

Análise da consolidação sob um aterro

Programa: Recalque

Arquivo: Demo_manual_11.gpo

Neste manual de engenharia, vamos explicar como analisar a consolidação um aterro.

Introdução

A consolidação do solo consiste no assentamento ao longo do tempo (análise das deformações dos solos) sob o efeito de cargas externas (constantes ou variáveis). A sobrecarga leva a um aumento dos empuxos de terra e à extrusão gradual de água dos poros, isto é, consolidação do solo.

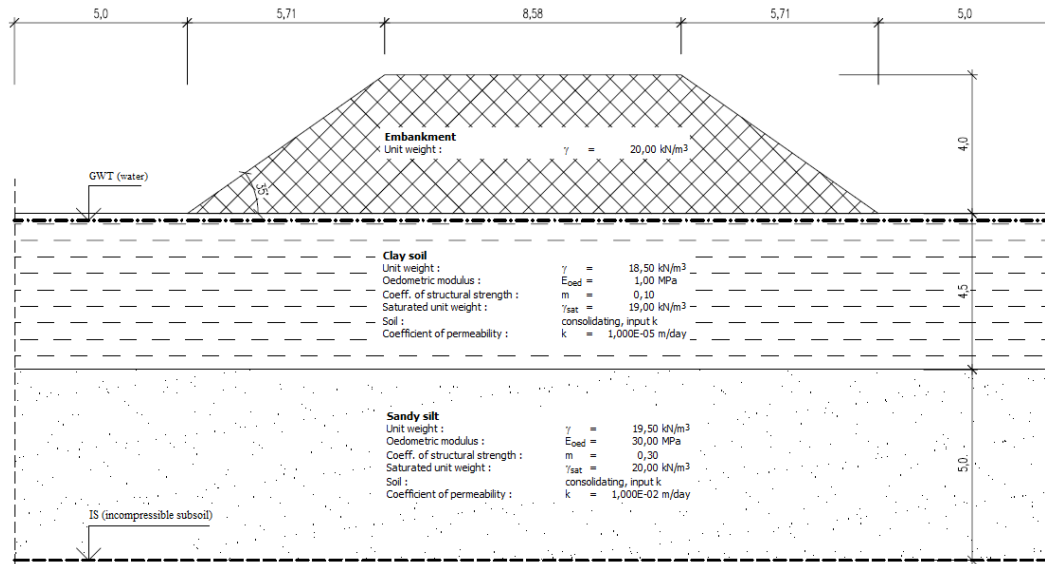
A consolidação primária corresponde à situação em que se verifica uma dissipação completa da pressão nos poros do solo; a consolidação secundária afeta o processo reológico do esqueleto do solo (conhecido como “efeito de fluência”). Este é um processo desenvolvido ao longo do tempo, que é influenciado por vários fatores (ex.: permeabilidade e compressibilidade dos solos, comprimento dos trechos de drenagem, etc.). Dependendo do nível de consolidação, podem ser verificados os seguintes casos de assentamentos dos solos:

- assentamento final, que corresponde a 100 % da consolidação provocada pela sobrecarga respetiva
- assentamento parcial, que corresponde a um certo nível de consolidação provocado pela sobrecarga respetiva

De forma a calcular o assentamento no tempo, é necessário definir o coeficiente de permeabilidade “ k ”. Ou o coeficiente de consolidação “ C_v ”, que determina a velocidade do processo de consolidação. Este parâmetro pode ser obtido através de ensaios edométricos (segundo Casagrande ou Taylor).

Tarefa

Determinar o valor do assentamento do centro de um aterro realizado em argila impermeável, um ano e dez anos após a sua execução. Realize a análise de acordo com as Normas CSN 73 1001 (utilizando o módulo edométrico) e considere o limite da zona de influência através do coeficiente de resistência da estrutura.



Esboço da tarefa – consolidação

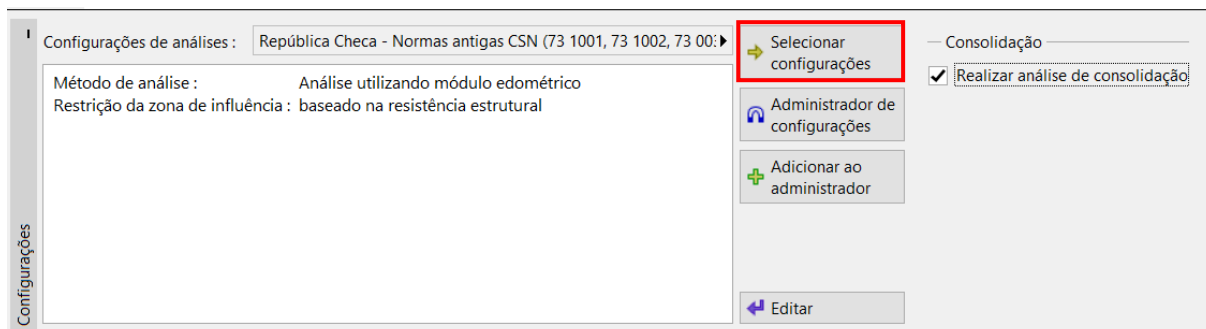
Resolução

O programa GEO5 Recalque será utilizado para resolver esta tarefa. Vamos modelar este exemplo passo-a-passo:

- 1ª etapa de construção – modelação da interface, cálculo da tensão geostática inicial.
- 2ª etapa de construção – adição de uma sobrecarga correspondente ao aterro.
- 3ª a 5ª etapas de construção – análise da consolidação do aterro para diferentes intervalos de tempo (de acordo com a tarefa).
- Avaliação dos resultados (conclusão).

Etapa 1

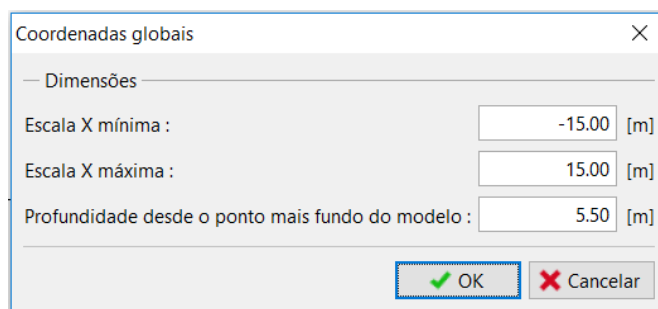
Comece por selecionar a opção “Realizar análise de consolidação” no canto inferior direito da janela “Configurações”. De seguida, selecione a opção No. 8 “República Checa – Norma antiga CSN” da “Lista de configurações”. Esta configuração contempla o método de análise para o cálculo do assentamento e restrição da zona de influência.



Janela “Configurações”

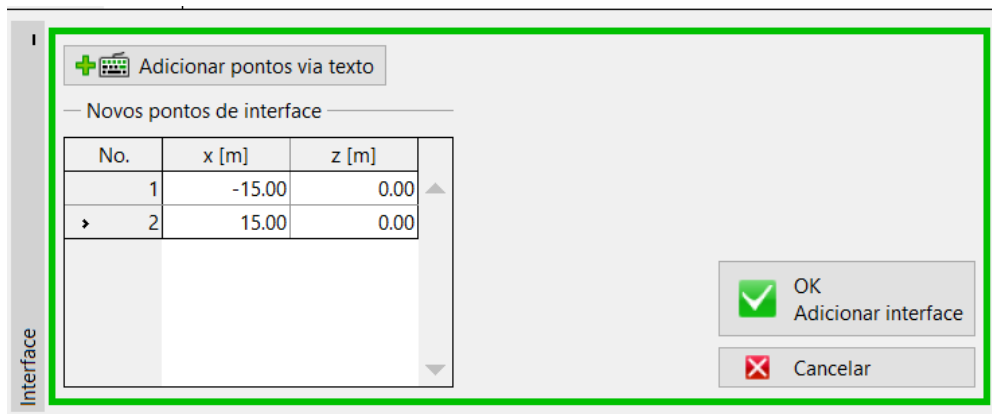
Note: Esta análise considera a consolidação primária (dissipação da pressão nos poros). O assentamento secundário (fluência), que se verifica, maioritariamente, em solos não consolidados e orgânicos, não é considerado neste exemplo.

De seguida, introduza a interface das camadas na janela “Interface”. É necessário inserir duas camadas. A consolidação verifica-se entre estas duas camadas. Primeiro, definem-se as dimensões da análise, através do botão “Configurar escalas”.

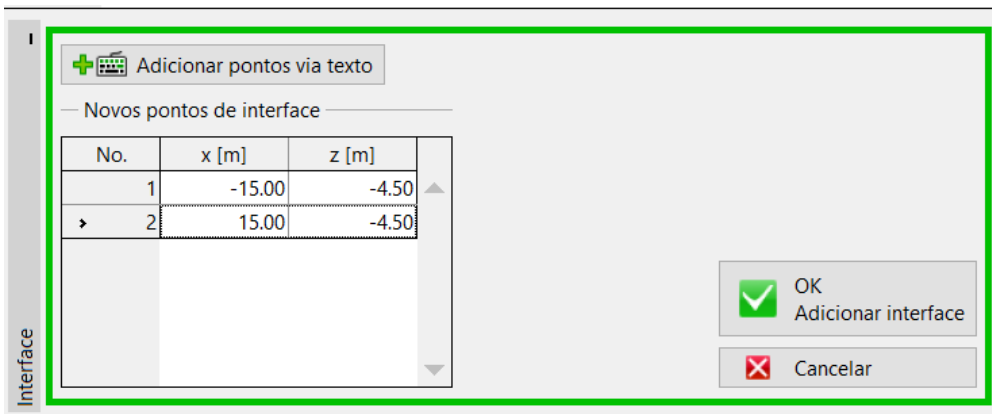


Dimensões da análise

Depois, defina uma interface entre as camadas de solo, a uma profundidade de 4.5 m, através do botão “Adicionar interface”, fazendo a sua adição via texto.



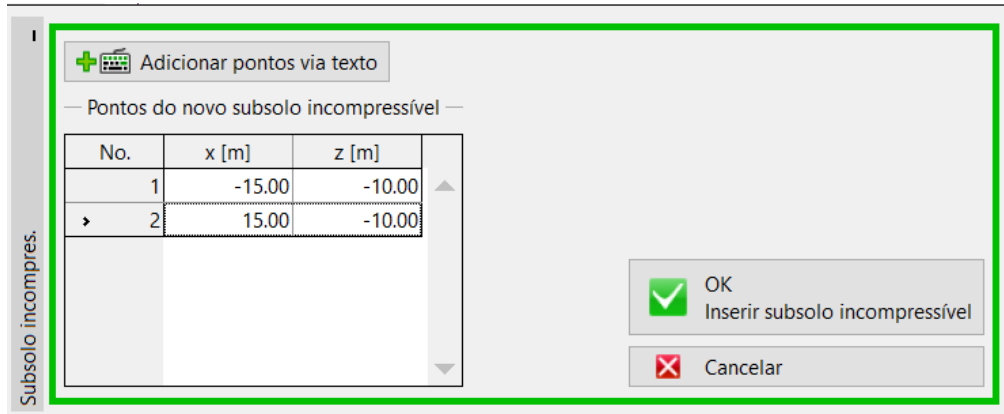
Adicionar interface 1



Adicionar interface 2

Nota: Se o solo for homogêneo, é necessário introduzir uma camada fictícia (como os mesmos parâmetros nas duas camadas de solo que estão separadas pela interface original) para calcular a consolidação, de preferência à profundidade da zona de deformação.

Seguidamente, avance para a janela “Subsolo incompressível”, onde deve inserir um novo subsolo incompressível a 10 m de profundidade, através do botão “inserir subsolo incompressível”, que permite adicionar o subsolo através de pontos de forma semelhante à introdução de pontos das interfaces. Não se verificam assentamentos abaixo do subsolo incompressível.



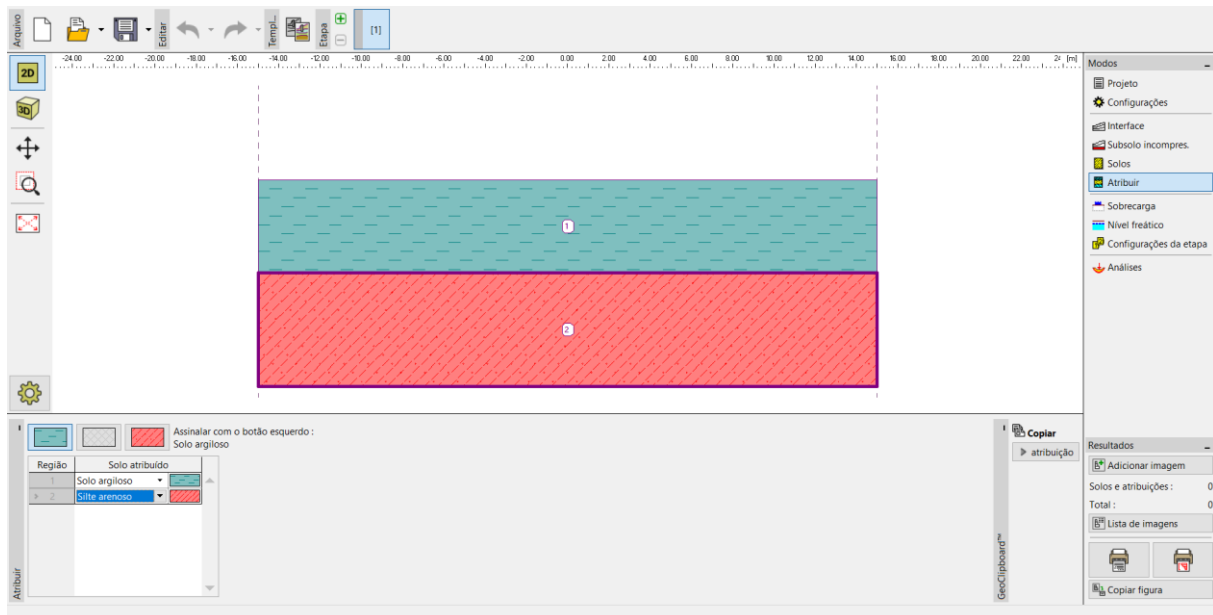
Janela “Subsolo incompressível”

Os parâmetros do solo são introduzidos no passo seguinte, na janela “Solos”. Para solos consolidados, é necessário definir o coeficiente de permeabilidade “ k ” ou o coeficiente de consolidação “ c_v ”. Podem ser encontrados valores de referência na Ajuda (F1).

Tabela com os parâmetros do solo

Solo (Classificação do solo)	Peso volúmico γ [kN/m^3]	Coeficiente de Poisson ν [-]	Módulo edométrico E_{oed} [MPa]	Coef. de resistência estrutural m [-]	Peso volúmico saturado γ [kN/m^3]	Coef. de permeabilidade k [m/day]
Solo argiloso	18.5	0.35	1.0	0.1	19.0	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Aterro	20.0	0.3	30.0	0.3	20.0	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Silte arenoso	19.5	0.3	30.0	0.3	20.0	$1,0 \cdot 10^{-2}$

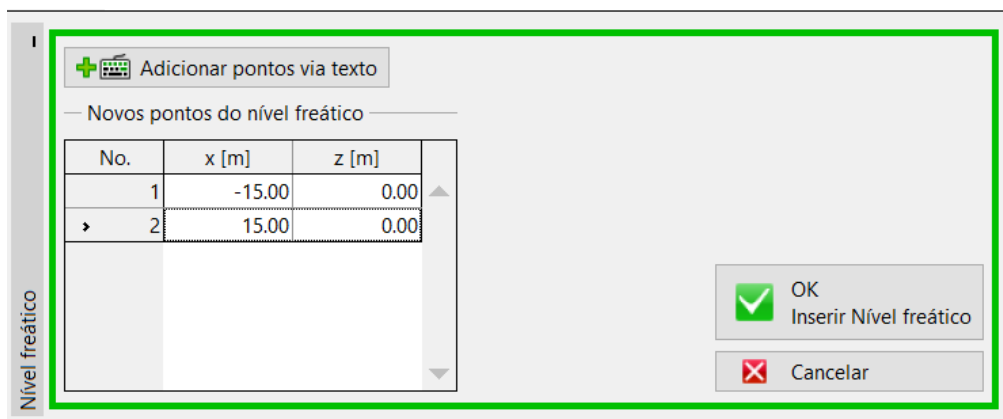
De seguida, abra a janela “Atribuir” e atribua os solos ao perfil da forma seguinte:



Janela “Atribuir”

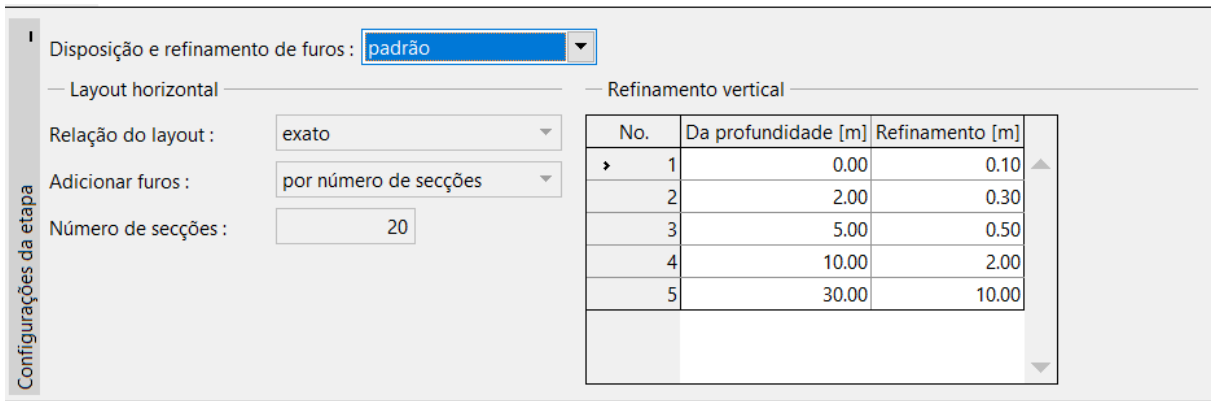
A janela “Sobrecarga” não é considerada na 1ª etapa de construção, uma vez que neste exemplo, esta será representada pelo próprio peso do aterro (nas etapas 2 a 5).

O próximo passo é a introdução do nível freático, na janela “Nível Freático”, através da introdução de pontos via texto que, para este exemplo, estão situados na superfície do terreno.



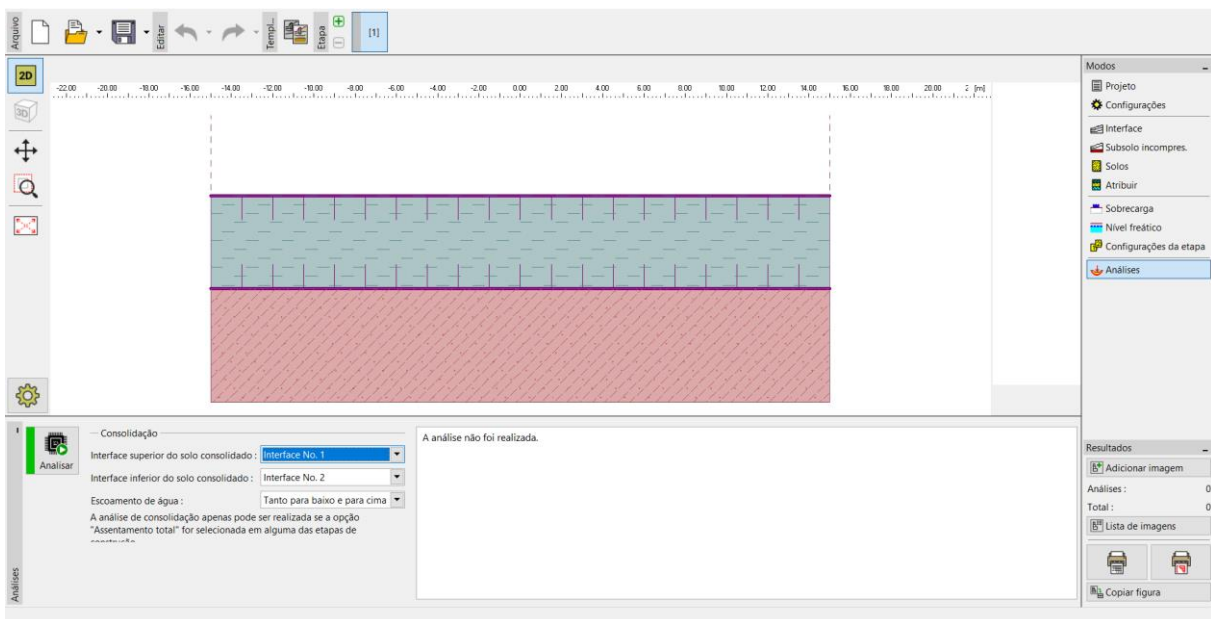
Introduzir nível freático

Na janela “Configurações da etapa”, apenas é possível modificar o esboço e o refinamento dos furos, sendo que para este caso vamos manter as configurações de origem.



Janela “Configurações da etapa”

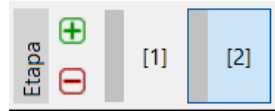
A primeira etapa representa a tensão geostática no momento inicial da construção. No entanto, é necessário definir as condições de fronteira de base para o cálculo da consolidação nas etapas seguintes. Devem ser definidas as interfaces superior e inferior do solo consolidado, assim como a direção do fluxo de água a partir desta camada – isto é, o percurso de drenagem.



Janela “Análises” – Etapa de construção 1

Etapas 2 a 5

Agora vamos adicionar a 2ª etapa de construção, através da barra de ferramentas na parte superior do ecrã.

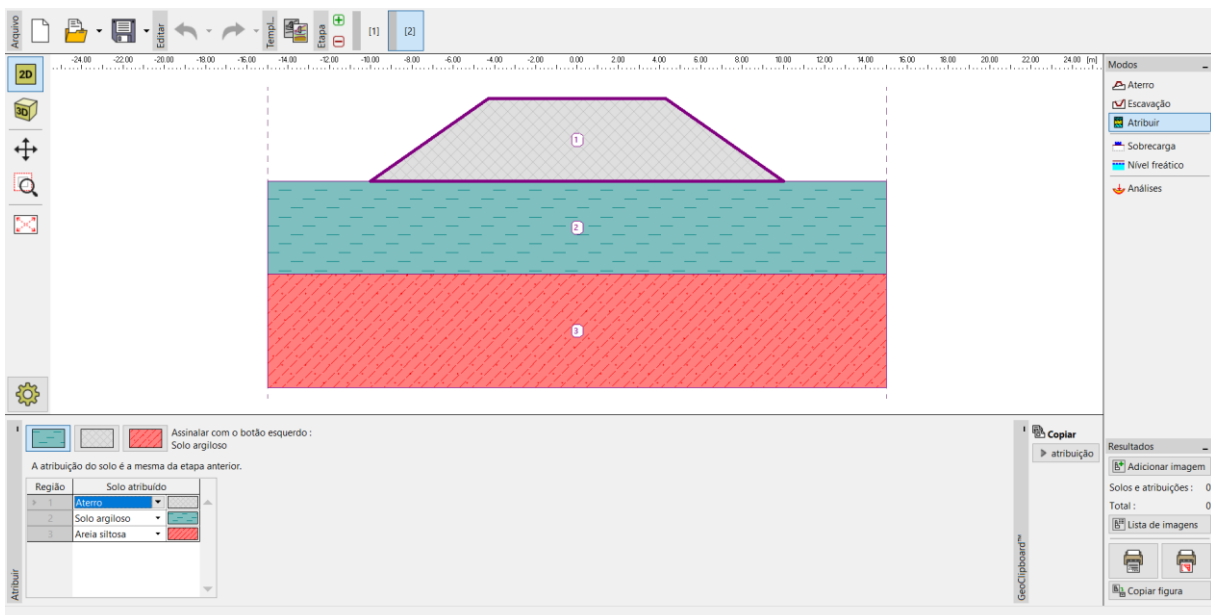


Barra de ferramentas “Etapas de construção”

Na segunda etapa, vamos definir o aterro através da introdução das coordenadas dos seus pontos, na janela “Aterro”:

- Ponto No. 1: $x = -10,0 \text{ m}$ $z = 0,0 \text{ m}$
- Ponto No. 2: $x = -4,29 \text{ m}$ $z = 4,0 \text{ m}$
- Ponto No. 3: $x = 4,29 \text{ m}$ $z = 4,0 \text{ m}$
- Ponto No. 4: $x = 10,0 \text{ m}$ $z = 0,0 \text{ m}$

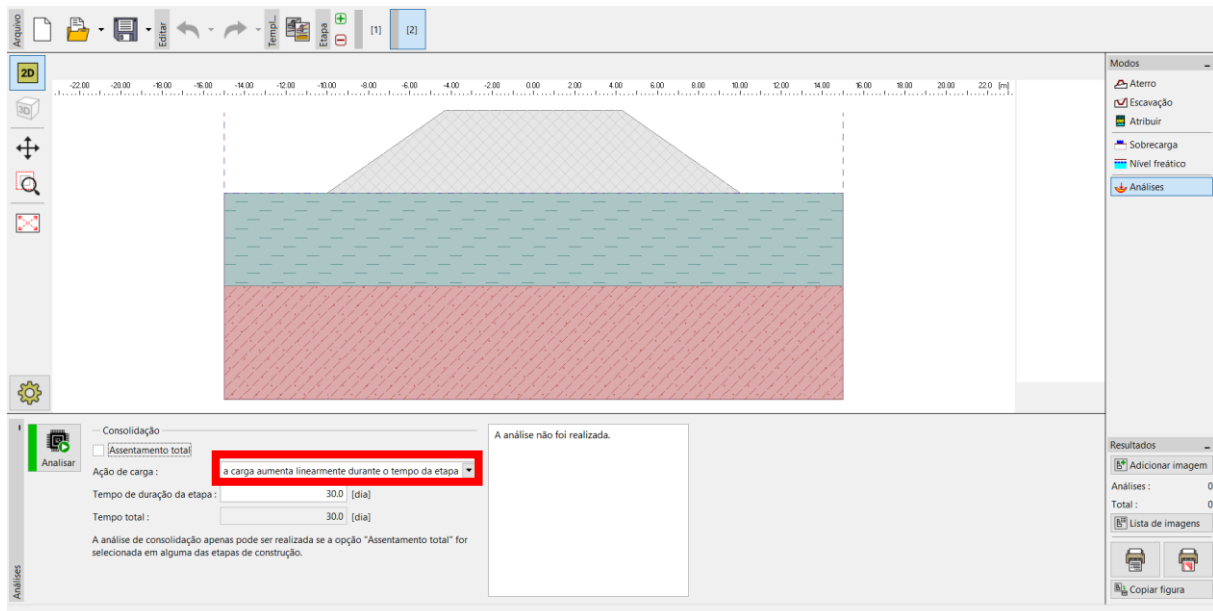
De seguida, passamos à janela “Atribuir”, onde o tipo de solo “Aterro” é atribuído ao aterro.



Etapa 2 – “Aterro + Atribuir”

Nota: O aterro atua como uma sobrecarga na superfície do terreno original. Teoricamente, assume-se que um aterro bem executado (compactação ótima) não sofre assentamentos. Na prática, podem ocorrer assentamentos (má compactação, efeito da fluência do solo), mas não são considerados pelo programa Recalque.

Na janela “Análises”, introduza a duração da **2ª etapa** (30 dias), correspondente à duração da construção do aterro. O cálculo do assentamento ainda não pode ser realizado, porque antes de determinar a consolidação é necessário conhecer o histórico de carregamento do aterro, isto é, é necessário definir todas as etapas de construção. Como o aterro é executado gradualmente, vamos considerar um **crescimento linear durante** a 2ª etapa de construção.



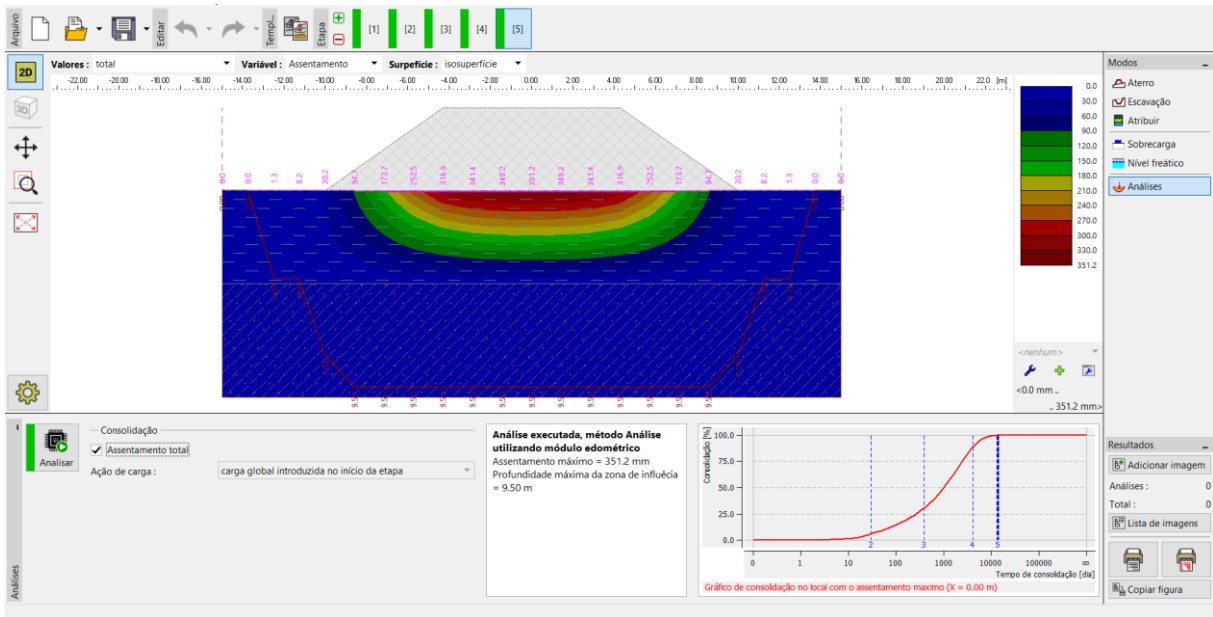
Janela “Análises – Etapa de construção 2”

Adicione mais 3 etapas. A duração definida para cada uma destas etapas é:

- **3ª etapa** – 1 ano, isto é, 365 dias
- **4ª etapa** – 10 anos, isto é, 3650 dias
- **5ª etapa** – Assentamento total

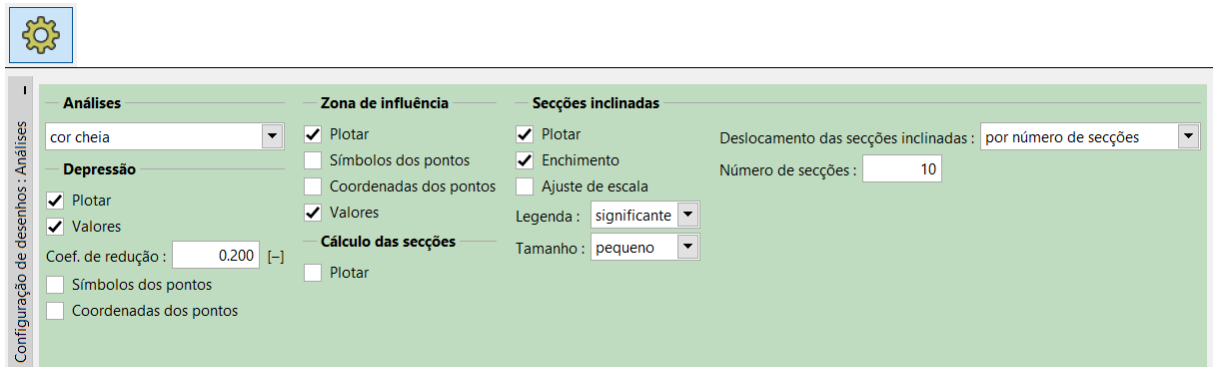
A ação do carregamento não tem influência (não existe uma nova sobrecarga nas etapas seguintes), sendo que mantemos a opção “carga global introduzida no início da etapa”.

Os cálculos são realizados para a 5ª etapa de construção, para a qual se verifica o “assentamento total” (esta opção pode ser selecionada para qualquer etapa, à exceção da primeira).



Janela “Análises – Etapa de construção 5”

As variáveis visíveis na Área de trabalho podem ser selecionadas na barra de ferramentas superior. Podem, ainda, ser definidas opções para configurações de desenhos especiais (ex.: depressão, zona de influência e secções inclinadas) – botão com a roda dentada, na parte esquerda da Área de trabalho.



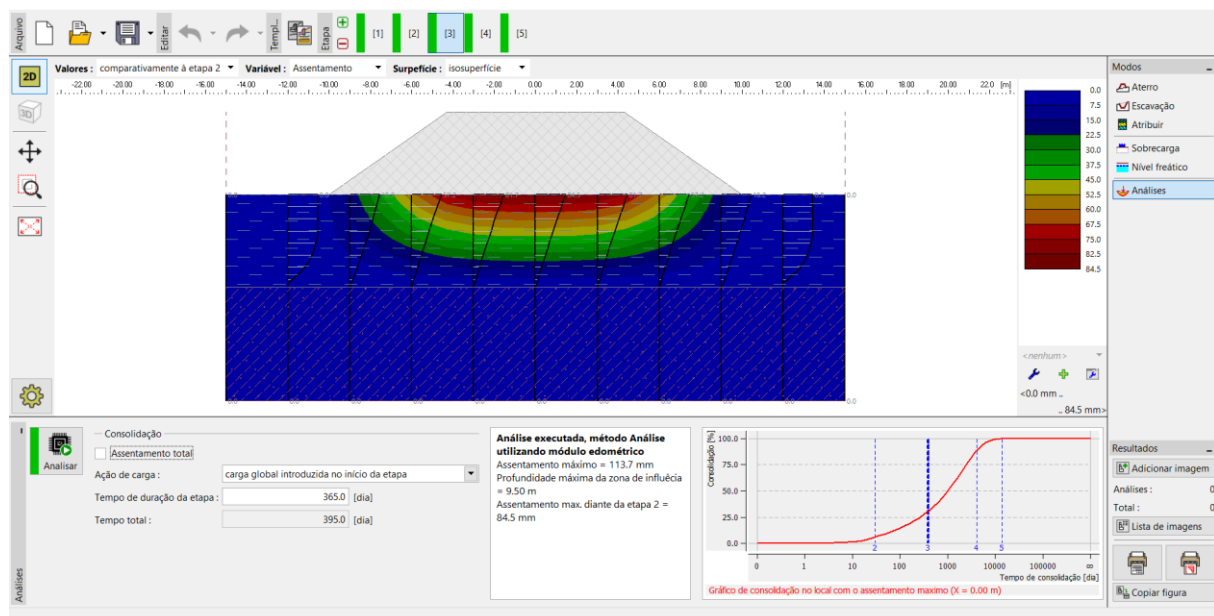
Configuração de desenhos

Resultados da análise

Após calcular o assentamento total, é possível verificar os valores das consolidações parciais sob o centro do aterro. Foram obtidos os seguintes valores de assentamento máximo, para cada etapa de construção:

- Etapa 1: apenas tensão geostática – o assentamento não é calculado
- Etapa 2 (sobrecarga do aterro): para 30 dias → 29.2 mm
- Etapa 3 (sem alterações): para 365 dias → 113.7 mm
- Etapa 4 (sem alterações): para 3650 dias → 311.7 mm
- Etapa 5: assentamento total → 351.2 mm

Uma vez que nos interessa conhecer o assentamento do aterro após a sua construção, vamos alterar a visualização dos resultados nas 3ª e 4ª etapas de construção (botão “Valores”) para “comparativamente à etapa 2”, o que subtrai os valores dos assentamentos respetivos.



Janela “Análises” - Assentamento (diferenças em comparação com a etapa anterior)

Conclusão:

O assentamento do aterro (sob o seu centro), após um ano da sua execução, é 84.5 mm (= 113.7 – 29.2) e após 10 anos é 282.5 mm (= 311.7 – 29.2).