



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



FELIPE GONÇALVES PONCIANO DA SILVA

SISTEMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E PREVISÃO DE RECALQUE EM FUNDAÇÕES

Uberlândia
2026

FELIPE GONÇALVES PONCIANO DA SILVA

**SISTEMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E
PREVISÃO DE RECALQUE EM FUNDAÇÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial
para a obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia

Uberlândia
2026

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 2026	Silva, Felipe Gonçalves Ponciano da, 1998- SISTEMATIZAÇÃO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA E PREVISÃO DE RECALQUE EM FUNDAÇÕES [recurso eletrônico] / Felipe Gonçalves Ponciano da Silva. - 2026. Orientador: Jean Rodrigo Garcia. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia Civil. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia. Inclui ilustrações. 1. Engenharia civil. I. Garcia, Jean Rodrigo ,1980-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia Civil. III. Título. CDU: 624
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, pelo apoio incondicional ao longo desta trajetória, pelo incentivo constante aos estudos e por todo o esforço e dedicação que tornaram possível a realização desta etapa acadêmica.

Ao professor orientador Dr. Jean Rodrigo Garcia, expresso minha sincera gratidão pela orientação, disponibilidade e pelos conhecimentos compartilhados durante o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi fundamental para a condução da pesquisa e para o aprimoramento técnico e acadêmico deste estudo.

Aos amigos e colegas, agradeço pelo companheirismo, apoio e incentivo ao longo da graduação, contribuindo de forma direta e indireta para a conclusão desta etapa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, participaram e contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

O dimensionamento de fundações profundas é essencial para garantir a segurança e o desempenho estrutural das edificações, sendo as estacas elementos fundamentais na transferência das cargas ao solo. Neste trabalho, foi desenvolvida uma planilha de cálculo automatizada para avaliação da capacidade de carga e recalque de estacas, utilizando exclusivamente os dados de campo obtidos por meio do ensaio de SPT. Foram integrados alguns dos principais métodos consagrados da literatura, buscando-se criar uma ferramenta confiável e de fácil utilização. A planilha proposta possibilita a realização de cálculos de forma ágil e padronizada, minimizando erros e facilitando a tomada de decisão durante a fase de projeto. Espera-se que esta ferramenta contribua para a prática cotidiana voltada a elaboração de projetos de fundações, promovendo maior eficiência e segurança.

Palavras-chave: Capacidade de carga; Recalque; Fundação em estacas; Dimensionamento de fundações.

ABSTRACT

The design of deep foundations is essential to ensure the safety and structural performance of buildings, with piles serving as fundamental elements in transferring loads to the soil. In this work, an automated calculation spreadsheet was developed to evaluate the load-bearing capacity and settlement of piles, using exclusively field data obtained through the Standard Penetration Test (SPT). Some of the main well-established methods from the literature were integrated, with the aim of creating a reliable and user-friendly tool. The proposed spreadsheet enables calculations to be carried out quickly and in a standardized manner, minimizing errors and facilitating decision-making during the design phase. It is expected that this tool will contribute to everyday practice in the development of foundation projects, promoting greater efficiency and safety.

Keywords: Load-bearing capacity; Settlement; Pile foundation; Foundation design.

LISTA DE SÍMBOLOS

N_{spt}	Índice de resistência à penetração do solo (<i>Standard Penetration Test</i>)
$A_{lateral}$	Área lateral da estaca (m^2)
A_p	Soma das áreas transversais das estacas (m^2)
A_g	Área total do grupo de estaca (m^2)
C	Coefficiente empírico de correlação solo-estaca (Décourt-Quaresma, 1986)
E	Módulo de elasticidade (MPa)
F_1, F_2	Coefficiente empírico de correlação (Aoki-Velloso, 1975)
H	Profundidade da camada de solo (m)
K	Coefficiente empírico de correlação solo-estaca
M_x, M_y	Momentos fletores em torno dos eixos X e Y (kNm)
N	Expoente do módulo de deformação (Cintra & Aoki, 2010)
P_i	Carga atuante na seção da estaca (kN)
R_l	Resistência lateral da estaca
R_p	Resistência de ponta da estaca
r_p	Resistência de ponta unitária
r_l	Resistência lateral unitária
R_t	Resistência total da estaca (kN)
$P_{atuante}$	Carga atuante (kN)
R_{adm}	Capacidade de carga admissível (kN)
A	Coefficiente empírico de correlação solo-estaca
B	Coefficiente empírico de correlação solo-estaca
Γ	Peso específico do solo (kN/m^3)
Θ	Ângulo ideal de rotação do bloco
σ_{ponta}	Tensão de ponta na estaca
$\sigma_{lateral}$	Tensão lateral na estaca

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma de operações realizadas pela planilha de calculo	12
Figura 2 - Simplificação de grupo de estacas em pilar equivalente	14
Figura 3 - Distribuição das tensões laterais e de ponta sobre o solo	16
Figura 4 – Tela de inserção de dados do solo e estaca pelo usuário.....	18
Figura 5 - Layout de exibição de índices calculados para capacidade de carga.....	24
Figura 6 – Valores calculados para os possíveis grupos resistentes.....	25
Figura 7 – Valores calculados para o bloco resistente aos carregamentos inseridos ...	28
Figura 8 – Layout do memorial de cálculo com dados inseridos, valores calculados e de referência do bloco resistente	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação entre solos.....	19
Tabela 2 – Diâmetros e tipos de estacas	19
Tabela 3 – Custos de perfuração.....	22
Tabela 4 – Capacidade de carga AOKI-VELLOSO.....	23
Tabela 5 - Cálculo de recalque	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS DE CAPACIDADE DE CARGA	12
2.2 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DO RECALQUE.....	13
2.3 PILAR EQUIVALENTE - POULOS E DAVIS (1980)	14
2.4 ENCURTAMENTO ELÁSTICO.....	15
2.5 MÉTODO DE CINTRA & AOKI (2010)	15
3 PLANILHA DE CÁLCULO E PARÂMETROS DE ENTRADA	16
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	17
3.2 DADOS DA ESTACA	19
3.3 ESFORÇOS SOLICITANTES.....	20
3.4 ORÇAMENTO DE MATERIAL E MÃO-DE-OBRA.....	21
4 CAPACIDADE DE CARGA	22
5 RECALQUE E ENCURTAMENTO	26
6 ESTIMATIVA DE CUSTO DA FUNDAÇÃO	27
6.1 CONCRETO.....	27
6.2 PERFURAÇÃO.....	28
6.3 ARMADURA.....	28
7 MEMORIAL DE CÁLCULO	28
8 COMPARATIVO DE RESULTADO	31
9 CONCLUSÃO	31
10 REFERÊNCIAS	32

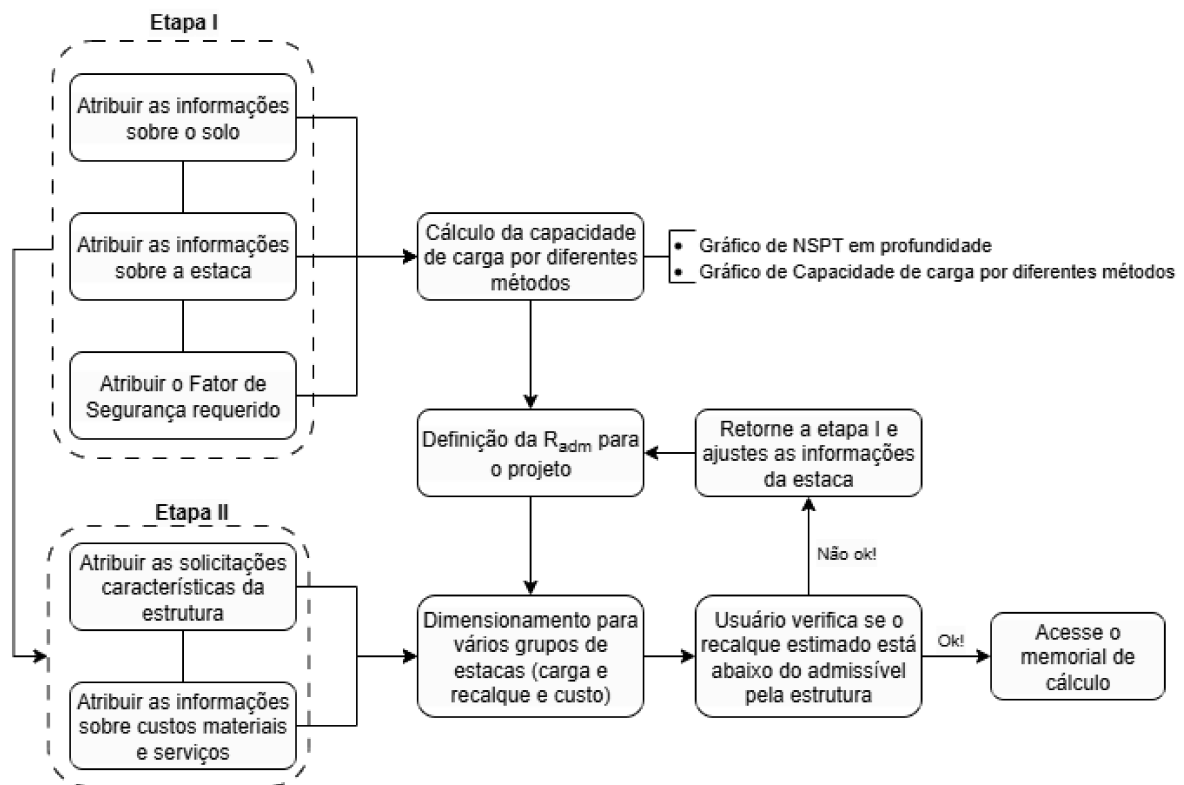
1 INTRODUÇÃO

As fundações profundas têm como principal função transferir as cargas das estruturas para as camadas mais competentes do solo, seja por meio da resistência de ponta (base) ou pela resistência lateral (fuste), ou ainda pela combinação de ambas. De acordo com a NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações, 2022, estas fundações possuem uma profundidade de apoio superior a oito vezes a menor dimensão em planta e, no mínimo, 3,0 m. Entre os principais elementos de fundações profundas destacam-se as estacas, executadas integralmente com o uso de equipamentos e ferramentas, sem necessidade de trabalho manual em profundidade, utilizando materiais como madeira, aço, concreto ou suas combinações.

A complexidade do dimensionamento de fundações profundas decorre da interação de inúmeras variáveis, como os diferentes diâmetros e profundidades de estacas, os tipos de estaca disponíveis, o número de estacas em um grupo e até o ângulo de implantação do bloco de estacas. A multiplicidade dessas variáveis amplia as combinações possíveis e exige que o engenheiro avalie cuidadosamente as condições de cada projeto. A escolha de métodos de cálculo adequados, considerando essas variáveis, é essencial para garantir segurança, confiabilidade e eficiência, mas ao mesmo tempo torna o processo mais desafiador e minucioso.

Nesse contexto, a figura 1 demonstra um fluxograma que sintetiza o encadeamento das etapas de cálculo da planilha, evidenciando a interligação entre os processos e a forma como as variáveis de entrada se relacionam até a obtenção dos resultados finais. Essa representação demonstra que cada decisão tomada, como a escolha do tipo de estaca ou a definição dos parâmetros de solo, influencia diretamente nas etapas subsequentes, criando um processo correlato. O fluxograma permite visualizar como essas interdependências são organizadas em um fluxo lógico no processo de cálculo, ressaltando a capacidade da ferramenta em lidar com o grande número de combinações possíveis no dimensionamento de fundações profundas, processando de forma consistente situações que seriam morosas e suscetíveis a erros se realizadas manualmente.

Figura 1 - Fluxograma de operações realizadas pela planilha de calculo



Fonte: Autor (2025)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão teórica que fundamenta o trabalho concentra-se nos métodos semiempíricos de previsão de capacidade de carga e nos modelos de deformabilidade aplicados a fundações profundas, desenvolvidos com base em extensas correlações entre ensaios de campo e desempenho observado em obras reais. As metodologias utilizam predominantemente resultados do ensaio SPT e parâmetros geotécnicos derivados, permitindo estimar a resistência de ponta, a resistência lateral e o comportamento deformacional das estacas em diferentes tipos de solo, como argilas, areias e materiais residuais. A escolha dessas abordagens decorre de sua ampla aplicação em projetos brasileiros, bem como de sua aderência às condições de variabilidade natural do subsolo do país.

2.1 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS DE CAPACIDADE DE CARGA

Os métodos semiempíricos de dimensionamento de fundações profundas desempenham um papel fundamental na prática da engenharia geotécnica, especialmente no contexto brasileiro, onde os dados de campo frequentemente são limitados e as condições de solo variam

significativamente. Esses métodos se baseiam na correlação entre parâmetros geotécnicos obtidos em sondagens, como o índice de resistência à penetração padrão (N_{SPT}), e resultados de provas de carga em estacas instrumentadas, permitindo a estimativa da capacidade de carga a partir de equações calibradas empiricamente.

A aplicação desses métodos envolve, em geral, o cálculo separado das resistências de base (ponta) e laterais ao longo do fuste da estaca, que são então somadas para determinar a resistência total da fundação. Para garantir a segurança da estrutura, essa resistência total é dividida por um coeficiente de segurança, resultando na capacidade de carga admissível. Os principais parâmetros considerados nos modelos incluem o tipo e a geometria da estaca, as características do solo atravessado, o tipo de execução e os coeficientes específicos atribuídos a cada classe de material.

No Brasil são considerados métodos consagrados Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1986) e Teixeira (1996). Cada um desses métodos foi desenvolvido com base em extensas bases de dados experimentais brasileiras, considerando diferentes tipos de solo (argilosos, arenosos, residuais) e técnicas construtivas utilizadas nas fundações. Embora possuam particularidades em suas formulações, todos compartilham a premissa de que o desempenho da estaca está diretamente relacionado aos parâmetros obtidos em campo, com destaque para o N_{SPT} , e buscam fornecer uma estimativa prática e confiável da capacidade de carga.

A utilização combinada desses métodos em análises comparativas permite maior robustez no dimensionamento e fornece ao engenheiro projetista uma visão crítica sobre a variabilidade dos resultados, colaborando para decisões mais seguras e economicamente viáveis no projeto de fundações profundas. Além disso, a associação dos métodos semiempíricos às provas de carga executadas em campo permite a calibração dos coeficientes empíricos e a validação dos resultados obtidos, conferindo ainda maior precisão e confiabilidade às estimativas de capacidade de carga. Essa integração entre metodologia teórica e ensaios experimentais representa uma prática consolidada na engenharia de fundações, especialmente em obras de maior porte, onde o desempenho real da fundação pode ser monitorado e ajustado com base em medições diretas.

2.2 MÉTODOS SEMIEMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DO RECALQUE

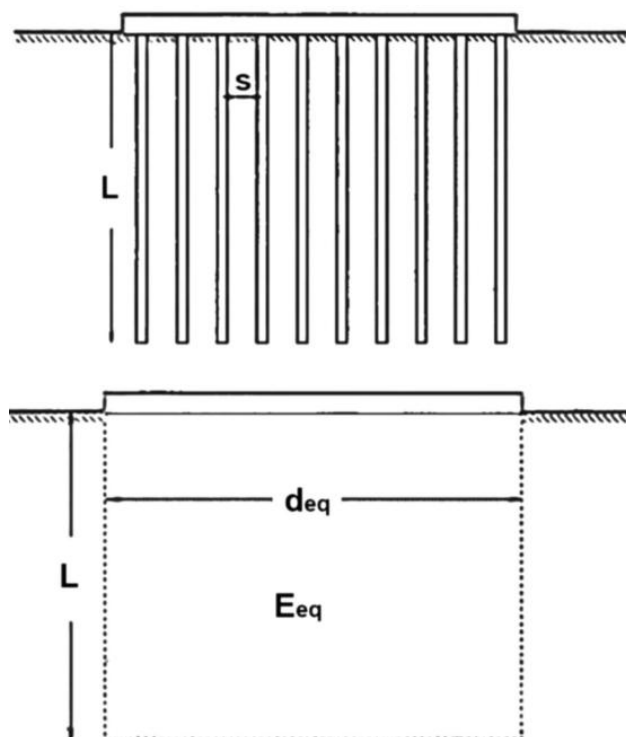
O recalque total de uma fundação profunda é geralmente compreendido como a soma de dois componentes principais: o encurtamento elástico da estaca e o recalque do solo. O encurtamento elástico corresponde à deformação axial do material da estaca sob a ação das

cargas transmitidas pela superestrutura, refletindo o comportamento elástico do concreto ou do aço que a compõe. Já o recalque do solo decorre da compressibilidade das camadas subjacentes, que sofrem deformações graduais em função das tensões adicionais introduzidas pela fundação. Conforme discutido por Cintra e Aoki (2010), o comportamento deformacional do solo é fortemente influenciado por fatores como o tipo de material, os valores de NSPT, o peso específico e o histórico de tensões atuantes. Assim, a determinação do recalque total requer a consideração conjunta desses fenômenos, permitindo compreender a resposta global da fundação frente às cargas aplicadas e avaliar sua compatibilidade com os limites de deformação admissíveis.

2.3 PILAR EQUIVALENTE - POULOS E DAVIS (1980)

O conceito de pilar equivalente, proposto por Poulos-Davis (1980), consiste em uma simplificação teórica utilizada na análise de grupos de estacas. A ideia central é substituir o conjunto de estacas por um único elemento cilíndrico equivalente, cujo diâmetro corresponde ao perímetro envolvente do grupo considerado, descrita na figura 2. Dessa forma, o comportamento coletivo do bloco de estacas pode ser aproximado pelo comportamento de uma única estaca equivalente, permitindo a avaliação de recalques e deformações do sistema de forma mais simplificada.

Figura 2 - Simplificação de grupo de estacas em pilar equivalente



Fonte: Randolph (1994)

Nesse modelo, o módulo de elasticidade não é restrito apenas ao concreto da estaca, mas passa a ser tratado como um valor composto, obtido pela ponderação entre o módulo de elasticidade do solo e o do concreto, proporcionalmente às áreas ocupadas por cada um dentro da seção do pilar equivalente.

$$E_{eq} = E_s + (E_p - E_s) \left(\frac{A_p}{A_g} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: E_{eq} , E_s , E_p é respectivamente o módulo de elasticidade equivalente, do solo e do material da estaca; A_g e A_p são as áreas respectivamente do grupo de estacas e das seções transversais das estacas.

As cargas aplicadas ao grupo são redistribuídas ao longo desse elemento, transmitindo esforços ao solo de maneira análoga à de um elemento isolado, mas preservando a interação global entre estacas. Embora represente uma simplificação, o método possibilita a análise do encurtamento elástico e do recalque do solo por metodologias consagradas, especialmente em casos onde o número de estacas é elevado e a modelagem individual se torna complexa.

2.4 ENCURTAMENTO ELÁSTICO

O encurtamento elástico é o fenômeno associado à deformação axial sofrida pelo próprio material da estaca quando esta é submetida a uma carga de compressão. Esse encurtamento resulta da relação direta entre o esforço aplicado e o módulo de elasticidade do material constituinte. Na prática, o concreto e o aço que compõem as estacas apresentam comportamento elástico dentro do regime de trabalho usual, possibilitando a aplicação das relações lineares entre tensão e deformação. Assim, o encurtamento elástico representa a reação as cargas impostas sobre a estaca pela deformação total do material, somando-se posteriormente ao recalque do solo para estimar os deslocamentos totais da superestrutura.

2.5 MÉTODO DE CINTRA & AOKI (2010)

O recalque do solo é calculado com base no método proposto por Cintra e Aoki (2010), amplamente utilizado no Brasil para previsão de recalques em fundações profundas. Esse método considera o comportamento deformável das camadas de solo ao longo da profundidade, levando em conta os valores de N_{SPT} , peso específico e o tipo de solo.

Assim como no encurtamento elástico, o cálculo do recalque do solo também é feito considerando a simplificação do pilar equivalente, o que permite adaptar a metodologia de Cintra e Aoki ao caso de grupos de estacas de forma prática. A carga de serviço aplicada é distribuída sobre a lateral e a base do pilar equivalente, onde o ângulo de dispersão da tensão é

custos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

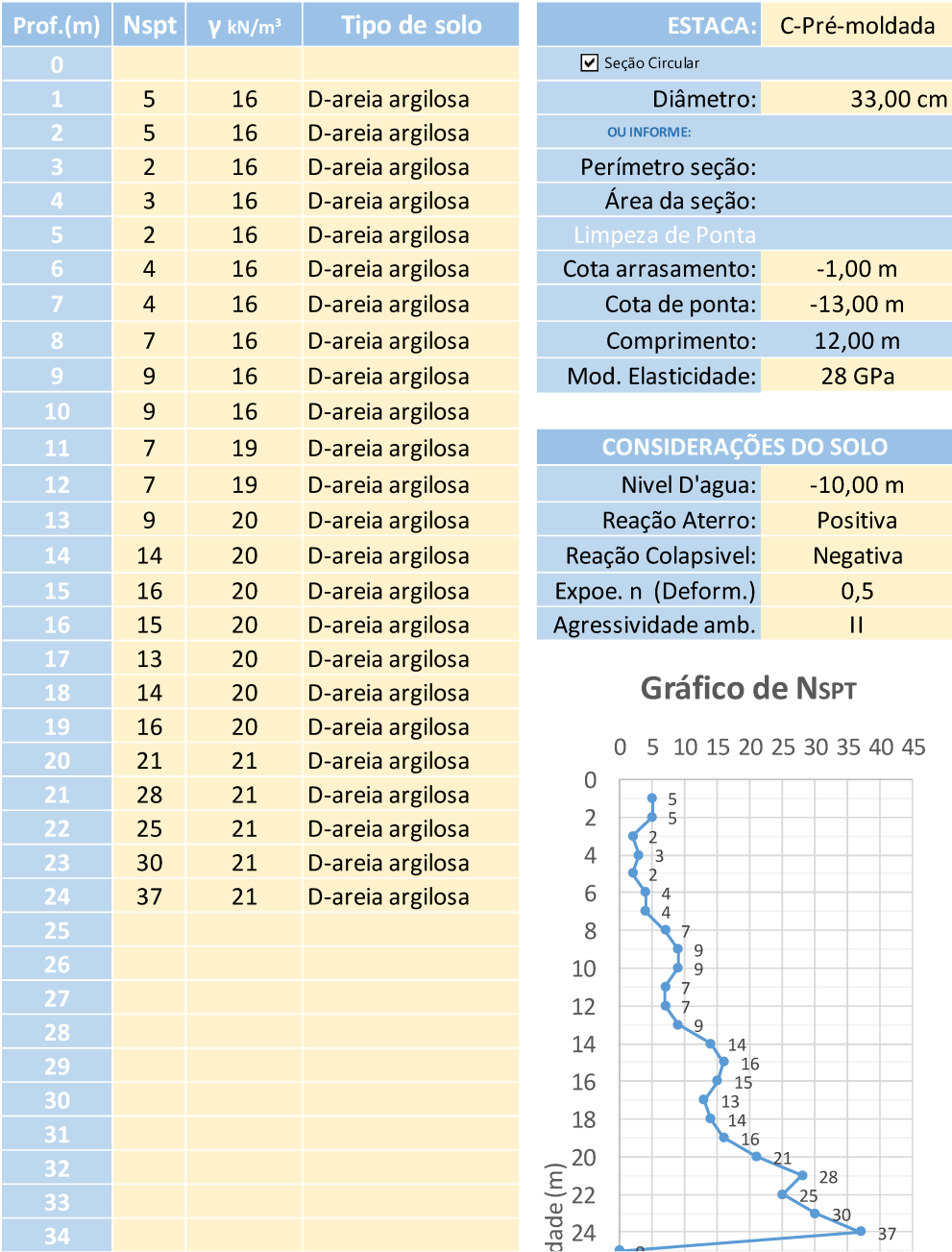
A caracterização do solo é um dos elementos fundamentais para o dimensionamento seguro e eficiente das fundações profundas. Na planilha desenvolvida, os dados do solo devem ser inseridos pelo usuário de forma estruturada, permitindo que os cálculos sejam realizados com base em parâmetros geotécnicos representativos das condições do subsolo. As informações solicitadas contemplam tanto propriedades físicas quanto condições ambientais do terreno apresentados na figura 4.

Entre os dados exigidos, destaca-se a resistência à penetração do solo por meio do ensaio de Sondagem a Percussão (SPT), representada pelos valores de N_{SPT} em diferentes profundidades. Esses valores são utilizados para calcular a capacidade de carga da estaca nos métodos semiempíricos e para compor o gráfico de perfil de resistência do terreno.

Outro dado essencial é o peso específico do solo, necessário para estimativas de tensões geostáticas e para o cálculo do recalque. O usuário também deve informar o nível do lençol freático, dado que influencia diretamente na redução da resistência do solo e no dimensionamento da estaca.

A planilha contempla ainda parâmetros específicos para o cálculo de recalques, como o expoente “n” do módulo de deformação, que integra o modelo semiempírico de Cintra e Aoki (2010). Além disso, são consideradas as condições ambientais e geotécnicas especiais, como a presença de solos colapsáveis ou aterros, que afetam o comportamento da fundação, é possível correlacioná-los com uma resistência negativa, gerando carga sobre a estaca, e também com resistência nula.

Figura 4 – Tela de inserção de dados do solo e estaca pelo usuário



Fonte: Autor (2025)

Por fim, o tipo de solo predominante é selecionado pelo usuário a partir de uma lista baseada no método de Aoki-Velloso (1975), influenciando diretamente nos coeficientes utilizados nos métodos de cálculo e nas análises de recalque. A tabela 1 correlaciona os solos considerados em cada método de cálculo com os solos referidos por Aoki.

Tabela 1 – Correlação e caracterização dos tipos de solo entre os métodos

Aoki-Velloso	Décourt	Décourt	Teixeira
A- Areia	D- Areia	C- Areias	G - Areia
B- Areia siltosa	D- Areia	C- Areias	F- Areia siltosa
C- Areia siltoargilosa	C-Silte arenoso	B- Solos intermediários	F- Areia siltosa
D- Areia argilosa	C-Silte arenoso	B- Solos intermediários	E-Areia argilosa
E-Areia argilossiltosa	C-Silte arenoso	B- Solos intermediários	E-Areia argilosa
F-Silte	C-Silte arenoso	B- Solos intermediários	D-Silte arenoso
G-Silte arenoso	C-Silte arenoso	B- Solos intermediários	D-Silte arenoso
H- Silte arenoargiloso	C-Silte arenoso	B- Solos intermediários	B-Silte argiloso
I-Silte argiloso	B-Silte argiloso	B- Solos intermediários	B-Silte argiloso
J-Silte argiloarenoso	B-Silte argiloso	B- Solos intermediários	B-Silte argiloso
L-Argila	A- Argila	A- Argilas	A- Argila siltosa
M-Argila arenosa	A- Argila	B- Solos intermediários	C-Argila arenosa
N-Argila arenossiltosa	A- Argila	B- Solos intermediários	C-Argila arenosa
O-Argila siltosa	A- Argila	A- Argilas	B-Silte argiloso
P-Argila siltoarenosa	A- Argila	B- Solos intermediários	B-Silte argiloso

Fonte: Autor (2025)

3.2 DADOS DA ESTACA

O primeiro parâmetro considerado é o tipo da estaca, selecionado a partir de uma lista com as opções mais usuais na prática da engenharia, como estacas escavadas, hélice contínua, raiz, cravadas, entre outras descritas na tabela 2 com seus diâmetros comerciais em centímetros. Cada tipo possui diferentes coeficientes de resistência e métodos de execução, que impactam diretamente nos cálculos de capacidade de carga, além de considerar fatores específicos como o efeito da limpeza da ponta da estaca, conforme as normas técnicas vigentes NBR 6122:2022, que desconsidera a resistência de ponta ou a limita ao valor da resistência lateral.

Tabela 2 – Diâmetros e tipos de estacas em centímetros

Franki	Metálica	Pré-moldada	Escavada	Raiz	Hélice Contínua	Ômega	Escavada (bentonita)	Injetada sob altas pressões	Strauss
30	20	26	20	10	25	27	40	8	25
35	25	33	25	12	30	32	50	10	32
40	30	38	30	15	35	37	60	12	38
45	35	42	40	16	40	42	70	15	42
52	40	50	50	20	50	47	80	18	45
60		60	60	25	60		90	20	
70			70	31	70		100	22	
			80	41	80		110	25	
			90	45	90		120	28	
			100	50	100		130	30	
			110				140	32	
			120				150	35	
			130				160	38	
			140				170	40	

Fonte: Autor (2025)

A geometria da estaca é definida por meio da cota de arrasamento, cota de ponta e diâmetro da seção transversal. Esses dados determinam o comprimento efetivo da estaca, essencial para os cálculos de carga admissível, verificação da interação com as camadas do solo e no dimensionamento da armadura mínima necessária para suportar os esforços solicitantes.

A planilha também solicita a definição do módulo de elasticidade (E) do material constituinte da estaca, normalmente concreto armado, aço ou misto. Esse parâmetro é utilizado para estimar as deformações ao longo do fuste da estaca, impactando na análise do recalque total e na rigidez do conjunto fundação-solo. O valor pode ser inserido manualmente ou assumido a partir de valores típicos de tabelas técnicas, conforme o tipo de estaca informado.

Outro aspecto importante considerado é a limpeza da ponta da estaca, que pode ser definida como eficiente ou ineficiente, conforme o controle tecnológico executado na obra. Essa informação afeta a resistência de ponta da estaca, sendo particularmente relevante para estacas escavadas com lama bentonítica e hélice contínua.

Todos esses dados são processados pela planilha para realizar os cálculos de capacidade de carga pelos métodos de Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1986), Teixeira (1996) e pela média entre eles, além de servirem de base para as análises estruturais com a consideração de um fator de segurança individual em cada método, também definido pelo usuário.

3.3 ESFORÇOS SOLICITANTES

As solicitações atuantes representam as forças e efeitos que serão transferidos da superestrutura para as fundações e que, portanto, devem ser corretamente consideradas no dimensionamento das estacas e dos blocos de coroamento. Na planilha desenvolvida, o usuário insere manualmente os carregamentos previstos no projeto estrutural.

O primeiro parâmetro a ser informado é a carga normal (kN), representando a força axial que atua verticalmente sobre o bloco de fundações. Essa carga é a principal responsável pela mobilização da resistência de ponta e do atrito lateral ao longo do fuste da estaca. Valores característicos e de cálculo da carga normal devem ser obtidos a partir dos esforços verticais transmitidos pelos pilares.

Além disso, a planilha permite a entrada dos momentos fletores atuantes no bloco de fundação, tanto em torno do eixo x quanto do eixo y . Esses momentos são responsáveis pela distribuição não uniforme dos esforços entre as estacas do grupo, influenciando diretamente nas forças máximas e mínimas que cada estaca estará submetida. A consideração dos momentos é essencial para um dimensionamento mais fiel à realidade, sobretudo em blocos excêntricos ou com cargas horizontais relevantes. Devido ao momento é realizado o cálculo recursivo do

ângulo de aplicação do bloco de estacas, verificando as possíveis posições de aplicação do bloco onde o valor de solicitação tenha uma distribuição mais uniforme entre as estacas do bloco.

Também pode ser inserida uma sobrecarga adicional associada à ao peso próprio do bloco de coroamento, equipamentos temporários ou cargas acidentais previstas em norma. Essa sobrecarga pode ser aplicada na forma de uma pressão distribuída ou de um valor total adicional ao carregamento principal.

3.4 ORÇAMENTO DE MATERIAL E MÃO-DE-OBRA

Para tornar a ferramenta mais completa e próxima da realidade de projeto, a planilha também contempla a análise econômica da fundação, permitindo ao usuário estimar os custos diretos dos principais insumos envolvidos na execução das estacas e blocos. Essa estimativa tem por objetivo auxiliar na escolha da solução tecnicamente viável e economicamente mais eficiente entre diferentes diâmetros e tipologias de estacas.

Os custos são subdivididos em quatro categorias principais:

- Concreto: O custo do concreto é informado pelo usuário em R\$/m³ e está diretamente relacionado ao volume total utilizado nas estacas e no bloco de coroamento. A planilha considera automaticamente o volume com base nas dimensões inseridas e calcula o valor total correspondente.

- Aço: Para os casos em que há armadura nas estacas ou no bloco, o custo do aço (em R\$/kg) também é informado pelo usuário. A quantidade de aço é calculada com base na área de armadura mínima exigida para o bloco, conforme normas técnicas, e eventualmente pela armadura longitudinal das estacas, se for o caso.

- Perfuração: O custo de perfuração das estacas (R\$/m) é um dos principais componentes da fundação profunda e é informado conforme a tipologia escolhida. Este custo considera apenas o processo de escavação ou cravação da estaca, desconsiderando o material de preenchimento. A planilha multiplica esse valor pelo comprimento total das estacas previstas em cada cenário.

- Mobilização de equipamentos: Representa os custos fixos associados à instalação do canteiro, transporte de máquinas, montagem e preparação inicial. Este valor é normalmente informado em R\$ por serviço ou conjunto de estacas e pode variar bastante conforme o tipo de fundação adotada.

Em alguns casos específicos, como estacas pré-moldadas ou metálicas, o custo pode depender fortemente da política comercial do fornecedor ou das condições logísticas do projeto. Nesses casos, a planilha sugere que o valor seja obtido diretamente junto ao fabricante ou

fornecedor, deixando o campo disponível para preenchimento manual. Esta abordagem garante flexibilidade ao usuário sem comprometer a precisão do orçamento.

Os dados de custo de perfuração (tabela 3) sugeridos ao usuário são referentes ao SICRO (DNIT, 2025), SICOR-MG (DER-MG, 2025) e Sondatec Fundações, empresa especializada em execução de fundações profundas e sondagens geotécnicas.

Tabela 3 – Valores referente ao custo de perfuração dos métodos

Diâmetro	Franki	Escavada	Raiz	Hélice Contínua	Ômega	Escavada (bentonita)	Strauss
20	-	R\$ 2,62	R\$ 60,49	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-
25	-	R\$ 4,09	R\$ 69,72	R\$ 54,02	-	-	R\$ 16,87
26	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	R\$ 18,31	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-
30	R\$ 45,00	R\$ 5,89	-	R\$ 77,79	-	-	-
31	-	-	R\$ 83,95	-	-	-	-
32	-	-	-	-	R\$ 25,72	-	R\$ 21,02
33	-	-	-	-	-	-	-
35	R\$ 130,09	-	-	R\$ 105,88	-	-	-
37	-	-	-	-	R\$ 34,39	-	-
38	-	-	-	-	-	-	R\$ 23,94
40	R\$ 141,92	R\$ 10,47	R\$ 108,25	R\$ 138,30	-	R\$ 120,23	-
41	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	R\$ 44,31	-	R\$ 25,99
45	R\$ 156,11	-	-	-	-	-	R\$ 28,03
47	-	-	-	-	R\$ 55,48	-	-
50	-	R\$ 16,35	-	R\$ 216,09	-	R\$ 187,85	-
52	R\$ 181,52	-	-	-	-	-	-
60	R\$ 223,01	R\$ 23,55	-	R\$ 311,17	-	R\$ 270,51	-
70	R\$ 312,22	R\$ 32,05	-	R\$ 423,54	-	R\$ 368,19	-
80	-	R\$ 41,87	-	R\$ 553,19	-	R\$ 480,90	-
90	-	R\$ 52,99	-	R\$ 700,14	-	R\$ 608,64	-
100	-	R\$ 65,42	-	R\$ 864,36	-	R\$ 751,41	-
110	-	R\$ 79,15	-	-	-	R\$ 909,20	-
120	-	R\$ 94,20	-	-	-	R\$ 1.082,03	-
130	-	R\$ 110,55	-	-	-	R\$ 1.269,88	-
140	-	R\$ 128,21	-	-	-	R\$ 1.472,76	-
150	-	-	-	-	-	R\$ 1.690,67	-
160	-	-	-	-	-	R\$ 1.923,61	-
170	-	-	-	-	-	R\$ 2.171,57	-

Fonte Autor (2025)

4 CAPACIDADE DE CARGA

A partir da escolha do tipo e geometria da estaca realizada pelo usuário, a planilha inicia os cálculos determinando a resistência individual lateral e de ponta da estaca, com base nos métodos consagrados e o valor médio entre os métodos.

Para isso, são utilizados os valores de N_{SPT} informados, além de coeficientes associados ao tipo de solo. A resistência em cada camada (1 metro) do perfil geotécnico é avaliada

individualmente, conforme os critérios e coeficientes próprios de cada autor, e posteriormente somadas para obtenção da resistência global lateral, como apresentada na tabela 4 utilizando a metodologia de Aoki-Veloso, e similarmente aos demais métodos.

Tabela 4 – Coeficientes de cálculo de Aoki-Veloso para cálculo de capacidade

A	K	F ₁	F ₂	r _l	r _p	Nspt_p	Nspt_l	A. lateral (m ²)	R _l (kN)	R _p (kN)	R _T (kN)	Radm (kN)
3,00%	0,60	1,41	2,82	31,91	0	5,0	0,0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
3,00%	0,60	1,41	2,82	31,91	851	2,0	5,0	1,04	33	73	106	56
3,00%	0,60	1,41	2,82	12,77	1.277	3,0	3,5	1,04	46	109	156	82
3,00%	0,60	1,41	2,82	19,15	851	2,0	3,3	1,04	66	73	139	73
3,00%	0,60	1,41	2,82	12,77	1.702	4,0	3,0	1,04	79	146	225	118
3,00%	0,60	1,41	2,82	25,53	1.702	4,0	3,2	1,04	106	146	251	132
3,00%	0,60	1,41	2,82	25,53	2.979	7,0	3,3	1,04	132	255	387	204
3,00%	0,60	1,41	2,82	44,68	3.830	9,0	3,9	1,04	179	328	506	266
3,00%	0,60	1,41	2,82	57,45	3.830	9,0	4,5	1,04	238	328	566	298
3,00%	0,60	1,41	2,82	57,45	2.979	7,0	5,0	1,04	298	255	553	291
3,00%	0,60	1,41	2,82	44,68	2.979	7,0	5,2	1,04	344	255	599	315
3,00%	0,60	1,41	2,82	44,68	3.830	9,0	5,4	1,04	390	328	718	378
3,00%	0,60	1,41	2,82	57,45	5.957	14,0	5,7	1,04	450	510	960	505
3,00%	0,60	1,41	2,82	89,36	6.809	16,0	6,3	1,04	543	582	1125	592
3,00%	0,60	1,41	2,82	102,13	6.383	15,0	7,0	1,04	649	546	1194	629
3,00%	0,60	1,41	2,82	95,74	5.532	13,0	7,5	1,04	748	473	1221	643
3,00%	0,60	1,41	2,82	82,98	5.957	14,0	7,9	1,04	834	510	1343	707
3,00%	0,60	1,41	2,82	89,36	6.809	16,0	8,2	1,04	926	582	1509	794
3,00%	0,60	1,41	2,82	102,13	8.936	21,0	8,7	1,04	1032	764	1797	946
3,00%	0,60	1,41	2,82	134,04	11.915	28,0	9,3	1,04	1171	1019	2190	1153
3,00%	0,60	1,41	2,82	178,72	10.638	25,0	10,3	1,04	1357	910	2266	1193
3,00%	0,60	1,41	2,82	159,57	12.766	30,0	11,0	1,04	1522	1092	2614	1376
3,00%	0,60	1,41	2,82	191,49	15.745	37,0	11,8	1,04	1721	1347	3067	1614

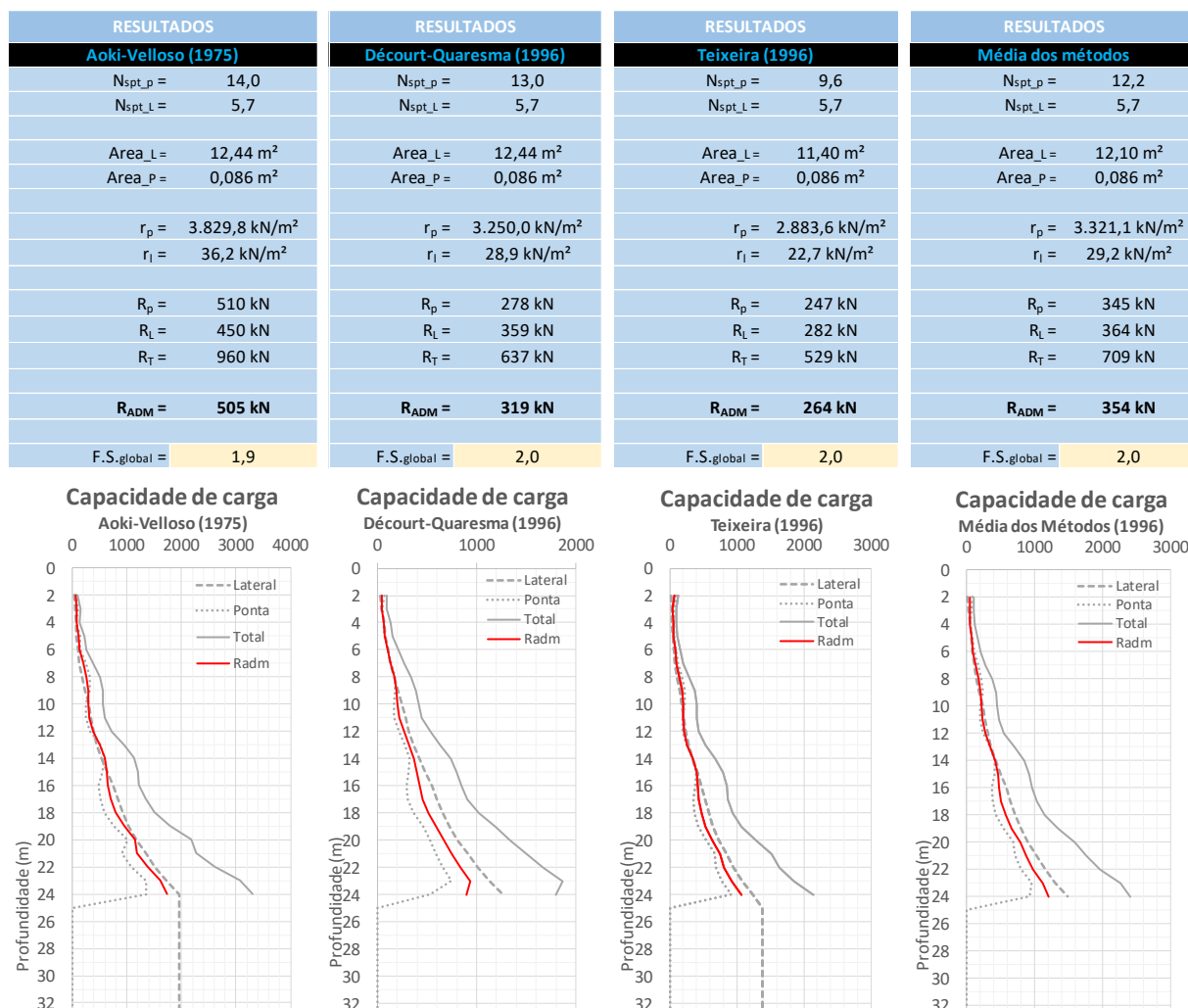
Fonte: Autor (2025)

A capacidade total da estaca é obtida pela soma das resistências lateral e de ponta, considerando as dimensões informadas da estaca. A capacidade admissível é, então, determinada dividindo-se o valor por um coeficiente de segurança informado pelo usuário, e sua apresentação ao usuário se descreve pela figura 5.

Na sequência, com base nos esforços característicos fornecidos pelo usuário, é realizado o dimensionamento de blocos contendo de 1 a 5 estacas. Para cada configuração, é efetuado o cálculo do ângulo de aplicação ótimo do bloco, a partir do qual se determina o esforço resultante atuante em cada estaca.

Esse processo é feito por meio de um laço de repetição que testa diferentes ângulos de aplicação, identificando aquele que resulta nas menores solicitações nas estacas. Com esse valor, são obtidas as cargas máximas e mínimas atuantes nas estacas do bloco, acrescidas de um coeficiente de eficiência conforme a quantidade de estacas envolvidas, simulando o comportamento conjunto do grupo.

Figura 5 - Layout de exibição de índices calculados para capacidade de carga



Fonte: Autor (2025)

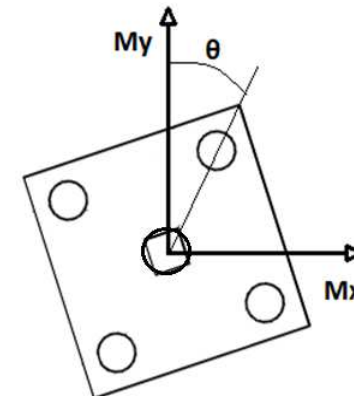
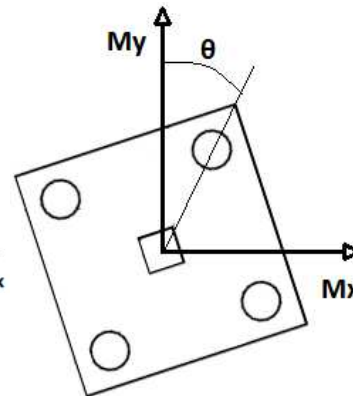
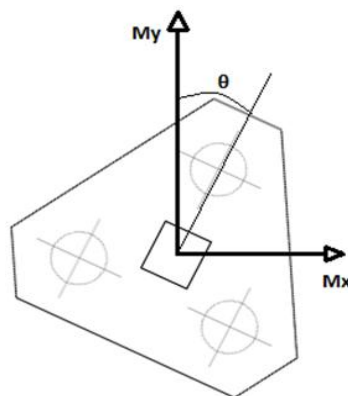
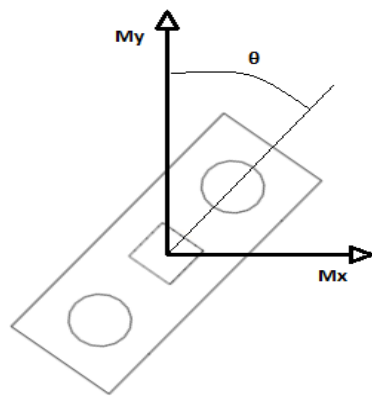
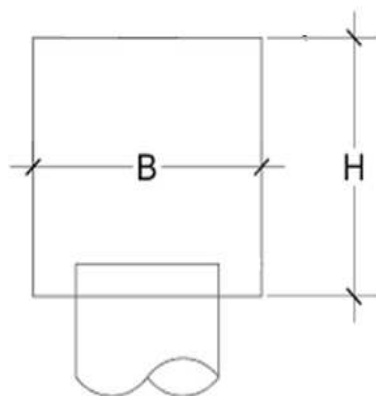
Oriundo dos esforços atuantes a tensão na estaca é equiparada aos valores mínimo de área de armadura e seu comprimento estabelecido por norma em cada tipo de estaca, onde valores de tensão superiores aos mínimos são sinalizados em vermelho para maior atenção do usuário ao cálculo da armadura externo a planilha.

Com o valor de carregamento máximo obtido e a tabela de capacidade de carga do solo, do método selecionado pelo usuário, é possível determinar o comprimento mínimo necessário da estaca para resistir aos esforços. A planilha então seleciona, dentre os cinco blocos analisados, aquele que atende aos esforços com o menor número de estacas e cujo comprimento seja inferior ou igual ao limite definido pelo usuário.

Seguindo com as dimensões do bloco de coroamento que é intrínseca ao número de estacas e seu diâmetro, sendo calculado simultâneo a escolha do diâmetro da estaca pelo usuário, em cada bloco. Resultando na figura 6 que apresenta as opções dos grupos de estacas que possibilitam resistir aos esforços solicitantes inseridos.

Figura 6 – Valores calculados para os possíveis grupos resistentes

INDIVIDUAL		DUPLA		TRIPLA		QUADRUPLA		QUINTUPLA	
Carga max	500 kN	Carga max	250 kN	Carga max	167 kN	Carga max	125 kN	Carga max	100 kN
Carga mim	0 kN	Carga mim	250 kN	Carga mim	167 kN	Carga mim	125 kN	Carga mim	100 kN
Ângulo θ	0°	Ângulo θ	0°	Ângulo θ	0°	Ângulo do Bloco	0°	Ângulo do Bloco	0°
Eficiência	1,00	Eficiência	0,94	Eficiência	0,88	Eficiência	0,81	Eficiência	0,80
P_{ATUANTE} =		P_{ATUANTE} =		P_{ATUANTE} =		P_{ATUANTE} =		P_{ATUANTE} =	
500 kN		267 kN		190 kN		154 kN		125 kN	
Diâmetro	33 cm	Diâmetro	33 cm	Diâmetro	33 cm	Diâmetro	33 cm	Diâmetro	33 cm
Arrasamento	-1 m	Arrasamento	-1 m	Arrasamento	-1 m	Arrasamento	-1 m	Cota arrasamento	-1 m
Cota de ponta	-13 m	Cota de ponta	-10 m	Cota de ponta	-7 m	Cota de ponta	-7 m	Cota de ponta	-6 m
Tensão	5,8 MPa	Tensão	3,1 MPa	Tensão	2,2 MPa	Tensão	1,8 MPa	Tensão	1,5 MPa
Encurtamento	2,51 mm	Encurtamento	0,94 mm	Encurtamento	0,42 mm	Encurtamento	0,31 mm	Encurtamento	0,26 mm
Recal. Solo	4,54 mm	Recal. Solo	3,35 mm	Recal. Solo	7,30 mm	Recal. Solo	3,40 mm	Recal. Solo	3,91 mm
R_{ADM} =		R_{ADM} =		R_{ADM} =		R_{ADM} =		R_{ADM} =	
505 kN		291 kN		204 kN		204 kN		132 kN	
Espaçamento	0,00 cm	Espaçamento	99,00 cm	Espaçamento	99,00 cm	Espaçamento	99,00 cm	Espaçamento	99,00 cm
Recobrimento	31,50 cm	Recobrimento	31,50 cm	Recobrimento	31,50 cm	Recobrimento	31,50 cm	Recobrimento	31,50 cm
Comprimento	63,00 cm	Comprimento	162,00 cm	Comprimento	162,00 cm	Comprimento	162,00 cm	Comprimento	171,51 cm
Largura	63,00 cm	Largura	63,00 cm	Largura	148,74 cm	Largura	162,00 cm	Largura	171,51 cm



Fonte: Autor (2025)

5 RECALQUE E ENCURTAMENTO

O encurtamento elástico é calculado com base na deformação axial da estaca submetida à carga vertical. A planilha utiliza a equação clássica da mecânica dos materiais, considerando a carga axial de serviço, o comprimento da estaca e o módulo de elasticidade equivalente entre o concreto e o solo.

Este módulo equivalente é obtido por uma média ponderada entre o módulo de elasticidade do concreto (fornecido pelo usuário) e o módulo de elasticidade do solo, estimado pela metodologia de Teixeira (1996) com base no tipo de solo e nos valores de N_{SPT} informados. A ponderação é feita proporcionalmente às áreas correspondentes dentro da seção equivalente da fundação, especialmente nos casos em que é adotado o conceito de pilar equivalente para blocos com múltiplas estacas.

O recalque do solo é determinado com base no método de Cintra e Aoki (2010), o método considera a distribuição de tensões verticais nas camadas de solo abaixo da ponta da estaca (ou grupo de estacas), provocadas pelas solicitações.

Para isso, a planilha utiliza como entrada o tipo da estaca, peso específico do solo (γ), carga de serviço e os parâmetros geotécnicos definidos pelo usuário. A análise é feita camada a camada, verificando a tensão adicional provocada pela carga nas diferentes profundidades e comparando com a tensão geostática pré-existente, o que influencia diretamente na resposta deformacional do solo, demonstrado na tabela 5.

A deformação vertical de cada camada é integrada ao longo da profundidade para determinar o recalque total. Este procedimento leva em conta a redução de rigidez em solos abaixo do nível d'água, bem como as diferentes condições de deformabilidade das camadas.

Assim como no encurtamento elástico, o modelo de pilar equivalente é adotado para simplificar a atuação de grupos de estacas, transformando o grupo em uma estaca única com diâmetro correspondente ao perímetro envolvente. Essa abordagem permite um cálculo mais eficiente, mantendo coerência com os princípios do método original.

Tabela 5 - Cálculo de recalque

Dados do Solo					Recalque Estaca Individual					
Solo	Prof. (m)	Nspt	γ (kN/m ³)	E (Mpa)	H (m)	RI (kN)	Pi (kN)	$\bar{\sigma}$ ponta	$\bar{\sigma}$ lateral	Recalque (mm)
D- Areia argilosa	1	5	16	8,3	13	-	500	-	-	-
D- Areia argilosa	2	5	16	8,3	12	33	467	-	-	-
D- Areia argilosa	3	2	16	3,3	11	13	454	-	-	-
D- Areia argilosa	4	3	16	5,0	10	20	434	-	-	-
D- Areia argilosa	5	2	16	3,3	9	13	421	-	-	-
D- Areia argilosa	6	4	16	6,6	8	26	394	-	-	-
D- Areia argilosa	7	4	16	6,6	7	26	368	-	-	-
D- Areia argilosa	8	7	16	11,6	6	46	321	-	-	-
D- Areia argilosa	9	9	16	14,9	5	60	262	-	-	-
D- Areia argilosa	10	9	16	14,9	4	60	202	-	-	-
D- Areia argilosa	11	7	19	11,6	3	46	156	-	-	-
D- Areia argilosa	12	7	19	11,6	2	46	110	-	-	-
D- Areia argilosa	13	9	20	14,9	1	60	50	-	-	-
D- Areia argilosa	14	14	20	23,1	0	50	50	92	69	-
D- Areia argilosa	15	16	20	26,4	-1	50	50	19	30	0,80
D- Areia argilosa	16	15	20	24,8	-2	50	50	8	18	0,43
D- Areia argilosa	17	13	20	21,5	-3	50	50	4	12	0,32
D- Areia argilosa	18	14	20	23,1	-4	50	50	3	9	0,21
D- Areia argilosa	19	16	20	26,4	-5	50	50	2	7	0,14
D- Areia argilosa	20	21	21	34,7	-6	50	50	1	5	0,08
D- Areia argilosa	21	28	21	46,2	-7	50	50	1	4	0,05
D- Areia argilosa	22	25	21	41,3	-8	50	50	1	4	0,05
D- Areia argilosa	23	30	21	49,5	-9	50	50	1	3	0,03
D- Areia argilosa	24	37	21	61,1	-10	50	50	1	3	0,02

Fonte: Autor (2025)

6 ESTIMATIVA DE CUSTO DA FUNDAÇÃO

A planilha realiza a estimativa do custo total das fundações profundas com base em informações fornecidas pelo usuário e parâmetros técnicos adotados na prática de projeto. O cálculo é dividido em quatro componentes principais: concreto, perfuração, armadura e mobilização de equipamento.

6.1 CONCRETO

O custo do concreto é obtido a partir do volume total das estacas, calculado com base no diâmetro e comprimento de cada estaca, multiplicado pelo custo unitário do metro cúbico de concreto, que é informado diretamente pelo usuário.

Esse procedimento permite considerar diferentes configurações geométricas de estacas e diferentes preços conforme o contexto do empreendimento.

6.2 PERFURAÇÃO

O custo de perfuração é determinado adotando-se o custo específico para cada tipo e diâmetro de estaca. Esse valor unitário é então multiplicado pelo comprimento de perfuração da estaca, refletindo o impacto da profundidade no custo de execução. Muitas das tabelas de referência utilizadas (DER-MG, 2025; DNIT, 2025) correlaciona valores ao volume de solo extraído, pela diretriz de profundidade e diâmetros.

Além dos custos variáveis, a planilha também considera um custo fixo de mobilização e desmobilização de equipamentos, inserido manualmente pelo usuário. Esse valor reflete os custos logísticos envolvidos na movimentação da equipe e dos equipamentos necessários à execução das estacas no canteiro de obras.

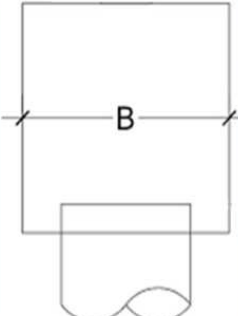
6.3 ARMADURA

O custo da armadura é calculado com base na taxa mínima de armadura exigida para o tipo de estaca adotado. A planilha determina o comprimento total de armadura, multiplica pela taxa de armadura mínima, e então calcula o peso correspondente. Este valor é multiplicado pelo custo do aço por quilograma, informado também pelo usuário.

Esse modelo permite ajustar o custo conforme variações nos preços de mercado ou especificações do projeto.

Com os demais parâmetros, a planilha fornece uma estimativa detalhada e automatizada dos custos totais das fundações, permitindo ao projetista comparar diferentes alternativas (diâmetros e comprimentos de estacas, métodos construtivos) e otimizar o projeto com base em critérios técnicos e econômicos, as informações são dispostas ao usuário na forma da figura 7.

Figura 7 – Valores calculados para o bloco resistente aos carregamentos inseridos

GRUPO DE ESTACAS			BLOCO DE COROAMENTO		CUSTO	
Nº de estacas	1		Espaçamento	0,00 cm	Volume concreto	1,03 m³
Efic. do grupo	1,00		Comprimento	48,00 cm	Custo concreto	R\$ 359,23
Carga Maxima	500 kN		Largura	48,00 cm	Peso de aço	Fabricante
Carga Mínima	0 kN		Ângulo θ	0°	Custo de aço	Fabricante
P_{ATUANTE}	500 kN		RECALQUE			
R _p	510 kN		Encurtamento	2,51 mm	Perfuração	12 m
R _L	450 kN		Recal. Solo	4,54 mm	Custo perfuração	R\$ 960,00
R _T	960 kN		ARMADURA			
R_{ADM}	505 kN		Tensão	5,8 MPa	Mobilização	R\$ 500,00
			Comprimento	Fabricante	Custo total	Fabricante
			Área mínima	Fabricante		

Fonte Autor (2025)

7 MEMORIAL DE CÁLCULO

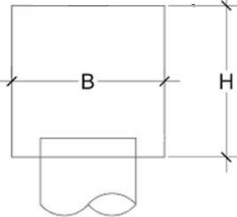
A planilha apresenta automaticamente um memorial de cálculo com todas as

informações essenciais do dimensionamento da fundação. O documento inclui os dados do solo informados pelo usuário (N_{SPT} , peso específico, tipo do solo e nível d'água), além das propriedades dos materiais utilizados (concreto e aço), solicitações atuantes e custos envolvidos.

São exibidas as capacidades de carga calculadas para o método adotado selecionado, os esforços máximos e mínimos em diferentes configurações de grupos de estacas, os resultados de recalque total, e os custos estimados por item. Também são listados os coeficientes utilizados para cada tipo de solo e estaca, garantindo a verificação dos resultados.

A disposição das informações permite rápida verificação dos critérios de dimensionamento. A Figura 7 apresenta o layout do memorial de cálculo gerado, com destaque para os blocos de resultados, parâmetros utilizados e tabelas auxiliares.

Figura 8 – Layout do memorial de cálculo com dados inseridos, valores calculados e de referência do bloco resistente

MEMORIAL DE CALCULO															
SONDAGEM				CONCRETO		ESTACA		CUSTO		RECALQUE					
Prof.(m)	Nspt	γ kN/m³	Tipo de solo	Peso específico	2500 Kg/m³	Tipo de estaca	C-Pré-moldada	Volume concreto	1,03 m³	Metodologia de calculo	Cintra & Aoki (2010)				
0				Mod. Elasticidade	28 GPa	Diâmetro	33 cm	Peso de aço	Fabricante	Expoente n (Mod. Deform.)	0,5				
1	5	16	D-areia argilosa	fck	Fornecedor	Comprimento	12 m	Perfuração	12 m	Encurtamento	2,51 mm				
2	5	16	D-areia argilosa	Agressividade ambiental	II	Metodologia de calculo	Aoki-Velloso (1975)			Recalque do solo	4,54 mm				
3	2	16	D-areia argilosa	AÇO		Numero de estacas	1	Custo concreto	R\$ 359,23						
4	3	16	D-areia argilosa	Classe		Eficiencia do grupo	1,00	Custo de aço	Fabricante						
5	2	16	D-areia argilosa	Comprimento de ancoragem	Fabricante	Carga maxima	500 kN	Custo perfuração	R\$ 960,00						
6	4	16	D-areia argilosa	Porcentagem minima da seção	Fabricante	Carga minima	0 kN	Mobilização	R\$ 500,00						
7	4	16	D-areia argilosa	Tensão minima para armação	-	Tensão maxima	5,8 MPa	Custo total		Fabricante					
8	7	16	D-areia argilosa	SOLICITAÇÃO CARACTERÍSTICAS (Sk)		P _{ATUANTE}		Fabricante							
9	9	16	D-areia argilosa	Carga do Pilar (Pk)	500 MPa	R _{ADMISSIVEL}									
10	9	16	D-areia argilosa	Sobrecarga (bloco)	0%	BLOCO DE COROAMENTO									
11	7	19	D-areia argilosa	Momento em X	0,0 kN/m	Espaçamento minimo	0,0 cm								
12	7	19	D-areia argilosa	Momento em Y	0,0 kN/m	Recobrimento	31,5 cm								
13	9	20	D-areia argilosa	CUSTOS ADOTADOS		Comprimento total	48,0 cm								
14	14	20	D-areia argilosa	Mobilização	R\$ 500,00	Largura total	48,0 cm								
15	16	20	D-areia argilosa	Perfuração	R\$ 80,00 /m	Ângulo de aplicação (θ)				0°					
16	15	20	D-areia argilosa	Concreto	R\$ 350,00 /m³										
17	13	20	D-areia argilosa	Aço	R\$ 10,00 /Kg										
18	14	20	D-areia argilosa												
19	16	20	D-areia argilosa												
20	21	21	D-areia argilosa												
21	28	21	D-areia argilosa												
22	25	21	D-areia argilosa												
23	30	21	D-areia argilosa												
24	37	21	D-areia argilosa												
25															
26															
27															
28															
29															
30															
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															

Aoki-Velloso													
			Solos gerais			Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Décourt	
			F1	F2		Argila	Solos Inter.	Areia	Argila	Solos Inter.	Areia	K (Mpa)	α (%)
A-Franki	2,50	5,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,4%
B-Metálica	1,75	3,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,80	2,0%
C-Pré-moldada	1,41	2,82	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,70	2,4%
D-Escavada	3,00	6,00	0,85	0,6	0,5	0,85	0,6	0,5	0,8	0,65	0,5	0,60	3,0%
E-Raiz	2,00	4,00	0,85	0,6	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,50	2,8%
F-Hélice Contínua	2,00	4,00	0,3	0,3	0,3	1	1	1	1	1	1	0,40	3,0%
G-Ômega	2,00	4,00	0,4	0,4	0,4	1	1	1	1	1	1	0,55	2,2%
H-Escavada (bentonita)	3,00	6,00	0,85	0,6	0,5	0,9	0,75	0,6	0,9	0,75	0,6	0,45	2,8%
I-Injetada sob altas pressões	2,00	4,00	1	1	1	3	3	3	3	3	3	0,23	3,4%
J-Strauss	3,00	6,00	0,85	0,6	0,5	0,8	0,65	0,5	0,8	0,65	0,5	0,25	3,0%

β (KPa) - Teixeira													
			A-Franki	B-Metálica	C-Pré-moldada	D-Escavada	E-Raiz	F-Hélice Contínua					
A-argila siltosa	100	110	110	100	100	100	100	100					
B-silte argiloso	120	160	160	110	110	110	110	110					
C-argila arenosa	160	210	210	130	140	140	130	130					
D-silte arenoso	210	260	260	160	160	160	160	160					
E-areia argilosa	240	300	300	200	190	200	200	200					
F-areia siltosa	300	360	360	240	220	240	240	240					
G - areia	340	400	400	270	260	270	270	270					
H-areia com pedregulhos	380	440	440	310	290	310	310	310					

Aoki-Velloso													
			K (Mpa)			α (%)			Décourt			Teixeira	
			K (Mpa)	α (%)		C			C			α (KPa)	
A-areia	1,00	1,4%	400	400									
B-areia siltosa	0,80	2,0%	400	360									
C-areia siltoargilosa	0,70	2,4%	250	360									
D-areia argilosa	0,60	3,0%	250	300									
E-areia argilossiltosa	0,50	2,8%	250	300									
F-silte	0,40	3,0%	250	260									
G-silte arenoso	0,55	2,2%	250	260									
H-silte arenoargiloso	0,45	2,8%	250	160									
I-silte argiloso	0,23	3,4%	250	160									
J-silte argiloarenoso	0,25	3,0%	200	160									
L-argila	0,20	6,0%	120	110									
M-argila arenosa	0,35	2,4%	120	210									
N-argila arenossiltosa	0,30	2,8%	120	210									
O-argila siltosa	0,22	4,0%	120	160									
P-argila siltoarenosa	0,33	3,0%	120	160									

Fonte: Autor (2025)

8 COMPARATIVO DE RESULTADO

No processo de validação da planilha desenvolvida, foi realizado um comparativo direto com os exercícios 1 e 3 apresentados no livro Fundações por Estacas de Cintra e Aoki (2010), determinando os valores de capacidade de carga e recalque de uma estaca pré-moldada de concreto, utilizando como referência os mesmos parâmetros de solo e a metodologia de cálculo de Aoki-Velloso (1975). Essa análise teve como objetivo verificar a consistência dos resultados gerados pela planilha em relação a uma fonte consolidada da literatura técnica, permitindo avaliar sua confiabilidade para aplicação em estudos e projetos de fundações profundas. As imagens e tabelas apresentadas anteriormente no trabalho são referentes aos valores numéricos de cálculo do exercício apresentado pelo autor.

No que se refere a capacidade de carga mobilizadas pela estaca, apresentada previamente na figura 3 e tabela 4, verificou-se que a resistência lateral apresentou uma pequena diferença entre os comparativos, com um valor de 13 kN superior ao apresentado no livro. Essa discrepância é atribuída ao arredondamento dos valores de N_{SPT} considerados no livro, já que a planilha utiliza os valores decimais sem aproximações adicionais. Por outro lado, a resistência de ponta apresentou concordância total entre os resultados, confirmando que ambos os procedimentos conduzem ao mesmo valor final para essa parcela da capacidade de carga.

Quanto ao recalque, observou-se que, apesar novamente das diferenças na forma de segmentação do solo adotadas por cada abordagem, os resultados foram equivalentes. Enquanto o livro segmenta o perfil geotécnico em três camadas representativas, a planilha realiza a discretização metro a metro, de forma mais refinada. Ainda assim, os valores finais obtidos coincidiram.

9 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a consolidação de uma metodologia estruturada para o dimensionamento de fundações profundas, integrando princípios teóricos da engenharia geotécnica a uma ferramenta prática de aplicação profissional. A partir da sistematização dos métodos de cálculo da capacidade de carga e do recalque, foi possível representar o comportamento das estacas sob diferentes condições de solo e esforços atuantes.

A automatização dos processos de dimensionamento trouxe maior agilidade e padronização às análises, reduzindo a possibilidade de erros e permitindo uma comparação direta entre diferentes geometrias e critérios de cálculo. Essa abordagem proporciona uma base sólida para o estudo do desempenho de fundações profundas, contribuindo para projetos mais

eficientes e tecnicamente embasados.

Como proposta de aprimoramento, sugere-se a expansão das funcionalidades da planilha, incorporando o dimensionamento das armaduras das estacas e do bloco de coroamento. Essa complementação permitiria ampliar a aplicabilidade em uma única ferramenta as etapas do projeto de fundações.

Por fim, o trabalho evidencia a importância da integração entre teoria, prática de campo e ferramentas computacionais no aprimoramento das metodologias de projeto. Essa combinação favorece o avanço da engenharia de fundações, promovendo soluções mais seguras, econômicas e adequadas às condições geotécnicas encontradas em diferentes contextos de obra.

10 REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas Brasil, 2022.

AOKI, N.; VELLOSO, D. A. Um método aproximado para estimar a capacidade de suporte de estacas. *In: Buenos Aires: Proceedings of the 5th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1975.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DÉCOURT, L.; QUARESMA FILHO, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. *In: Salvador: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, 1986.

DER-MG. **Sistema de Custos Rodoviários de Minas Gerais – SICRO-MG**. Belo Horizonte: [S.n.].

DNIT. **Sistema de Custos Rodoviários – SICRO**. Brasília: [S.n.].

POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. **Pile foundation analysis and design**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1980. v. 1

TEIXEIRA, A. H. Análise, Projeto e Execução de Fundações. *In: Rio de Janeiro: 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*, 1996.