

Análise da capacidade de suporte vertical e assentamento de um grupo de estacas

Programa: Grupo de Estacas

Arquivo: Demo_manual_17.gsp

O objetivo deste manual de engenharia é explicar as aplicações do programa GEO5 Grupo de Estacas.

Introdução

As análises do programa Grupo de Estacas podem ser divididas em dois grupos:

- Método de mola
- Soluções analíticas

O **método de mola** calcula a deformação de toda a fundação por estacas e determina as forças internas ao longo de cada estaca. O carregamento é definido como uma combinação ativa geral de $N, M_x, M_y, M_z, H_x, H_y$. Os principais resultados obtidos através do método de mola são a rotação e o deslocamento da placa rígida de capeamento de estacas e a armadura para cada estaca. O método de mola está explicado no capítulo seguinte (*18. Análise da deformação e dimensionamento de um grupo de estacas*).

A **solução analítica** é utilizada para analisar a capacidade de suporte vertical de um grupo de estacas carregado apenas por uma força normal. O resultado da análise consiste na capacidade de suporte vertical da fundação por estacas e no assentamento médio das estacas.

A solução analítica está subdividida de acordo com o tipo de solo:

- para solos coesivos
- para solos não coesivos

Considera-se que a capacidade de suporte vertical de um grupo de estacas num **solo coesivo** está em condições não drenadas. É determinada como a capacidade de suporte de uma porção de terra em forma de prisma, que envolve o grupo de estacas, de acordo com FHWA. Apenas a coesão total do solo (resistência ao corte não drenada) c_u é definida para realizar esta análise.

O assentamento de um grupo de estacas em solo coesivo (em condições não drenadas) baseia-se na análise de assentamento de uma fundação fictícia (conhecida como *assentamento por consolidação de um grupo de estacas* ou *método 2:1*).

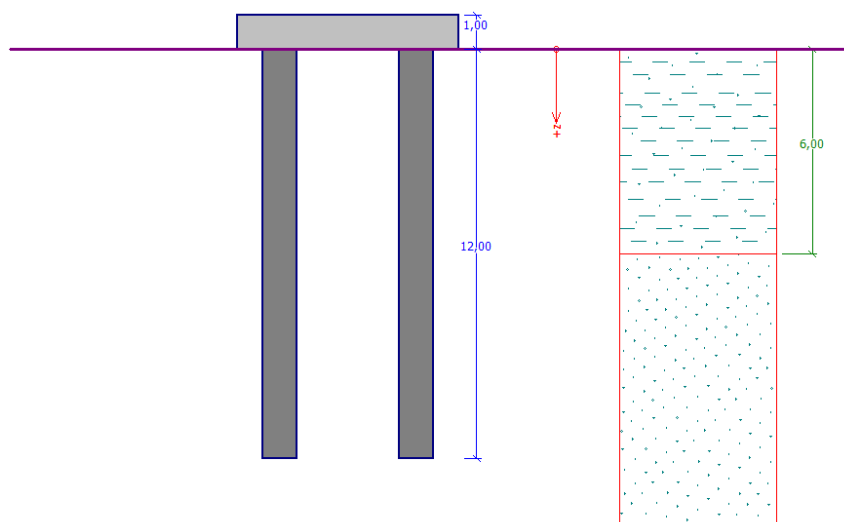
A análise do assentamento deste grupo de estacas considera a influência da profundidade da fundação e a espessura da zona de deformação, de acordo com a metodologia para avaliar o assentamento de fundações. Na República Checa e Eslováquia, é possível aplicar o procedimento de acordo com a Norma *CSN 73 1001 – Ground under spread foundations* para a análise de assentamento do grupo de estacas.

A avaliação de um grupo de estacas em **solo não coesivo** baseia-se em metodologias semelhantes às utilizadas para a análise de estacas isoladas em solos não coesivos (conforme descrito no capítulo 13. *Análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada*). Apenas é necessário adicionar a *eficiência do grupo de estacas*, que reduz a capacidade de suporte vertical total da fundação por estacas.

A curva de carregamento de um grupo de estacas em solo não coesivo é obtida da mesma forma que a curva para uma estaca isolada (exemplificado no capítulo 14. *Análise de assentamento de uma estaca isolada*), segundo Prof. H. G. Poulos, com a exceção do assentamento total do grupo de estacas, que é aumentado pelo fator de assentamento do grupo g_f , o que permite considerar o efeito individual das estacas do grupo. A extensão destes parâmetros depende do arranjo geométrico do grupo de estacas.

Definição do problema

A definição geral do problema é descrita em um dos capítulos anteriores (*12. Fundações por estacas – introdução*). Calcule a capacidade de suporte vertical do grupo de estacas de acordo com a Norma EN 1997-1 (DA 2), no seguimento do problema 13. *Análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada*. O carregamento resultante, que compreende N, M_y, H_x , atua no centro da superfície superior da placa de cabeamento das estacas.



Esboço do problema – grupo de estacas

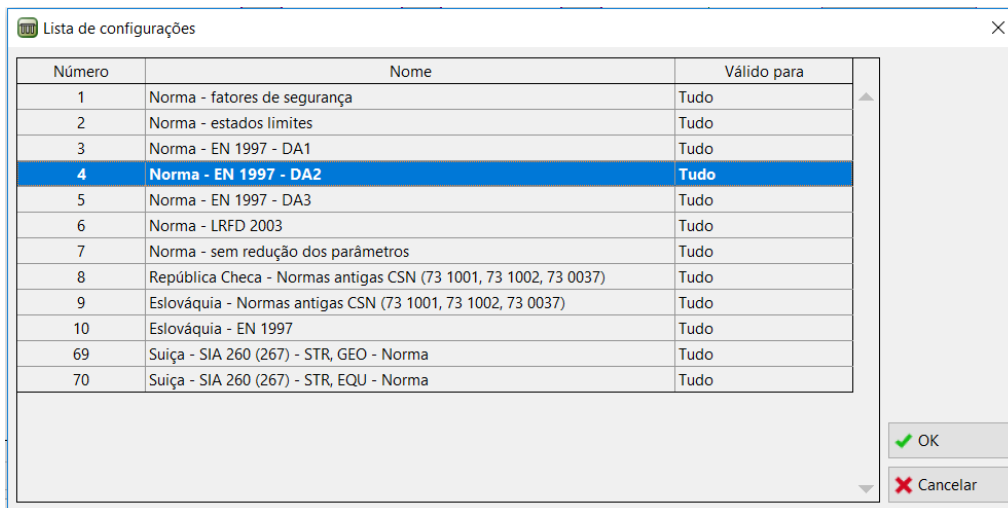
Resolução

Para analisar este problema, vamos utilizar o programa GEO5 Grupo de Estacas. Para simplificar o problema e acelerar a configuração dos parâmetros gerais do problema (geometria, solo, atribuição de solos e perfil geológico), vamos utilizar a opção de importar dados a partir do problema 13. *Análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada*.

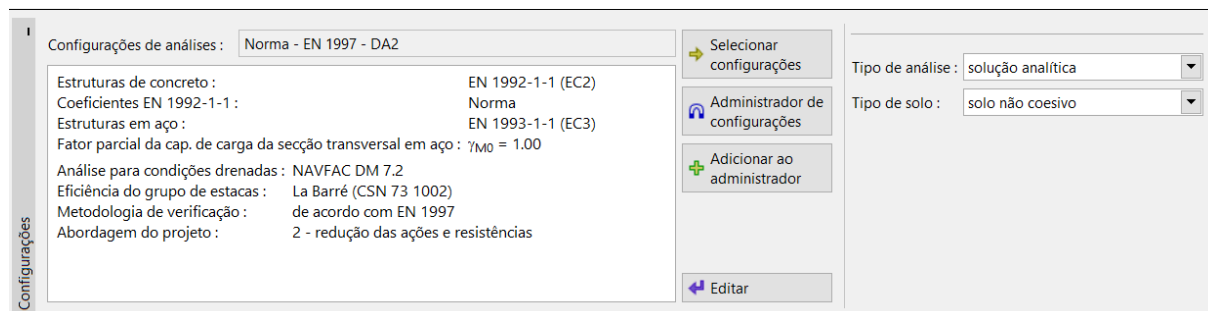
Nesta análise, vamos avaliar o grupo de estacas através dos métodos de cálculo analíticos (NAVFAC DM 7.2, TENSÃO EFETIVA e CSN 73 1002), de forma idêntica ao realizado para a análise de uma estaca isolada. Vamos focar-nos em outros parâmetros que afetam os resultados globais.

Definições específicas

Na janela “Configurações”, abrimos a “Lista de configurações” e selecionamos a opção “Norma – EN 1997 – DA2”. Vamos manter o sistema de cálculo de “*solução analítica*”. Neste caso particular, vamos considerar o tipo de solo como **solo não coesivo** porque vamos realizar a análise das estacas para *condições drenadas*.

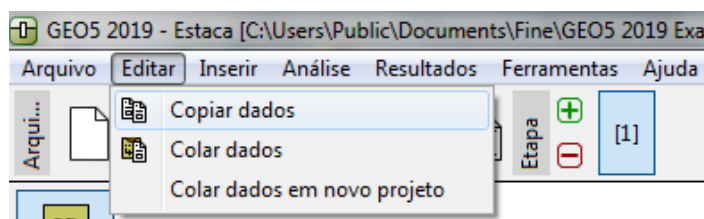


Caixa de diálogo “Lista de configurações”



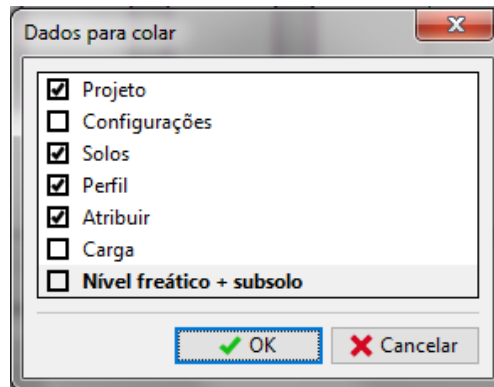
Janela “Configurações”

Vamos importar os dados, de modo a evitar a introdução de todos os dados novamente. Para importar os dados, é necessário começar por abrir o ficheiro relativo ao Manual No. 13. *Análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada* no programa GEO 5 Estaca. Na barra de ferramentas superior, clique no botão “Editar” e escolha a opção “Copiar dados”.



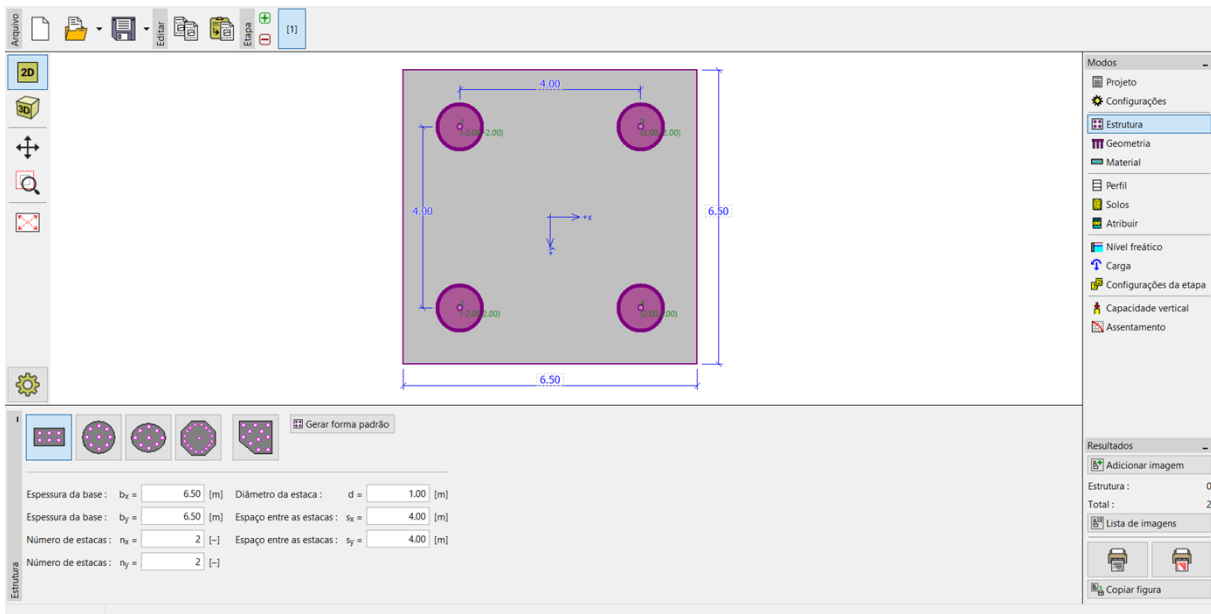
Programa “Estaca”

De seguida, no programa GEO5 Grupo de Estacas, vamos selecionar a transferência de todos os dados, à exceção das “Configurações”, “Carga – LC” e “Nível Freático + Subsolo”.



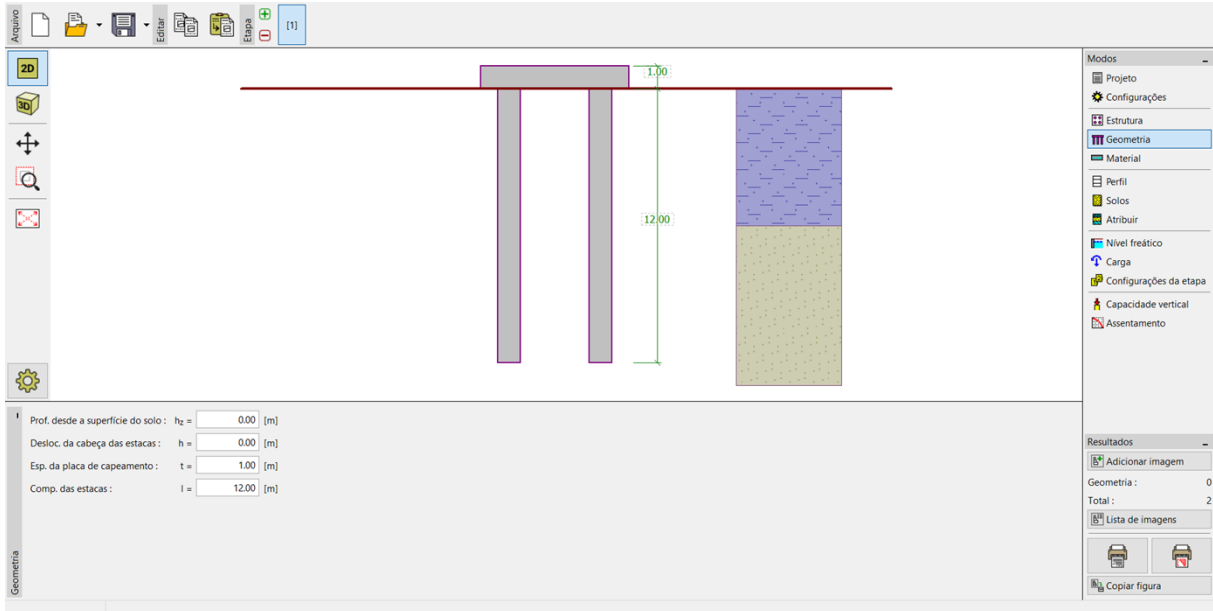
Caixa de diálogo “Dados a transferir”

Agora, passamos à janela “Estrutura”. Vamos definir as dimensões em planta da laje de fundo (placa de capeamento das estacas), o número de estacas pertencentes ao grupo, o diâmetro das estacas e o espaçamento entre estacas (na direção x ou y). Vamos definir a largura da placa de capeamento como 6.50 m e inserir o número de estacas como 2, tanto na direção x como na direção y .



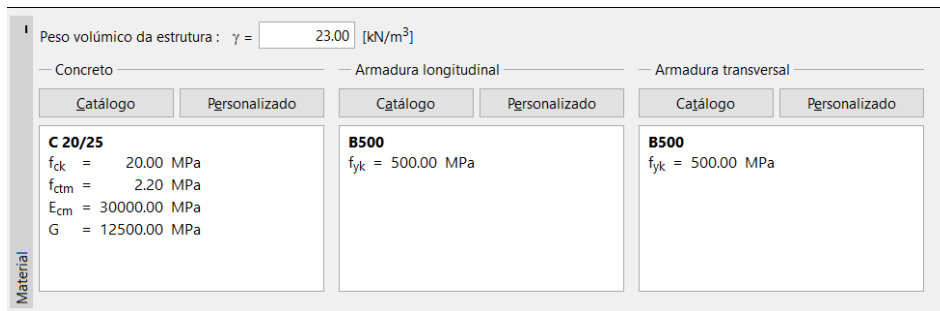
Janela “Estrutura”

Seguidamente, na janela “Geometria”, é necessário definir a profundidade do nível freático, o deslocamento da cabeça das estacas, a espessura da placa de capeamento e o comprimento das estacas do grupo. Todas as estacas do grupo têm igual diâmetro e comprimento.



Janela “Geometria”

Na janela “Material”, vamos definir o peso volúmico da estrutura como $\gamma = 23.0 \text{ kN/m}^3$.



Janela “Material”

Seguidamente, vamos definir o carregamento. A capacidade de suporte vertical do grupo de estacas é analisada para a carga de projeto, enquanto que a carga de serviço é utilizada para a análise de assentamento. Clique no botão “Adicionar” e adicione uma nova carga de dimensionamento e uma nova carga de serviço, conforme mostram as imagens abaixo.

Nova carga

Nome : Carga No. 1

Força vertical : N = 5680.00 [kN]

Momento fletor : $M_x = 0.00$ [kNm]
 $M_y = 480.00$ [kNm]

Força horizontal : $H_x = 310.00$ [kN]
 $H_y = 0.00$ [kN]

Momento de torção : $M_z = 0.00$ [kNm]

projeto serviço

+ Adicionar - Cancelar

Caixa de diálogo “Nova carga” – Carga de projeto (análise)

Nova carga

Nome : Carga No. 2

Força vertical : N = 4000.00 [kN]

Momento fletor : $M_x = 0.00$ [kNm]
 $M_y = 320.00$ [kNm]

Força horizontal : $H_x = 240.00$ [kN]
 $H_y = 0.00$ [kN]

Momento de torção : $M_z = 0.00$ [kNm]

projeto serviço

+ Adicionar - Cancelar

Caixa de diálogo “Nova carga” – Carga de serviço (imposta)

Vamos realizar a análise do grupo de estacas na janela “Capacidade vertical”. Para verificar a condição de equilíbrio, o valor de R_g deve ser superior ao valor da carga de projeto V_d atuante (mais detalhes na Ajuda – F1). Para o método de análise **NAVFAC DM 7.2** e eficiência do grupo de estacas *La Barré* (CSN 73 1002), de acordo com as configurações iniciais da análise, os resultados para a capacidade de suporte vertical do grupo de estacas são os seguintes:

– **La Barré** (CSN 73 1002): $\eta_g = 0.84$.

$R_g = 7491.90 \text{ kN} > V_d = 6991.86 \text{ kN}$ **SATISFAZ**

Análise: [1]

Escolher valores máximos automaticamente

NAVFAC DM 7.2

Fator determinante da prof. crítica: $k_{dc} = 1.00$ [-]

Coefficiente da capacidade de carga: $N_q = 10.00$ [-]

Análise da cap. de carga vert. do grupo de estacas no solo não coesivo

A força vertical máx. inclui o peso próprio da base.

Cap. de carga da estaca na lateral	$R_s = 676.82$ kN
Cap. de carga na base	$R_b = 1542.24$ kN
Cap. de carga de estaca isolada	$R_e = 2219.06$ kN
Eficiência do grupo de estacas	$\eta_g = 0.84$
Cap. de carga vert. do grupo de estacas	$R_g = 7491.90$ kN
Força vertical máxima	$V_d = 6991.86$ kN
$R_g = 7491.90$ kN > 6991.86 kN = V_d	

Cap. de carga vert. do grupo de estacas É SATISFATÓRIA

Resultados

Capacidade vertical: 0

Total: 2

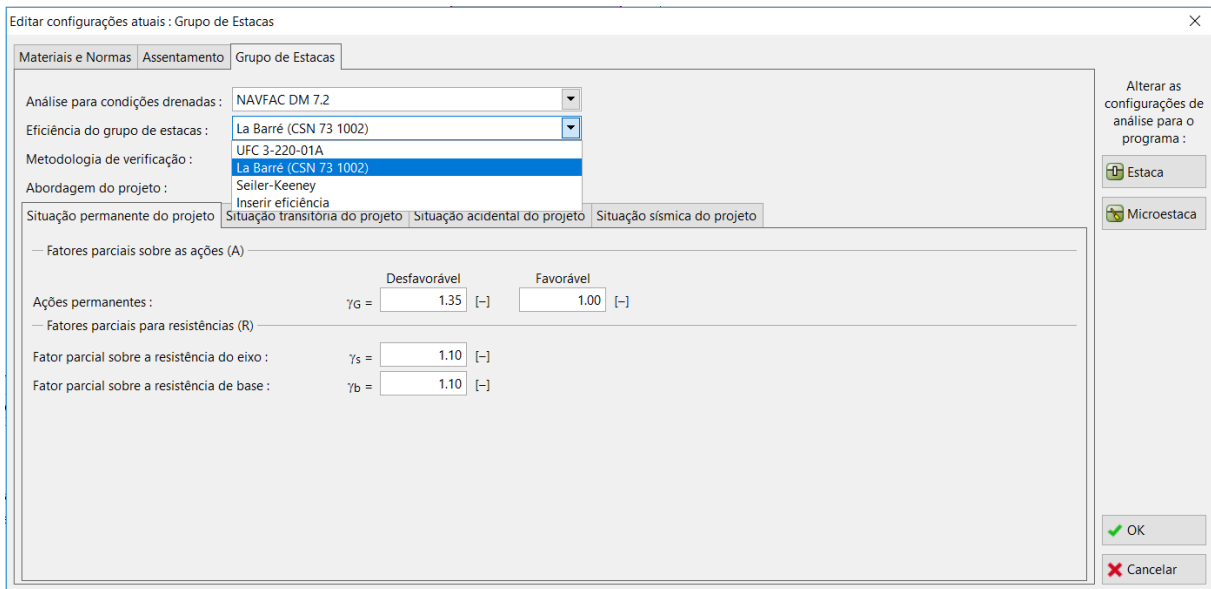
Janela "Capacidade vertical"

Nota: A capacidade de suporte vertical obtida para o grupo de estacas em solo não coesivo deve ser reduzida, uma vez que as estacas se afetam estaticamente entre si. A análise do programa contém vários métodos para determinar a eficiência do grupo de estacas η_g . Este parâmetro adimensional (normalmente dentro do intervalo 0.5 a 1.0) reduz a capacidade de suporte vertical do grupo de estacas R_g , de acordo com:

- o número de estacas do grupo n_x, n_y ;
- o espaçamento ao centro entre estacas do grupo s_x, s_y ;
- o diâmetro das estacas do grupo d .

A eficiência do grupo de estacas η_g depende apenas da geometria definida para o grupo de estacas. O método de análise selecionado não tem influência.

É possível verificar as variações da capacidade de suporte vertical tendo em conta a utilização de outros métodos de determinação da eficiência do grupo de estacas η_g . Regressando à janela “Configurações”, clique no botão “Editar”, na parte central do ecrã, e selecione as alternativas restantes, “UFC 3-220-01A” e “Seiler-Keeney”, na secção “Grupo de estacas”.



Caixa de diálogo “Editar configurações atuais”

Para os restantes métodos de análise, o procedimento é análogo ao utilizado para resolver o problema do Manual No. 13. *Análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada*. No caso do método da tensão efetiva, vamos definir o coeficiente de capacidade de suporte N_p como 30.

Os resultados da análise da capacidade de suporte vertical de um grupo de estacas em solo não coesivo (condições drenadas), com base no método utilizado para determinar a eficiência do grupo de estacas η_g são apresentados na tabela seguinte:

- **La Barré** (CSN 73 1002): $\eta_g = 0.84$
- **UFC 3-220-01A**: $\eta_g = 0.80$
- **Seiler-Keeney**: $\eta_g = 0.99$

EN 1997-1, DA2 (solo não coesivo) Método de análise	Eficiência do grupo de estacas η_g [-]	Capacidade de suporte de cada estaca R_c [kN]	Capacidade de suporte do grupo de estacas R_g [kN]
NAVFAC DM 7.2	0.84	2219.06	7491.90
	0.80		7100.98
	0.99		8829.18
TENSÃO EFETIVA	0.84	6172.80	20 840.41
	0.80		19 572.96
	0.99		24 560.34
CSN 73 1002	0.84	5776.18	19 501.36
	0.80		18 483.79
	0.99		22 982.28

Sumário de resultados – Capacidade de suporte vertical de um grupo de estacas em condições drenadas

Conclusão (capacidade de suporte vertical de um grupo de estacas)

A capacidade de suporte vertical obtida para o grupo de estacas R_g em solo não coesivo deve ser reduzida (através da eficiência do grupo de estacas η_g) porque as estacas afetam-se estaticamente entre si. Geralmente, o efeito que as estacas têm entre si aumenta com a diminuição do espaçamento entre estacas.

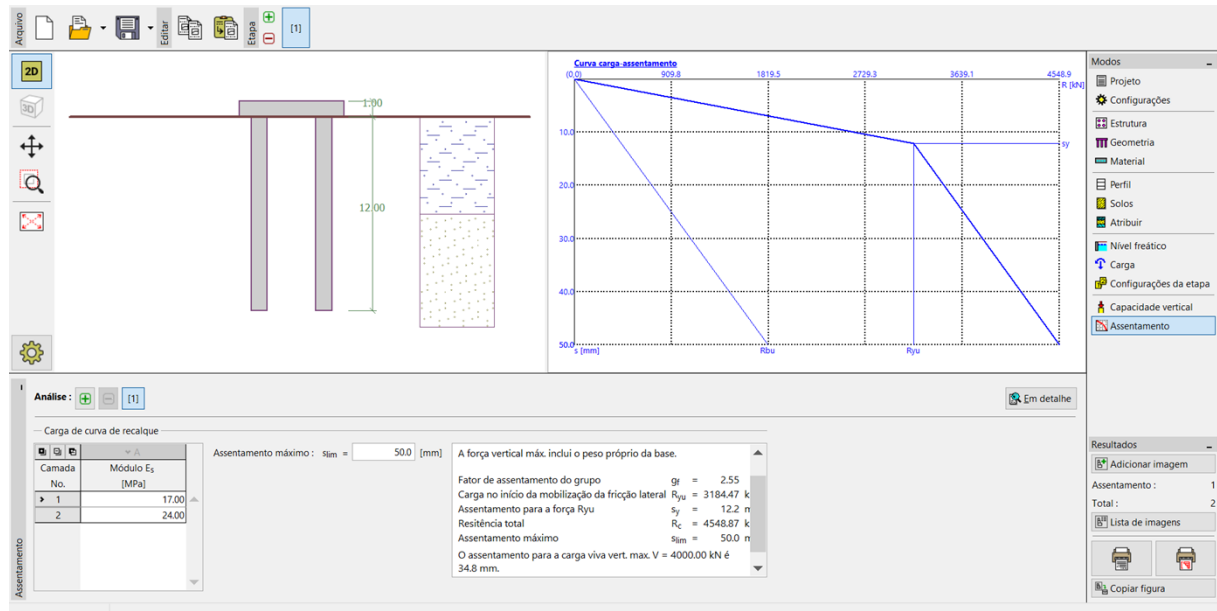
O projetista deve sempre considerar se a análise da capacidade de suporte vertical do grupo de estacas deve ser realizada para condições drenadas ou não drenadas. O tipo de análise respectivo difere significativamente.

Análise de assentamento do grupo de estacas

A análise de assentamento do grupo de estacas é idêntica à aplicada para uma estaca isolada, sendo que o assentamento obtido é posteriormente multiplicado pelo fator de assentamento do grupo g_f .

Nota: O valor do fator de assentamento do grupo g_f depende da geometria do grupo de estacas, isto é, do diâmetro das estacas e da largura da placa de capeamento das estacas.

Vamos analisar o assentamento de um grupo de estacas segundo a teoria de Poulos. Vamos utilizar os valores do módulo E_s do Manual No. 14 *Análise do assentamento de uma estaca isolada* (17 MPa para a 1ª camada, 24 MPa para a 2ª camada). O assentamento máximo considerado é de 50 mm.



Janela “Assentamento” – método NAVFAC DM 7.2

Os resultados da análise são apresentados na tabela seguinte:

Método de análise da capacidade de suporte vertical do grupo de estacas	Carga no início da mobilização do atrito superficial R_{yu} [kN]	Assentamento do grupo de estacas s [mm] para uma força $V = 4000$ kN
NAVFAC DM 7.2	3184.47	34.8
TENSÃO EFETIVA	7274.43	15.3
CSN 73 1002	8057.77	15.3

Sumário de resultados – Assentamento do grupo de estacas segundo Poulos

Conclusão (assentamento do grupo de estacas):

A partir dos resultados da análise é possível verificar que a capacidade de suporte vertical do grupo de estacas difere, tendo em conta o assentamento. A análise de assentamento do grupo de estacas em solo não coesivo (condições drenadas) baseia-se na teoria de assentamento linear, para a qual os dados base a introduzir são os valores do atrito superficial R_s e da resistência na base da estaca R_b .

Contrariamente, o assentamento do grupo de estacas em solo coesivo (condições não drenadas), baseia-se na análise de uma fundação fictícia. Este método é conhecido como o *assentamento por consolidação de um grupo de estacas* ou *método 2:1*. Para este grupo de estacas, a análise de assentamento considera o efeito da profundidade da fundação medida a partir da superfície do terreno e a profundidade da zona de deformação, de acordo com a metodologia para analisar assentamentos em fundações.

Os dois métodos de análise variam significativamente e dão origem a resultados completamente diferentes. Os autores dos programas GEO5 recomendam que a capacidade de suporte vertical e o assentamento de grupos de estacas sejam calculados de acordo com a prática local.