

Análise do assentamento de uma estaca isolada

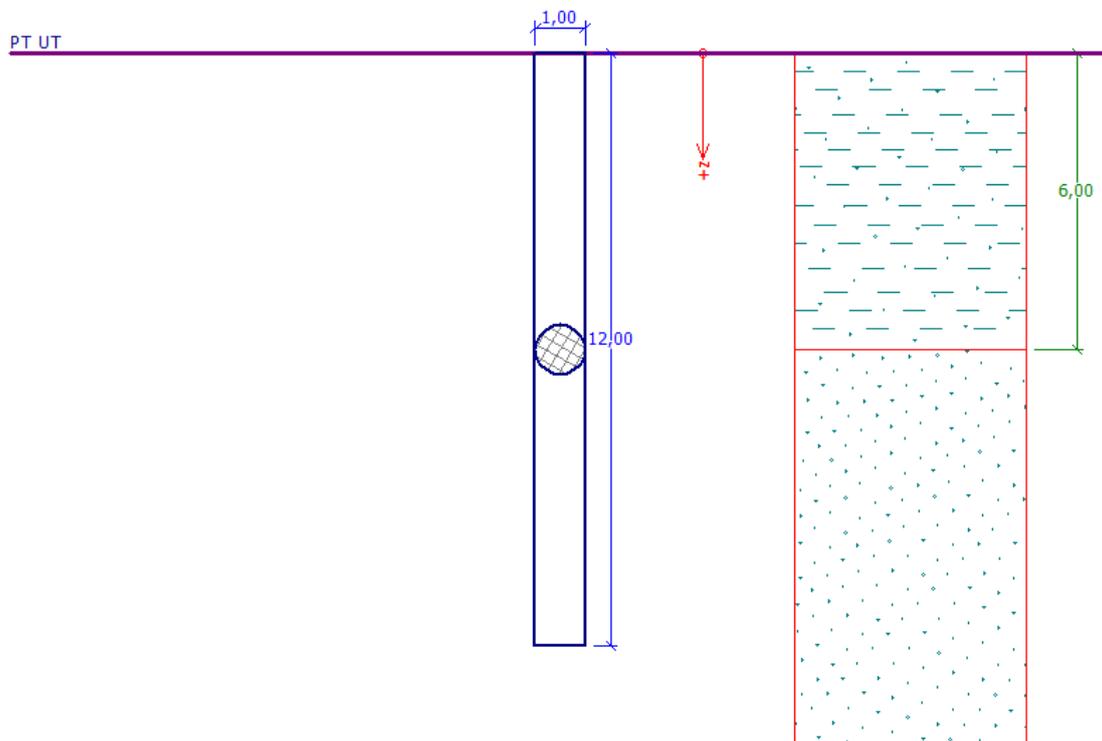
Programa: Estaca

Arquivo: Demo_manual_14.gpi

O objetivo deste manual de engenharia é explicar a aplicação do programa GEO5 Estaca na análise de assentamento de uma estaca isolada, para um problema prático específico.

Definição do problema

A definição geral do problema está descrita no capítulo 12. *Fundações por estacas – introdução*. Todas as análises de assentamento de uma estaca isolada podem ser realizadas no seguimento do problema anterior, apresentado no capítulo 13. *Análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada*.



Esboço do problema – estaca isolada

Resolução

Para analisar este problema, vamos utilizar o programa GEO5 Estaca. No texto abaixo, vamos descrever a resolução deste problema passo-a-passo.

Nesta análise, vamos calcular o assentamento de uma estaca isolada, através dos métodos seguintes:

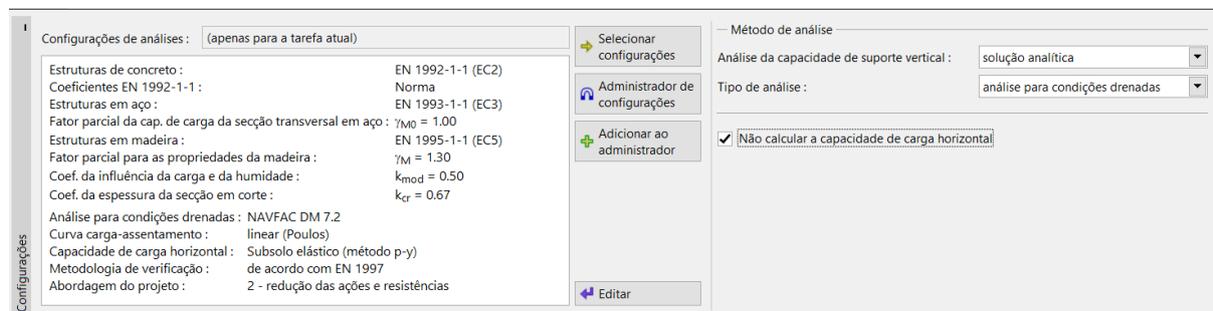
- *teoria de assentamento linear* (segundo Prof. **Poulos**)
- *teoria de assentamento não linear* (segundo **Masopust**)

A **curva de carregamento linear** (método segundo Poulos) é determinada a partir dos resultados da análise da capacidade de suporte vertical da estaca. Os parâmetros principais necessários para a análise são a **capacidade de suporte da superfície da estaca e a capacidade de suporte da base da estaca** – R_s e R_b . Estes valores são obtidos a partir da análise anterior, da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada, consoante o método aplicado (NAVFAC DM 7.2, Tensão Efetiva, CSN 73 1002 ou Tomlinson).

A **curva de carregamento não linear** (método segundo Masopust) baseia-se na definição de **coeficientes de regressão**. O resultado depende dos métodos de análise da capacidade de suporte vertical e pode ser utilizado para determinar a capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada, em que a capacidade corresponde ao assentamento permitido (normalmente 25 mm).

Processo de definição: Teoria de assentamento linear (POULOS)

No programa Estaca, abra o ficheiro do Manual No. 13. Na janela “Configurações”, vamos manter as configurações existentes – vamos utilizar a “Norma – EN 1997 – DA2”, utilizada no problema anterior. Vamos realizar a análise da capacidade de suporte de acordo com NAVFAC DM 7.2. Vamos, ainda, selecionar a opção “Não calcular a capacidade de suporte horizontal”. A curva de carregamento linear (Poulos) já está definida através destas configurações da análise.



Janela “Configurações”

Nota: A análise da curva de carregamento limite baseia-se na teoria de elasticidade. O solo é definido pelo módulo de deformação E_{def} e pelo coeficiente de Poisson ν .

No passo seguinte, abrimos a janela “Solos” e vamos definir as propriedades de deformação do solo, necessárias para a análise de assentamento, isto é, o módulo edométrico E_{oed} ou módulo de deformação E_{def} e coeficiente de Poisson ν .

Solo (Classificação do solo)	Peso volúmico γ [kN/m ³]	Ângulo de atrito interno φ_{ef} / φ_u [°]	Coesão do solo c_{ef} / c_u [kPa]	Coefficiente de Poisson ν [-]	Módulo edométrico $E_{oed} = [MPa]$
CS – Argila arenosa, consistência firme	18.5	-/0.0	-/50.0	0.35	8.0
S-F – Areia com partículas finas, solo mediantemente denso	17.5	29.5	0.0	0.30	21.0

Tabela com os parâmetros dos solos – Assentamento de uma estaca isolada

De seguida, na janela “Carga”, vamos definir um carregamento de serviço para a análise de assentamento de uma estaca isolada. Clique no botão “Adicionar” e adicione uma nova carga, com os parâmetros conforme mostra a imagem abaixo.

Nova carga

Nome: Carga No. 1

Força vertical: N = 1015.00 [kN]

Momento fletor: M_x = 0.00 [kNm]

M_y = 80.00 [kNm]

Força horizontal: H_x = 60.00 [kN]

H_y = 0.00 [kN]

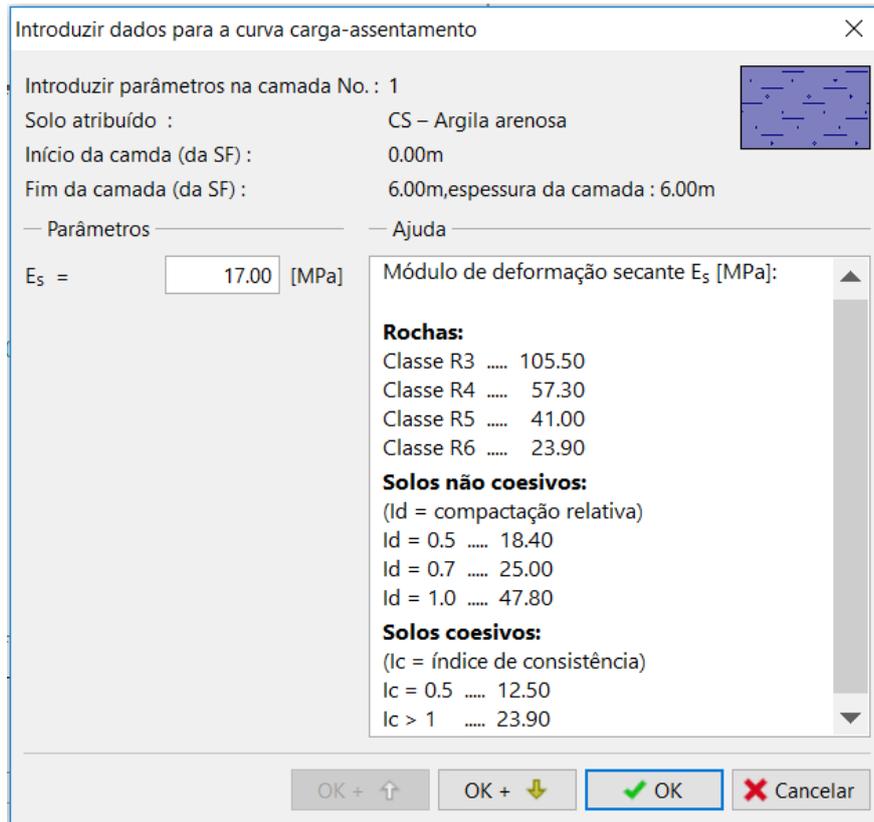
projeto serviço

Caixa de diálogo “Nova carga”

Vamos saltar as janelas restantes uma vez que estas não serão alteradas e prosseguimos com a análise de assentamento na janela “Assentamento”.

Na janela “Assentamento”, vamos definir o módulo de deformação secante E_s [MPa] para cada tipo de solo, através do botão “Editar E_s ”.

Para a 1ª camada de *solo coesivo* (classe CS), vamos definir o valor recomendado para o módulo de deformação secante como $E_s \cong 17.0$ MPa. Para a 2ª camada de *solo não coesivo* (classe S-F), vamos assumir o módulo de deformação secante $E_s \cong 24.0$ MPa.



Introduzir dados para a curva carga-assentamento

Introduzir parâmetros na camada No. : 1

Solo atribuído : CS – Argila arenosa

Início da camda (da SF) : 0.00m

Fim da camada (da SF) : 6.00m, espessura da camada : 6.00m

— Parâmetros — — Ajuda —

E_s = 17.00 [MPa]

Módulo de deformação secante E_s [MPa]:

Rochas:

Classe R3	.....	105.50
Classe R4	.....	57.30
Classe R5	.....	41.00
Classe R6	.....	23.90

Solos não coesivos:
(I_d = compactação relativa)

$I_d = 0.5$	.....	18.40
$I_d = 0.7$	.....	25.00
$I_d = 1.0$	.....	47.80

Solos coesivos:
(I_c = índice de consistência)

$I_c = 0.5$	.....	12.50
$I_c > 1$	.....	23.90

OK + ↑ OK + ↓ OK Cancelar

Caixa de diálogo “Introduzir dados para a curva carga-assentamento – módulo de deformação secante E_s ” – solo CS

Introduzir dados para a curva carga-assentamento

Introduzir parâmetros na camada No. : 2

Solo atribuído : S-F – Areia com partículas finas

Início da camda (da SF) : 6.00m

Fim da camada (da SF) : 12.00m, espessura da camada : 6.00m

— Parâmetros —

$E_s =$ [MPa]

— Ajuda —

Módulo de deformação secante E_s [MPa]:

Rochas:

Classe R3 158.00

Classe R4 106.66

Classe R5 77.52

Classe R6 47.72

Solos não coesivos:
(I_d = compactação relativa)

$I_d = 0.5$ 28.40

$I_d = 0.7$ 44.74

$I_d = 1.0$ 88.54

Solos coesivos:
(I_c = índice de consistência)

$I_c = 0.5$ 20.22

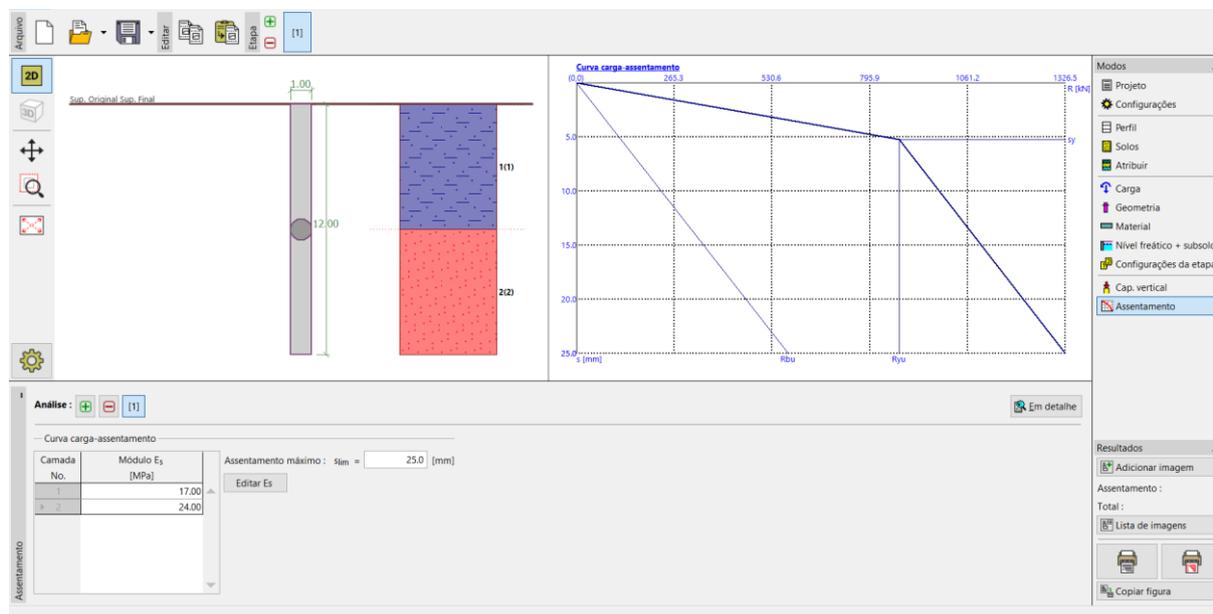
$I_c > 1$ 48.12

OK + ↑ OK + ↓

Caixa de diálogo “Introduzir dados para a curva carga-assentamento – módulo de deformação secante E_s ” – solo S-F

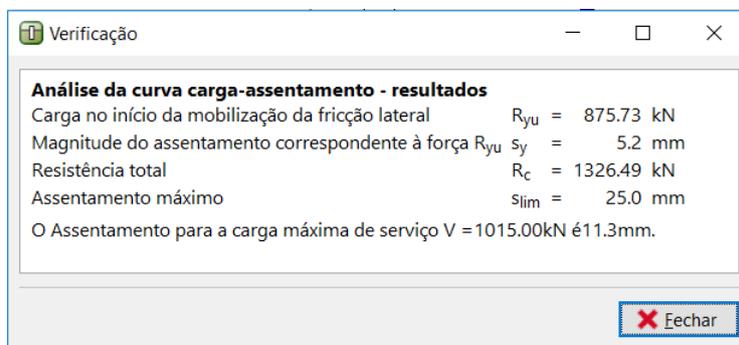
Nota: O módulo de deformação secante E_s depende do diâmetro da estaca e da espessura de cada camada do solo. Os valores deste módulo devem ser determinados com base em ensaios de campo. O seu valor para solos não coesivos e para solos coesivos depende do índice de densidade relativa I_d e do índice de consistência I_c , respetivamente.

Vamos, ainda, definir o assentamento limite, que corresponde ao valor do assentamento máximo para o qual a curva de carregamento é definida. Neste problema, vamos considerar um assentamento máximo de 25 mm.



Janela “Assentamento” – curva de carregamento linear (segundo Poulos)

De seguida, clique no botão “Em detalhe” para abrir a caixa de diálogo que permite visualizar o assentamento calculado para o carregamento de serviço máximo.

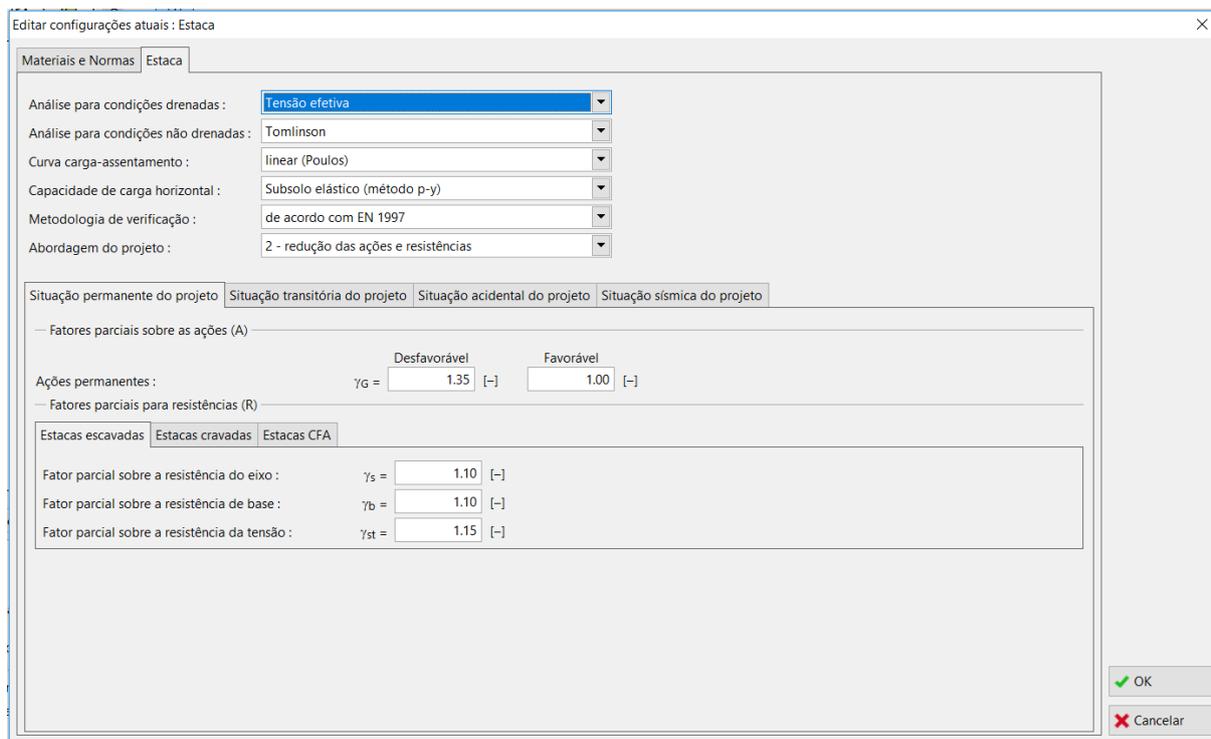


Resultados do assentamento

Para a análise da capacidade de suporte vertical, através de **NAVFAC DM 7.2**, o assentamento resultante para uma estaca isolada é **11.3 mm**.

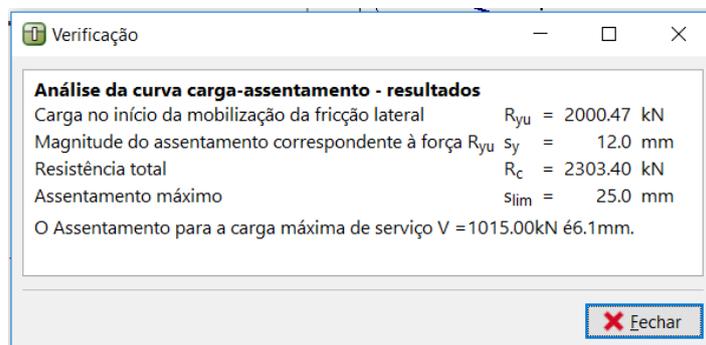
Análise de assentamento de uma estaca isolada: Teoria de assentamento linear (POULOS), outros métodos

Agora, vamos voltar às configurações da análise. Na janela “Configurações”, clique no botão “Editar”. Na secção “Estaca”, selecione a opção “tensão efetiva” para a análise em condições drenadas e a opção “CSN 73 1002” para a análise seguinte. Os restantes parâmetros permanecem inalterados.



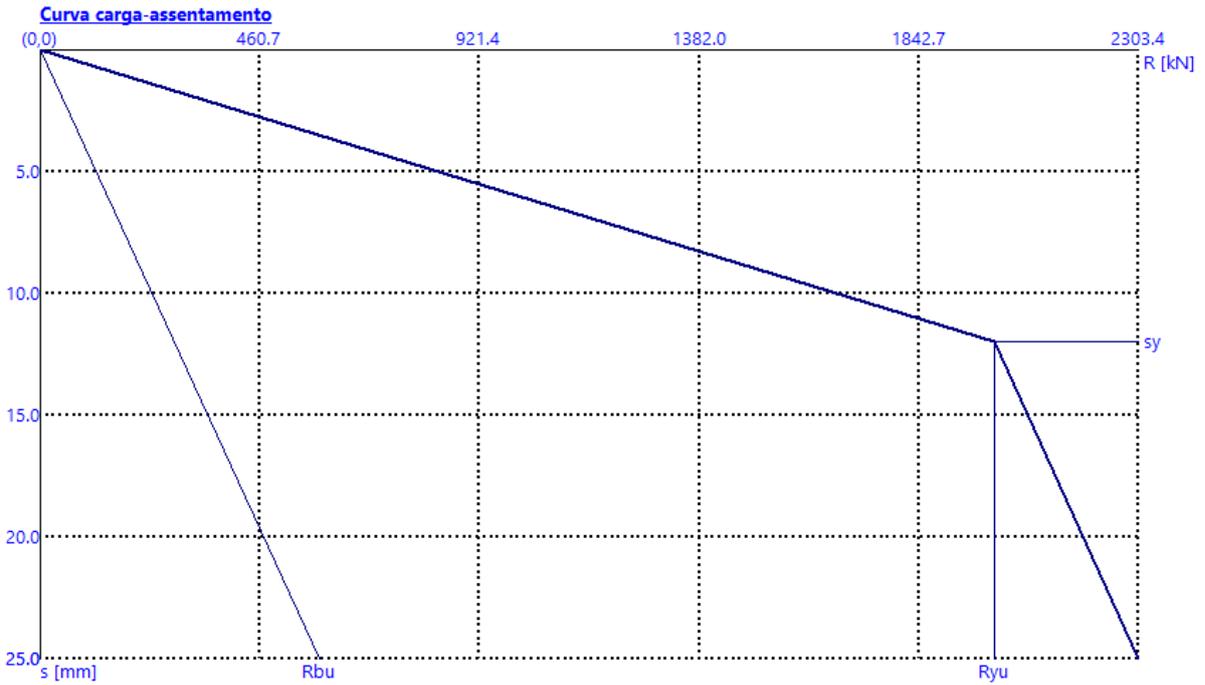
Caixa de diálogo “Editar configurações atuais”

De seguida, passamos à janela “Assentamento”, para visualizar os resultados. O valor do assentamento limite s_{lim} , o tipo de estaca e o módulo de deformação E_s permanecem iguais aos utilizados no caso anterior.



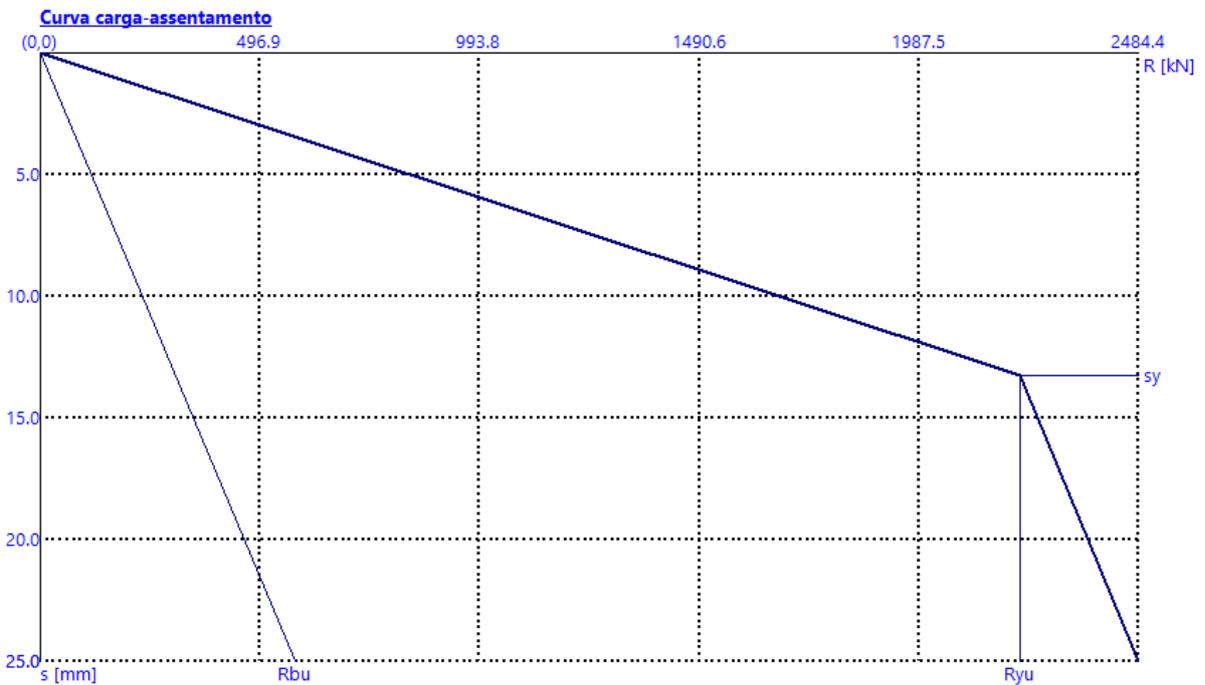
Caixa de diálogo – “Em detalhe” – resultados do método da tensão efetiva

Para a capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada, determinada através do método da **TENSÃO EFETIVA**, o assentamento resultante é $s = 6.1 \text{ mm}$.



Janela "Assentamento" – curva de carregamento linear (segundo Poulos) para o método da tensão efetiva

Para a análise da capacidade de suporte vertical de uma estaca isolada, determinada pelo método **CSN 73 1002**, o assentamento é $s = 6.1 \text{ mm}$.



Janela "Assentamento" – curva de carregamento linear (segundo Poulos) para o método CSN 73 1002

Os resultados da análise de assentamento de uma estaca isolada, de acordo com a teoria linear (**Poulos**), em função do método de análise da capacidade de suporte vertical, são apresentados na tabela seguinte:

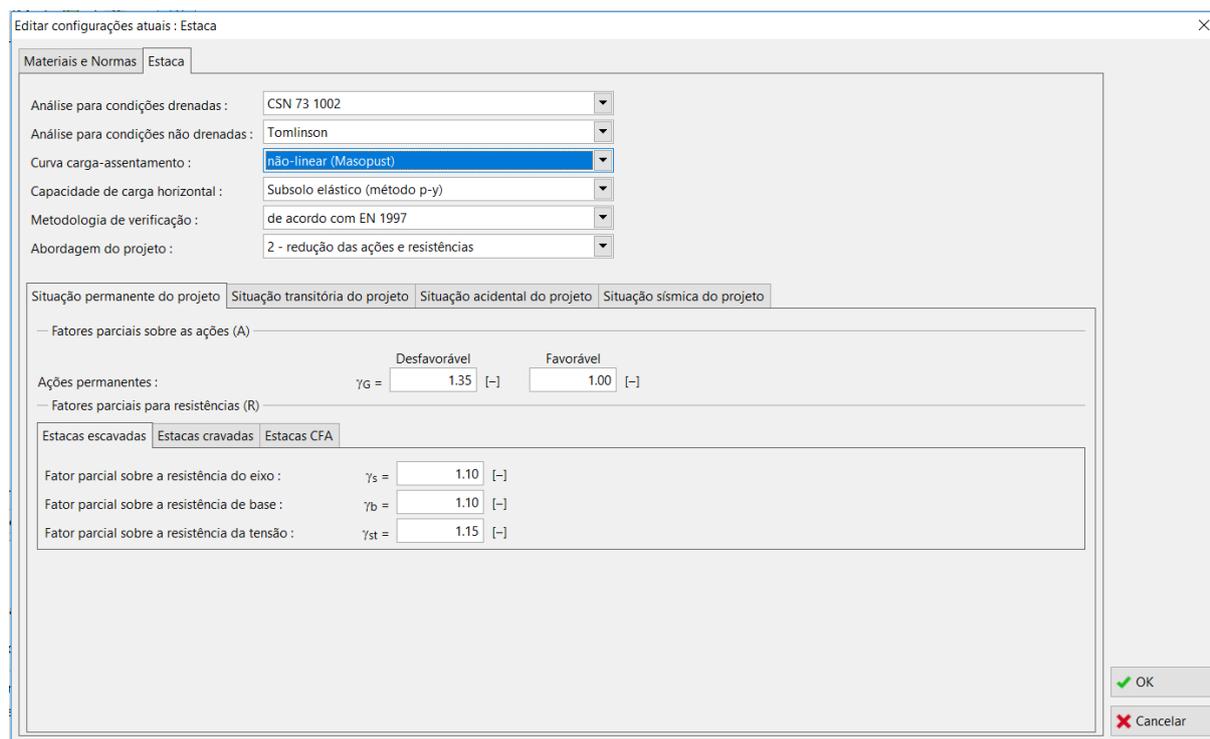
Curva de carregamento linear Método de análise	Carregamento no início da mobilização do atrito superficial R_{yu} [kN]	Resistência total R_c [kN] para $s_{lim} = 25,0$ mm	Assentamento da estaca isolada s [mm]
NAVFAC DM 7.2	875.73	1326.49	11.3
TENSÃO EFETIVA	2000.47	2303.40	6.1
CSN 73 1002	2215.89	2484.40	6.1

Sumário dos resultados – Assentamento de uma estaca isolada segundo Poulos

Processo de definição: Teoria de assentamento não linear (MASOPUST)

Esta análise é independente das análises anteriores, para a capacidade de suporte vertical de uma estaca. O método baseia-se nas equações de curvas de regressão, obtidas através dos resultados de ensaios de carregamento estático de estacas. Este método de análise é o mais utilizado na República Checa e Eslováquia. O método fornece resultados de confiança e conservativos, para as condições geológicas locais.

Na janela “Configurações”, clique no botão “Editar”. Na secção “Estaca”, selecione a opção “não linear (Masopust)” para a curva de carregamento.



Caixa de diálogo “Editar configurações atuais”

Os restantes dados não são alterados. A análise continua na janela “Assentamento”.

Vamos considerar o *carregamento de serviço* para a curva de carregamento não linear limite, dado que esta análise é realizada de acordo com o estado limite de serviço. Mantemos o fator de proteção do furo como $m_2 = 1.0$, não reduzindo o valor resultante para a capacidade de suporte vertical da estaca, de acordo com a tecnologia de instalação. Os valores para o assentamento (máximo) permitido s_{lim} e para o módulo de deformação secante E_s permanecem iguais às análises anteriores.

Vamos, também, definir os valores dos coeficientes de regressão através dos botões “Editar a, b” e “Editar e, f”, conforme mostram as figuras abaixo. Ao realizar esta edição, são exibidos, na caixa de diálogo, os valores dos coeficientes recomendados para os diferentes tipos de solos e rochas.

Introduzir dados para a curva carga-assentamento

Introduzir parâmetros na camada No. : 1

Solo atribuído : CS – Argila arenosa

Início da camda (da SF) : 0.00m

Fim da camada (da SF) : 6.00m, espessura da camada : 6.00m

— Parâmetros —

a = [-]

b = [-]

— Ajuda —

	a	b
Rocha boa	246	225
Rocha exposta	169	139
Rocha pobre	131	94
Rocha muito pobre	97	108

Solos não coesivos
(Id = compactação relativa)

Id	a	b
Id = 0.5	62	16
Id = 0.7	91	48
Id = 1.0	154	115

Solos coesivos
(Ic = índice de consistência)

Ic	a	b
Ic = 0.5	46	20
Ic > 1	97	108

OK + ↑ OK + ↓

Caixa de diálogo “Inserir para curva carregamento-assentamento – coeficientes de regressão a, b (e, f)” – solo CS

Introduzir dados para a curva carga-assentamento

Introduzir parâmetros na camada No. : 2

Solo atribuído : S-F – Areia com partículas finas

Início da camda (da SF) : 6.00m

Fim da camada (da SF) : 12.00m, espessura da camada : 6.00m

— Parâmetros —

a = [-]

b = [-]

— Ajuda —

	a	b
Rocha boa	246	225
Rocha exposta	169	139
Rocha pobre	131	94
Rocha muito pobre	97	108

Solos não coesivos
(Id = compactação relativa)

	a	b
Id = 0.5	62	16
Id = 0.7	91	48
Id = 1.0	154	115

Solos coesivos
(Ic = índice de consistência)

	a	b
Ic = 0.5	46	20
Ic > 1	97	108

OK + ↑ OK + ↓

Caixa de diálogo “Inserir para curva carregamento-assentamento – coeficientes de regressão a, b”

– solo S-F

Introduzir dados para a curva carga-assentamento

Introduzir parâmetros sob a base da estaca

Início da camda (da SF) : 12.00m

Fim da camada (da SF) : -

— Parâmetros —

e = [-]

f = [-]

— Ajuda —

	e	f
Rocha boa	2840	1298
Rocha exposta	1616	1155
Rocha pobre	957	704
Rocha muito pobre	988	1084

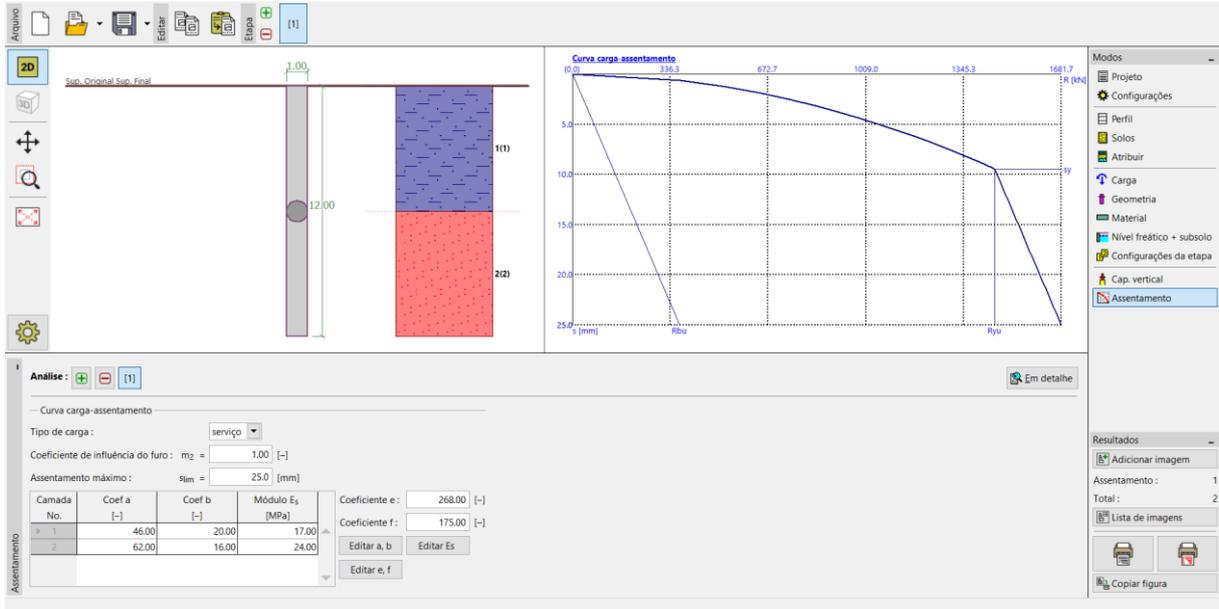
Solos não coesivos
(Id = compactação relativa)

	e	f
Id = 0.5	268	175
Id = 0.7	490	445
Id = 1.0	1596	1400

Solos coesivos
(Ic = índice de consistência)

	e	f
Ic = 0.5	198	150
Ic > 1	988	1084

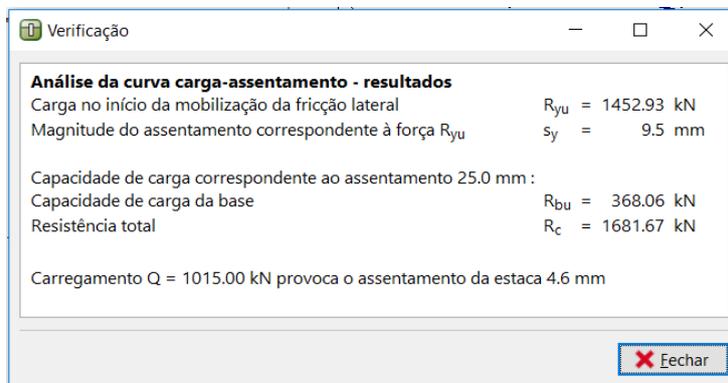
Caixa de diálogo “Inserir para curva carregamento-assentamento – coeficientes de regressão e, f”



Janela “Assentamento” – análise de acordo com a teoria de assentamento não linear (Masopust)

Nota: O atrito superficial específico depende dos coeficientes de regressão “a, b”. A tensão na base da estaca (para o atrito superficial totalmente mobilizado) depende dos coeficientes de regressão “e, f”. Os valores destes coeficientes de regressão foram obtidos a partir de equações de curvas de regressão determinadas com base na análise estatística de cerca de 350 ensaios de carregamento estáticos de estacas, realizados na República Checa e Eslováquia (mais detalhes em Ajuda – F1). Para solos não coesivos e para solos coesivos, estes valores dependem do índice de densidade relativa I_d e do índice de consistência I_c , respetivamente (mais detalhes em Ajuda – F1).

O assentamento da estaca para o carregamento de serviço é $s = 4.6 \text{ mm}$.



Resultados de assentamento – curva não linear



“Janela “Assentamento” – curva de carregamento não linear (segundo Masopust)

Nota: Este método também é utilizado para a análise da capacidade de carga de uma estaca, em que o programa calcula a capacidade de suporte para o assentamento limite (normalmente 25 mm).

Capacidade de carga total para s_{lim} : $R_c = 1681.67 \text{ kN} > V_d = 1015.0 \text{ kN}$ **Satisfaz**

Conclusão

O programa calculou o assentamento da estaca, para o carregamento de serviço definido, dentro do intervalo 4.6 a 11.3 mm (consoante o método utilizado). Este assentamento é inferior ao assentamento máximo permitido – a estaca está satisfatória de acordo com o 2º estado limite.