluem a descrição do sistema de descontinuidades e a resistência da rocha.



*Visualização do talude rochoso – secção transversal em análise*

### Tarefa

O fator de segurança desejado é 1.5, uma vez que se pretende que a estabilidade do talude rochoso seja garantida por um longo período de tempo. Se o fator de segurança para o talude for inferior a 1.5, o talude deve ser estabilizado. A avaliação da estabilidade do talude e o dimensionamento da estrutura de estabilização são realizados para uma secção em específico, após serem executados trabalhos de escavação.



*Secção transversal em análise com corte transversal da colina marcado a vermelho*

Os parâmetros geotécnicos seguintes, do maciço rochoso (meta-basalto), foram determinados a partir de investigações geotécnicas:

Peso volúmico da rocha  $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$

Ângulo de atrito efetivo  $\varphi' = 43^\circ$

Coesão efetiva  $c' = 423 \text{ kPa}$

A resistência à compressão não confinada da rocha é 60 MPa e foi determinada por um ensaio in situ (martelo de Schmidt).

Através do ensaio hidrogeológico, foram observados fluxos de água subterrânea. Pequenas represas de água, existentes na base do talude (em partes da rocha ligeiramente desgastadas), são originadas apenas pela água superficial das chuvas.

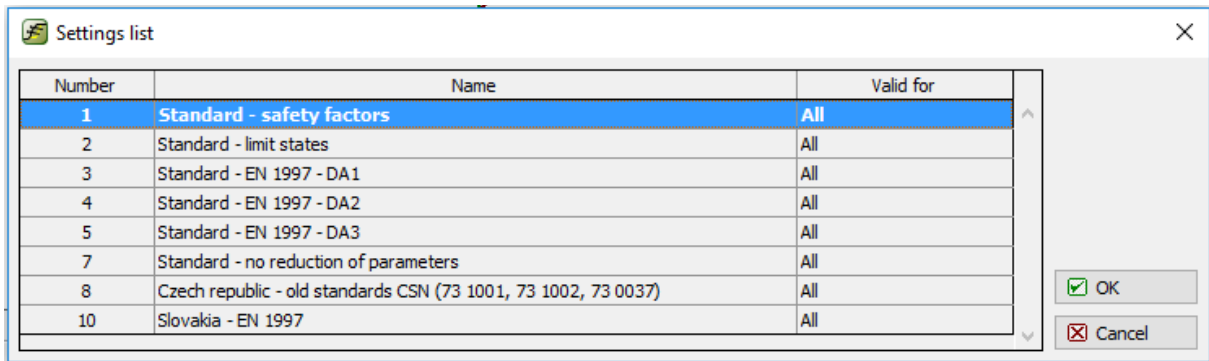
### Análise

Para resolver este problema, vamos utilizar o programa GEO5 Estabilidade de Rochas. A análise de estabilidade do talude rochoso, para a secção em análise, será realizada de acordo com os fatores de segurança (para controlo futuro, serão realizados cálculos manualmente e um modelo numérico de elementos finitos). Vamos explicar como resolver este problema passo-a-passo ao longo do texto seguinte: descrição da tarefa, análises e conclusões.

## Definição do problema

1) Configurações necessárias para a análise de acordo com os fatores de segurança e seleção do tipo de rotura do talude rochoso

Na **janela “Configurações”**, clique no botão “Selecionar configurações”, escolha a opção No. 1 – “Norma – fatores de segurança” e confirme através do botão “OK”.



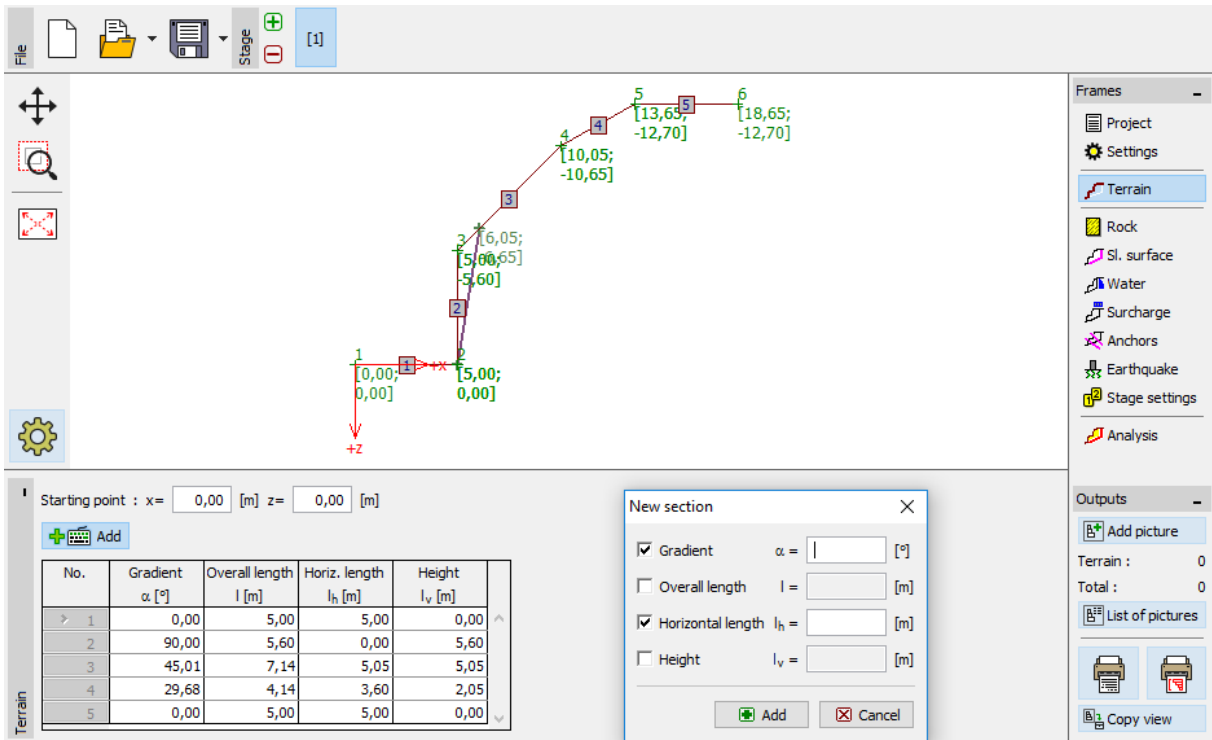
*Caixa de diálogo “Lista de configurações”*

Vamos, também, selecionar o tipo de análise. O programa Estabilidade de Rochas permite realizar uma análise preliminar para a rotura do talude rochoso, através de deslizamentos planares ou de deslizamentos poligonais. A determinação do plano de deslizamento do maciço rochoso é sempre complexa e implica a cooperação de geólogos. Neste caso, o maciço rochoso tem vários sistemas de descontinuidades, podendo ser considerada uma rotura ao longo do plano transversal com inclinação, em relação à horizontal, de  $45^\circ + \varphi^* / 2$  ( $\varphi^*$  é o ângulo de resistência ao cisalhamento da rocha). Assim, definimos o tipo de análise como “superfície de deslizamento plana.

2) Introdução da geometria do terreno e da face do talude rochoso

Vamos definir a geometria do terreno e da face do talude rochoso na **janela “Terreno”**. Antes de introduzir o perfil do talude rochoso, é possível modificar os valores de origem (ponto inicial). A melhor opção para começar a definir a geometria é utilizar a base do talude, ou um ponto da superfície do terreno próximo da face do talude. Neste caso, consideramos a origem num ponto da superfície horizontal, a 5 m de distância da base do talude, com as coordenadas de origem ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ).

Na **janela “Terreno”**, clique em “Adicionar” e o programa abre uma caixa de diálogo para adicionar os pontos que definem a geometria da face do talude rochoso em análise (o ponto inicial corresponde à origem). Podemos adicionar secções através da combinação dos parâmetros que definem a sua geometria: inclinação (mergulho), comprimento total, comprimento horizontal e altura. O programa calcula os valores necessários automaticamente.



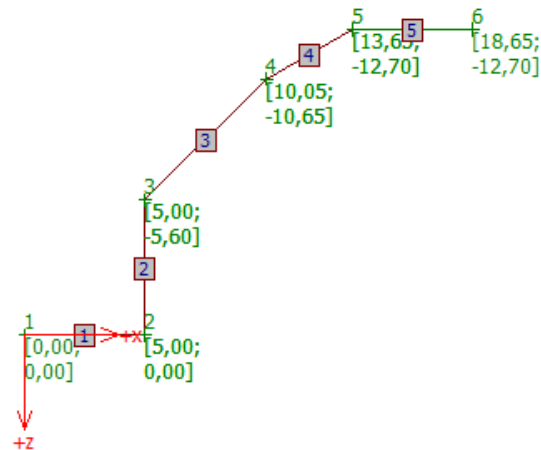
Janela "Terreno" – Introdução de uma secção de terreno e face do talude rochoso

Definimos o perfil do talude rochoso através das coordenadas da secção transversal em análise:

Número da secção	Inclinação $\alpha$ [°]	Comprimento total $l$ [m]	Comprimento horizontal $l_h$ [m]	Altura $l_v$ [m]
1	-	-	5,0	0,0
2	90	-	-	5,60
3	-	-	2,30	5,05
4	-	-	3,60	2,05
5	-	-	5	0,0

Introdução de secções do térreo (valores a introduzir)

O programa exibe a representação gráfica do perfil definido. Na janela "Terreno", é visível uma tabela com as secções inseridas.



Visualização do talude rochoso introduzido graficamente

### 3) Introdução dos parâmetros da rocha

Na **janela “Rocha”**, podemos definir as propriedades do maciço rochoso que forma o talude (parâmetros materiais). Com base na investigação geotécnica, determinou-se o peso volúmico da rocha e os parâmetros de cisalhamento segundo o critério de Coulomb:

Peso volúmico da rocha  $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$

Ângulo de atrito efetivo  $\varphi = 43^\circ$

Coesão efetiva  $c_{ef} = 423 \text{ kPa}$

*Nota: O programa permite definir as características materiais de acordo com os critérios de rotura de Barton-Bandis e de Hoek-Brown.*

### 4) Introdução da geometria da rotura por cisalhamento e das suas propriedades

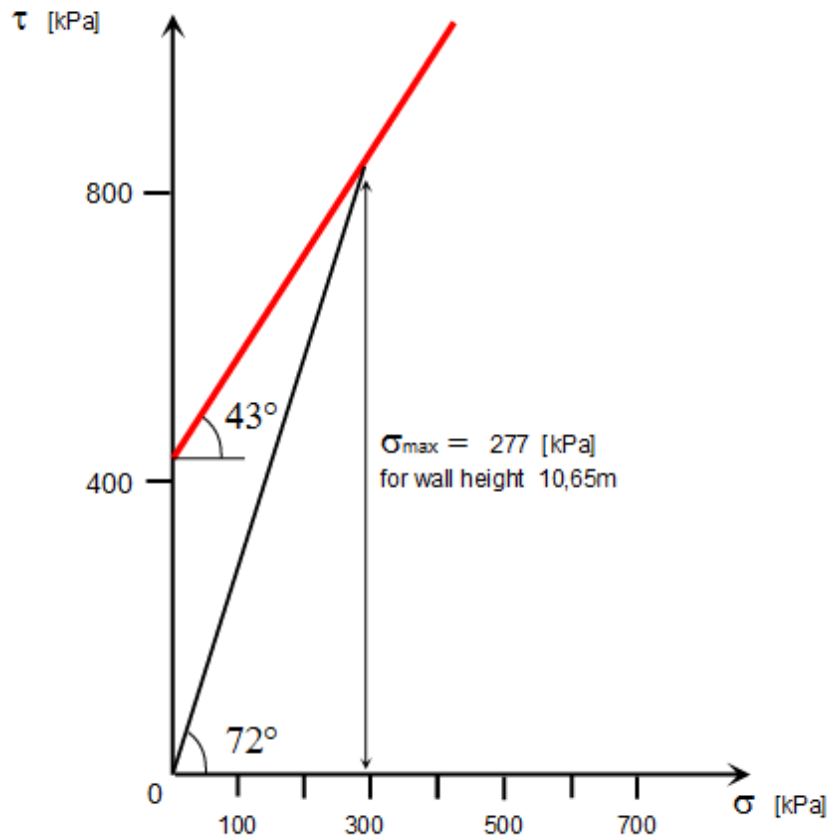
O plano de rotura transversal e as suas propriedades é introduzido na **janela “Superfície de deslizamento”**. Com base na investigação geotécnica, determinou-se que o plano de deslizamento tem uma inclinação de  $45^\circ + \varphi^* / 2$ , em relação à horizontal. O ângulo de resistência ao cisalhamento, pode ser determinado graficamente através do ângulo de atrito interno, calculado como a tangente dos círculos de Mohr. Assim, é necessário determinar o seu valor, para o talude em análise. Começamos por determinar a tensão normal na base do talude  $\sigma_{max}$ . A altura ativa do talude é  $h = 10.65 \text{ m}$ . Assim:

$$\sigma_{max} = \gamma \cdot h_a = 26 \cdot 10,65 = 277 \text{ kPa.}$$

A coesão efetiva da rocha ( $c' = 423 \text{ kPa}$ ) e a resistência compressiva média da rocha ( $60 \text{ MPa}$ ) foram obtidas a partir da investigação geotécnica. Assim, a tensão normal máxima  $\sigma_{max} = 277 \text{ kPa}$  é inferior à resistência de pico do meta-basalto e podemos determinar o ângulo de resistência ao cisalhamento da

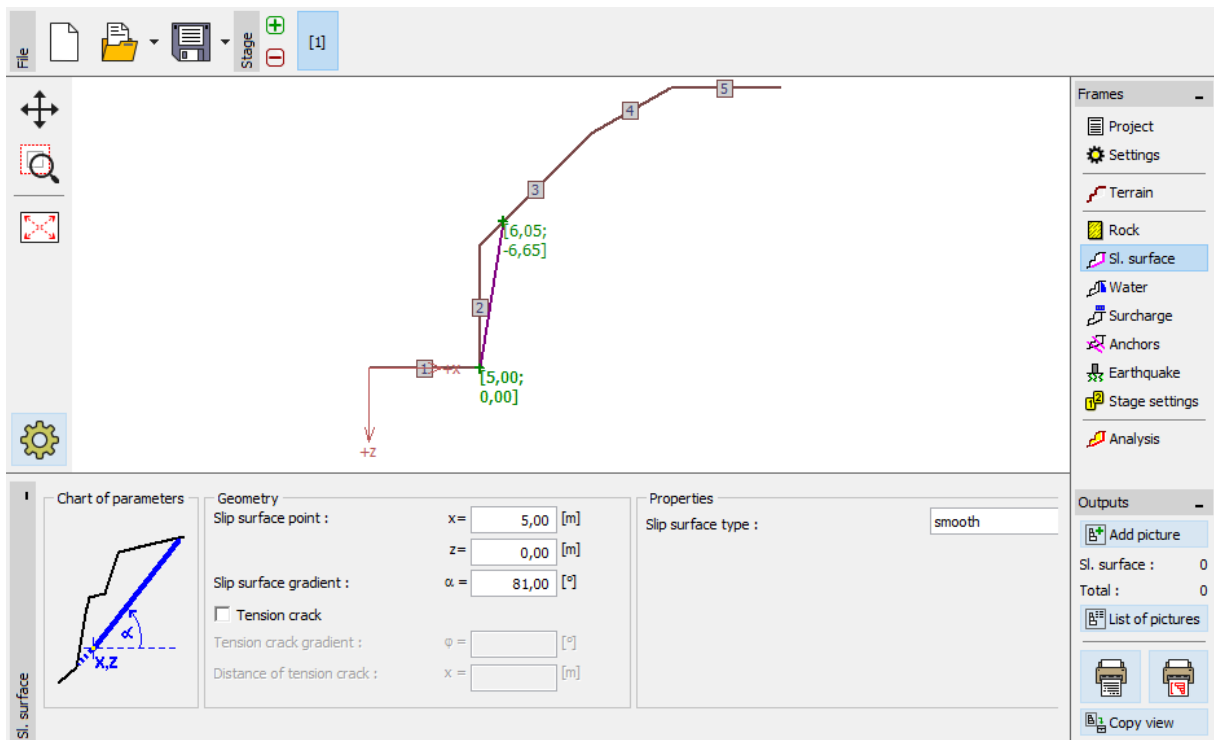
rocha a partir da representação gráfica dos círculos de Mohr, do nosso talude rochoso de meta-basalto ( $\varphi^*=72^\circ$ , no primeiro intervalo de tensão). A inclinação da superfície de rotura, em relação à horizontal, é:

$$45^\circ + \varphi^* / 2 = 45 + 72/2 = 81^\circ .$$



*Curva da resistência de cisalhamento de pico da rocha do talude rochoso*

A inclinação do plano de rotura é  $\alpha = 81^\circ$  e o ponto inicial do talude (base do talude) tem as coordenadas  $x=5.0\text{m}$ ,  $y = 0.0\text{m}$ . Vamos manter a configuração de origem para o tipo de superfície de deslizamento (suave), porque não possuímos informação detalhada acerca da superfície de deslizamento (dilatação). A formação de juntas de dilatação não é considerada, com base na opinião do geólogo.



*Janela “Superfície de deslizamento” – Introdução da superfície de deslizamento*

## 5) Influência do nível freático

A influência do nível freático é introduzida na **janela “Nível freático”**. Não foi observada nenhuma infiltração no maciço, sendo que vamos manter as configurações de origem – análise sem considerar a influência do nível freático.

## 6) Introdução da sobrecarga

Na **janela “Sobrecarga”**, podemos inserir as cargas atuantes no talude rochoso e na superfície do terreno. No topo do talude, existe um muro de contenção em concreto armado e um arruamento pavimentado. Esta sobrecarga pode não ser considerada nesta análise, uma vez que não atua diretamente na cunha de rocha ativa.

## 7) Definição da situação de projeto

Na **janela “Configurações da etapa”**, podemos selecionar a situação de projeto pretendida para a análise. Neste caso, vamos determinar o fator de segurança para a escavação com base no seu período de vida útil, sendo que vamos selecionar a opção “permanente”.

## Análise

A análise deste problema é executada ao clicar no botão “Análise”. Os resultados base, bem como outras opções possíveis, são visíveis na **janela “Análise”**. Para a nossa análise, baseada no grau de

estabilidade, obtemos  $F = 37.75 \gg 1.5$ . Através do botão “Em detalhe” podemos visualizar os resultados detalhados da análise.

#### Analysis

##### Partial results

Slip surface length	=	6,74 m
Slip surface gradient	=	81,00 °
Gravity force	$W_z$ =	76,72 kN/m
Normal force on slip surface	$N$ =	12,00 kN/m
Shear stress on slip surface	$\tau$ =	424,66 kPa

##### Plane slip surface analysis

Resisting force  $T_{res} = 2860,86$  kN/m

Driving force  $T_{act} = 75,78$  kN/m

Factor of safety = 37,75 > 1,50

Stability of rock slope is SATISFACTORY

*Janela “Análise” – Lista detalhada de resultados*

## Conclusão

Para este problema, obtivemos um fator de segurança  $FS = 37.75 \gg 1.5$ . O que significa que a longo prazo a estabilidade do talude rochoso é satisfatória, em relação ao fator de segurança de 1.5 (para uma escala temporal alargada) pretendido, e que não é necessário dimensionar qualquer estrutura para aumentar a estabilidade do talude. Mesmo numa situação em que exista fluxo de água ao longo do sistema de descontinuidades, que possa causar alterações nas condições do talude rochoso, esta pode não ser considerada devido a:

- O meta-basalto é uma rocha sólida que não é afetada de forma significativa por juntas (isto é, não altera os parâmetros de cisalhamento) e, as possíveis juntas não estariam preenchidas.
- Teoricamente, o nível freático pode subir até ao nível superior da cunha ativa (devido à execução futura de um edifício). Este nível freático, no máximo, poderia reduzir o fator de segurança calculado em algumas unidades. Tal pode ser verificado através de cálculos ( $FS = 30.58$ ).
- Mesmo para um nível freático irrealista acima do talude rochoso, o fator de segurança seria  $FS = 20.32$ .