



DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

WILLIAN RAFAEL SOARES¹
DANIEL BATISTELLA²

RESUMO: A heterogeneidade do solo gera incertezas quanto ao seu comportamento mecânico frente às solicitações da estrutura. Para reduzir essas incertezas, foram desenvolvidas formulações teóricas e métodos semiempíricos capazes de prever a capacidade de carga de estacas e permitir seu dimensionamento de forma segura. Entretanto, a variação de profundidade, estratigrafia e demais parâmetros do solo e das estacas torna esses métodos trabalhosos e pouco práticos. Com o avanço da informática, tornou-se possível criar softwares que automatizam os cálculos necessários às estimativas de capacidade de carga em diferentes condições. Nesse contexto, o desenvolvimento do software “Profundos – Fundações por Estacas”, baseado no Método de Schiel, na Regra de Feld e nos métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira, oferece uma solução prática e didática. Assim, o sistema se apresenta como uma ferramenta eficiente para estudantes e profissionais, facilitando o dimensionamento geotécnico de blocos rígidos sobre estacas.

PALAVRAS-CHAVE: *Standard Penetration Test. Software. Semiempírico. Profundos.*

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF DETAILED MATERIAL BUDGETS

ABSTRACT: The heterogeneity of soil creates uncertainties regarding its mechanical behavior when subjected to structural loads. To reduce these uncertainties, theoretical formulations and semi-empirical methods have been developed to predict the load-bearing capacity of piles and ensure safe design. However, variations in depth, stratigraphy, and other soil and pile parameters make these methods laborious and impractical in everyday use. With advances in computing, it has become possible to develop software that automates the calculations required to estimate load capacity under different conditions. In this context, the software “Profundos – Deep Foundations”, based on the Schiel Method, the Feld Rule, and the semi-empirical methods of Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma, and Teixeira, offers a practical and educational solution. Thus, the system serves as an efficient tool for both students and professionals, streamlining the geotechnical design of rigid pile caps.

KEYWORDS: *Standard Penetration Test. Software. Semiempiric. Deep.*

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe – UNIFASIFE. Endereço eletrônico: willian@nortesistema.com.br

² Professor Bacharel em Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe – UNIFASIFE. Endereço eletrônico: danielbatistella@hotmail.com



1 INTRODUÇÃO

As edificações necessitam de sistemas de fundação capazes de transmitir ao solo as ações verticais e horizontais atuantes na estrutura, exigindo soluções adequadas ao comportamento geotécnico local (CINTRA; AOKI, 2010). Na região de Sinop – MT, o subsolo é composto predominantemente por latossolos vermelho-amarelos argilosos de baixa resistência nas camadas superficiais, o que torna recorrente a adoção de fundações profundas, sobretudo por estacas, devido à necessidade de alcançar estratos mais competentes (SEMA, 2020). As estacas são definidas pela ABNT NBR 6122:2010 como elementos executados integralmente por equipamentos, com transferência de carga ao solo por resistência de ponta, atrito lateral ou combinação de ambos, sendo classificadas conforme o efeito provocado no terreno durante sua execução, como destacado por Velloso e Lopes (2012).

Para o dimensionamento de fundações por estacas, a NBR 6122:2010 estabelece a obrigatoriedade de investigação geotécnica preliminar, geralmente por meio do ensaio SPT, o qual fornece parâmetros essenciais à identificação da estratigrafia, classificação dos solos e avaliação da resistência dinâmica (ABNT, 2001; ABNT, 1995). O SPT é considerado um dos métodos de investigação mais utilizados devido ao baixo custo e ampla aplicabilidade, sendo empregado como base para métodos semiempíricos de estimativa de capacidade de carga (SCHNAID; ODEBRECHT, 2009). Entre esses métodos, destacam-se Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996), que são amplamente utilizados no Brasil e possibilitam estimativas de capacidade de carga a partir dos valores de NSPT.

Em blocos que reúnem duas ou mais estacas, o comportamento do conjunto difere da estaca isolada, ocorrendo redistribuição de esforços por variações geométricas, excentricidades ou momentos atuantes, além da redução da capacidade resistente em função do efeito de grupo (HACHICH et al., 1998; CINTRA; AOKI, 2010). Para tais situações, ferramentas como o Método de Schiel e a Regra de Feld são empregadas para estimar a participação de cada estaca no sistema e avaliar a eficiência do grupo, garantindo que a resposta estrutural esteja de acordo com as recomendações de projeto (HACHICH et al., 1998; TEIXEIRA, 1996).

Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver um software capaz de automatizar o dimensionamento geotécnico de fundações profundas por estacas, aplicando métodos reconhecidos pela literatura e atendendo às recomendações da ABNT NBR 6122:2010. A relevância prática da proposta está na redução do tempo gasto em cálculos repetitivos e na diminuição de erros operacionais, favorecendo a elaboração rápida e precisa de projetos. Sob o ponto de vista teórico, o estudo contribui para a sistematização de metodologias clássicas de dimensionamento, integrando-as em uma ferramenta única e acessível a estudantes e profissionais. A pesquisa empregou abordagem aplicada, com desenvolvimento computacional em ambiente Visual Studio, incorporação das equações e parâmetros de cada método e construção de rotinas lógicas para cálculo e comparação de resultados. Ao final, verificou-se que o software foi capaz de processar automaticamente as informações de entrada, calcular a capacidade de carga das estacas, aplicar correções pelo efeito de grupo e fornecer diferentes resultados de forma rápida e organizada, demonstrando seu potencial como ferramenta de apoio ao projeto de fundações profundas.



2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fundações por estacas

As fundações profundas constituem alternativas empregadas quando as camadas superficiais do solo não apresentam resistência suficiente para suportar as cargas estruturais, exigindo a transferência dos esforços para estratos mais competentes em profundidade (Cintra; Aoki, 2010). As estacas são elementos esbeltos, geralmente com comprimento superior a três metros, executados em concreto, madeira ou aço, cuja capacidade resistente depende da combinação entre atrito lateral e resistência de ponta, de acordo com as características do terreno (HACHICH et al., 1998). Esses elementos apresentam interação solo–estrutura condicionada ao método executivo, podendo provocar deslocamento do solo, como no caso das estacas cravadas, ou substituição do solo, como nas estacas escavadas, distinção clássica destacada por Velloso e Lopes (2012). De forma geral, o emprego de estacas se torna fundamental em regiões onde a profundidade das camadas competentes é significativa, garantindo segurança e desempenho adequado às fundações profundas.

2.2 Bloco De Coroamento

A ABNT NBR 6122:2010 define o bloco de coroamento como o elemento estrutural responsável por ligar o pilar ao conjunto de estacas, assegurando a transmissão das cargas da superestrutura para os elementos de fundação profunda (ABNT NBR 6122:2010). Esse bloco não é considerado uma fundação superficial, mas sim parte integrante do sistema de fundações profundas, atuando como elemento de redistribuição de esforços entre as estacas do grupo, conforme previsto na norma ao tratar da conexão entre o pilar e as estacas.

Segundo a norma, o bloco de coroamento deve ser executado sobre uma camada de concreto magro, com espessura mínima, garantindo a regularização da superfície e o apoio uniforme sobre as cabeças das estacas. O arrasamento e a preparação das estacas devem assegurar a continuidade estrutural, permitindo que o bloco receba corretamente os esforços verticais e os momentos atuantes no pilar, bem como sua transferência ao grupo de estacas por meio da ligação rígida estabelecida no coroamento (ABNT NBR 6122:2010).

A distribuição de cargas entre as estacas depende da rigidez do bloco, das excentricidades de carregamento, da geometria do grupo e das variações nas reações internas, fenômenos amplamente discutidos por Hachich et al. (1998). Quando o bloco é suficientemente rígido, sua deformação é pequena em relação às das estacas, possibilitando o uso de modelos simplificados para cálculo das reações, como o método proposto por Schiel, que considera a compatibilidade de deslocamentos entre o pilar e o conjunto de estacas. Nessa condição, a avaliação da participação relativa de cada estaca e dos efeitos decorrentes do carregamento excêntrico ou da assimetria geométrica torna-se mais eficiente e sistemática.

Assim, o bloco de coroamento constitui o elemento responsável por garantir a transferência adequada das solicitações ao sistema profundo, devendo ser dimensionado de modo a manter compatibilidade estrutural entre pilar e estacas, atender aos requisitos construtivos previstos na NBR 6122 e permitir análises seguras de comportamento do grupo de estacas.

2.3 Sondagens Do Solo

O reconhecimento das condições do solo é pré-requisito para fundações seguras e



econômicas. As sondagens constituem entre 0,2% a 0,5% do valor total de uma obra, e as informações sobre a estratigrafia do subsolo e as propriedades geomecânicas de seus materiais são primordiais para o dimensionamento correto da infraestrutura de uma edificação.

2.3.1 Standard Penetration Test (SPT)

O SPT é o ensaio geotécnico mais utilizado no mundo, embora pobre em informações, é amplamente difundido, de fácil execução e de baixo custo. Tal ensaio é normatizado pela ABNT NBR 6484:2001 e é exigido como requisito mínimo na investigação geotécnica preliminar na norma de projeto e execução de fundações ABNT NBR 6122:2010.

Segundo Schnaid e Odebretch (2012, p.23) o ensaio SPT é constituído de uma medida de resistência dinâmica junto a uma sondagem de simples reconhecimento. O procedimento do ensaio consiste na cravação de um amostrador de 50 mm de diâmetro externo por meio da queda de um peso de 65 kg à uma altura de 75 cm. O valor N_{SPT} é o número de golpes necessários para a penetração de 30 cm após a cravação inicial de 15 cm. As amostras são coletadas a cada metro de profundidade pelo amostrador.

2.4 Método Schiel

O método do professor Schiel, segundo Alonso (1989), considera as seguintes hipóteses:

- Estacas são admitidas como hastes bi-rotuladas;
- O bloco de coroamento das estacas é infinitamente rígido, ou seja, suas deformações podem ser desprezadas diante da grandeza da deformação das estacas;
- O material da estaca idealizado obedece à lei de Hooke;
- As estacas possuem o mesmo comprimento e seção;
- As estacas são do mesmo material;
- A carga em cada estaca é proporcional à projeção do deslocamento do topo da estaca sobre o eixo da mesma, antes do deslocamento.

O método por representar as estacas segundo suas coordenadas e de utilizar cálculo matricial é de fácil programação. Com sua manipulação e utilização dos eixos x e y a partir do centroide do bloco como referência obtém-se a seguinte equação:

$$R_i = \left(\frac{N}{ne} - \frac{M_x \cdot Y_i}{\sum_1^{ne} X_i^2} \right)$$

onde: R_i = Carga suportada pela estaca i;

N = Carga vertical sobre o bloco, por convenção: para baixo positivo e para cima negativo;

ne = Número de estacas no bloco M_x = Momento no eixo X;

Y_i = Coordenada Y do centroide da estaca i;

M_y = Momento no eixo Y;

X_i = Coordenada X do centroide da estaca i.



2.5 Efeito De Grupo

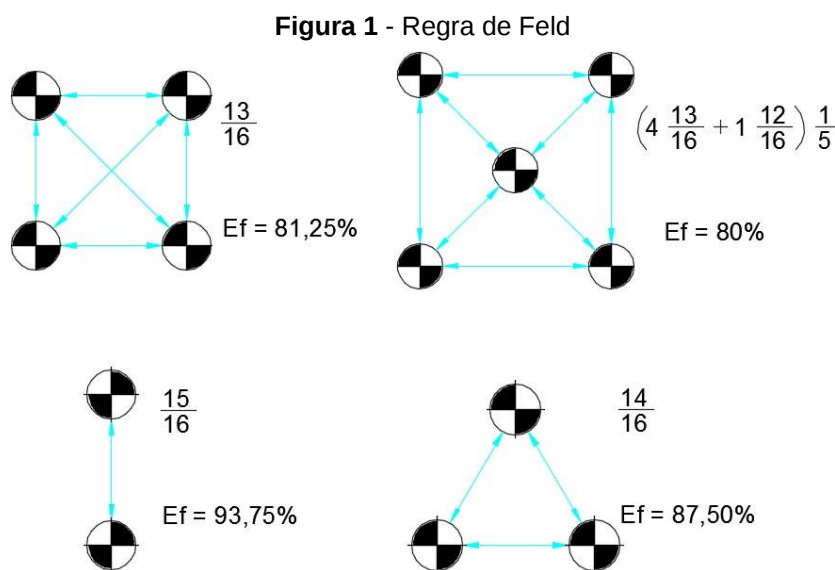
Segundo a ABNT NBR 6122:2010, o efeito de grupo de estacas é o processo de interação dos elementos da fundação ao transmitirem ao solo as cargas que lhe são aplicadas. Esta interação acarreta uma superposição de tensões, de tal modo que o recalque do grupo seja, em geral, diferente daquele do elemento isolado.

Decorrente deste efeito, para a satisfação da carga solicitante com um grupo de estacas é necessário realizar a redução da capacidade de carga das mesmas, essa redução, também chamada “eficiência”, é indispensável para assegurar que a capacidade do grupo seja maior ou igual à carga recebida pelo bloco.

2.5.1 Regra De Feld

Segundo Fernandes (2006), a Regra de Feld é o método mais prático para a verificação da eficiência de um grupo de estacas. A regra consiste na redução de 1/16 da carga da estaca para cada estaca vizinha na mesma fila ou diagonal. Quando estacas com número de estacas vizinhas diferentes dentro do mesmo bloco é necessário a realização da média ponderada entre as mesmas.

Na Figura 1 é demonstrada a aplicação da Regra de Feld para quatro geometrias diferentes de blocos, onde as setas indicam quais estacas se relacionam como vizinhas.



Fonte: FERNANDES (2006, p.5)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Elaboração Do Software

O *software* foi elaborado inteiramente no ambiente de desenvolvimento integrado Visual Studio, o qual possui versão gratuita para *download* e conta com a sintaxe de linguagem CSharp de programação em seu código-fonte.

A criação da interface foi realizada por meio da inserção de botões, textos e imagens com o intuito de facilitar a compreensão e utilização do *software*. Como demonstrado no fluxograma da Figura 3, foram criadas seis páginas de interação do código com o usuário.

Devido ao grande número de tabelas utilizados nos métodos semiempíricos foi necessário a criação de uma página apenas para armazenamento das tabelas, que só pode



ser acessada no modo de desenvolvimento do *software*.

Com a interface pré-definida os elementos foram configurados de acordo com a proposta de trabalho e de modo a evitar possíveis erros que comprometeriam a execução do programa, como a limitação de campos alfanuméricos à numéricos, os quais se preenchidos com caracteres alfabéticos gerariam erros fatais de execução devido à realização de operações matemáticas.

Já com a interface estabelecida foram configurados roteiros de cálculos com variáveis criadas dentro do próprio programa e os elementos da interface foram vinculados ao código.

3.2 Adaptações dos Métodos Semiempíricos

Foram tomadas como base para a elaboração do *software*, os tipos de solo calibrados para o método Aoki-Velloso e onze tipos de estacas. Devido à ausência de parâmetros para todos os tipos de estacas e solos empregados no programa nos métodos semiempíricos, algumas adaptações foram necessárias para englobá-los.

Os valores originais de F1 e F2 do método Aoki-Velloso (1975), Tabela 1, foram expandidos de modo semelhante às adaptações propostas por Ferreira, Delalibera e Da Silva (2014).

Tabela 1 - Fatores de correção F1 e F2 adaptados para o método Aoki-Velloso (1975)

Tipos de Estaca	F1	F2
Franki e Apilolada	2,50	2F1
Madeira, Vibrada Concreto e Centrifugada Concreto	1 + D/0,80	2F1
Escavada, Escavada com Lama Bentonítica, Estação e Strauss	3,00	2F1
Raiz, Hélice contínua	2,00	2F1

Fonte: Própria (2020)

Para o método Décourt-Quaresma, também foram necessárias expansões dos valores, do coeficiente C contidos na Tabela 2, do fator α para as Tabelas 3 e 4 e do fator β para os valores presentes nas Tabelas 5 e 6. Para as estacas de substituição as expansões foram realizadas segundo os valores originais do método, já para as estacas de deslocamento, que não possuem valores calibrados na metodologia de 1978, foram inseridos valores propostos por Décourt (1996).

Devido à variação dos valores de NI (índice de resistência à penetração da camada) de acordo com o efeito da estaca no solo foi criada a Tabela 7.

Tabela 2 - Valores adaptados de C para o método Décourt-Quaresma

Tipo de solo	C (kN/m ²)
Areia	400
Areia argilosa	400
Areia argilossiltosa	400
Areia siltoargilosa	400
Areia siltosa	400
Argila	120
Argila arenosa	120
Argila arenossiltosa	120



Argila siltoarenosa	120
Argila siltosa	120
Silte	200
Silte arenoargiloso	250
Silte arenoso	250
Silte argiloarenoso	200
Silte argiloso	200

Fonte: Própria (2020)

Tabela 3 - Fator α adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 1

Tipo de Estaca	Tipo de solo							
	Areia	Areia argilosa	Areia argilossiltosa	Areia siltoargilosa	Areia siltosa	Argila	Argila arenosa	Argila arenossiltosa
Escavada com lama bentonítica	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Escavada	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Estação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Apiloadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Vibrada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Centrifugada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Madeira	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Raiz	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85
Strauss	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,85	0,85	0,85

Fonte: Própria (2020)

Tabela 4 - Fator α adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 2

Tipo de Estaca	Tipo de solo						
	Argila siltoarenosa	Argila siltosa	Silte e	Silte arenoargiloso	Silte arenoso	Silte argiloarenoso	Silte argiloso
Escavada com lama bentonítica	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Escavada	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Estação	0,85	0,85	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Apiloadas	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Vibrada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



Centrifugada	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto			0				
Madeira	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
			0				
Raiz	0,85	0,85	0,6	0,60	0,60	0,60	0,60
			0				
Strauss	0,85	0,85	0,6	0,60	0,60	0,60	0,60
			0				

Fonte: Própria (2020)

Tabela 5 - Fator β adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 1

Tipo de Estaca	Tipo de solo							
	Areia	Areia argilosa	Areia argilossiltosa	Areia siltoargilosa	Areia siltosa	Argila	Argila arenosa	Argila arenossiltosa
Escavada com lama bentonítica	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,90	0,90	0,90
Escavada	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80
Estação	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80
Apiloadada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Franki	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Hélice contínua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vibrada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto								
Centrifugada	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto								
Madeira	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Raiz	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Strauss	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,80	0,80	0,80

Fonte: Própria (2020)

Tabela 6 - Fator β adaptado para o método Décourt-Quaresma, parte 2

Tipo de Estaca	Tipo de solo						
	Argila siltoarenosa	Argila siltosa	Silte e	Silte arenoargiloso	Silte arenoso	Silte argiloarenoso	Silte argiloso
Escavada com lama bentonítica	0,90	0,90	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Escavada	0,80	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Estação	0,80	0,80	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Apiloadada	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
			0				
Franki	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
			0				
Hélice contínua	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
			0				
Vibrada	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto			0				



Centrifugada	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
Concreto			0				
Madeira	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00
			0				
Raiz	1,50	1,50	1,5	1,50	1,50	1,50	1,50
			0				
Strauss	0,80	0,80	0,6	0,65	0,65	0,65	0,65
			5				

Fonte: Própria (2020)

Tabela 7 - Valores de NL para o método Décourt-Quaresma

Tipo de Estaca	N _L max
Escavada com lama bentonítica	50
Escavada	15
Estação	15
Apiloadada	50
Franki	50
Hélice contínua	15
Vibrada Concreto	50
Centrifugada Concreto	50
Madeira	50
Raiz	15
Strauss	15

Fonte: Própria (2020)

Para o método Teixeira (1996) foram adaptados os valores do parâmetro α conforme a interpolação linear realizada por Ferreira, Delalibera e Da Silva (2014), para contemplar todos os tipos de estacas e solos presentes no programa e não descritos pelo autor em seu método (Tabelas 6), também foi retirado o tipo de solo “Areia com pedregulhos”, pois o mesmo não é apresentado pelos autores dos outros métodos e também não haviam em seus métodos solo com característica semelhante. Já os valores do parâmetro β foram expandidos de modo a facilitar seu emprego no programa, o que gerou a Tabela 7.

Tabela 8 - Parâmetro α adaptado para o método Teixeira (1996), parte 1

Solo	Tipo de estaca				
	Vibrada Concreto	Centrifugada Concreto	Madeira a	Strauss s	Escavada com lama bentonítica
Areia	400	400	400	270	270
Areia siltosa	360	360	360	240	240
Areia siltoargilosa	330	330	330	220	220
Areia argilosa	300	300	300	200	200
Areia argilossiltosa	330	330	330	220	220
Silte	160	160	160	110	110
Silte arenoso	260	260	260	160	160
Silte arenoargiloso	210	210	210	135	135
Silte argiloso	160	160	160	110	110
Silte argiloarenoso	210	210	210	135	135



Argila	110	110	110	100	100
Argila arenosa	210	210	210	130	130
Argila arenossiltosa	160	160	160	115	115
Argila siltosa	110	110	110	100	100
Argila siltoarenosa	160	160	160	115	115

Fonte: Própria (2020)

Tabela 9 - Parâmetro α adaptado para o método Teixeira (1996), parte 2

Solo	Tipo de Estaca					
	Escavada	Estação	Hélice contínua	Apiloadada	Franki	Raiz
Areia	270	270	270	340	340	260
Areia siltosa	240	240	240	300	300	220
Areia siltoargilosa	220	220	220	270	270	205
Areia argilosa	200	200	200	240	240	190
Areia argilossiltosa	220	220	220	270	270	205
Silte	110	110	110	120	120	110
Silte arenoso	160	160	160	210	210	160
Silte arenoargiloso	135	135	135	165	165	135
Silte argiloso	110	110	110	120	120	110
Silte argiloarenoso	135	135	135	165	165	135
Argila	100	100	100	100	100	100
Argila arenosa	130	130	130	160	160	140
Argila arenossiltosa	115	115	115	130	130	120
Argila siltosa	100	100	100	100	100	100
Argila siltoarenosa	115	115	115	130	130	120

Fonte: Própria (2020)

Tabela 10 - Parâmetro β adaptado para o método Teixeira (1996)

Tipo de Estaca	β (kPa)
Vibrada Concreto	4
Centrifugada Concreto	4
Madeira	4
Strauss	4
Escavada com lama bentonítica	4
Escavada	4
Estação	4
Hélice contínua	4
Apiloadada	5
Franki	5
Raiz	6

Fonte: Própria (2020)

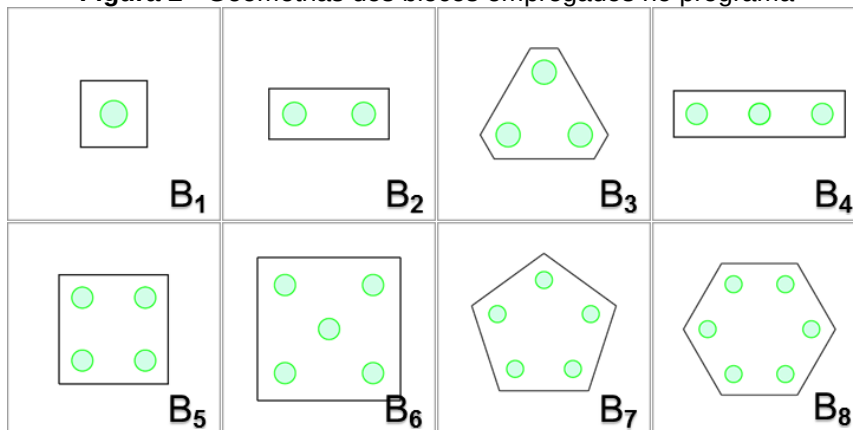
3.3 Blocos De Fundação

Limitado à blocos rígidos, optou-se pela utilização do Método de Schiel para a determinação das solicitações nas estacas. Foram selecionadas para o programa geometrias diferentes para blocos de fundação, de modo a empregar até 6 estacas, Figura



2. Para estes foi analisado o efeito em grupo das estacas de modo simplificado segundo a regra de Feld, para tal se originou a Tabela 8 com a eficiência de cada um dos blocos.

Figura 2 - Geometrias dos blocos empregados no programa



Fonte: Própria (2020)

Tabela 11 - Eficiência dos blocos segundo a regra de Feld

Bloco	Eficiência
B ₁	100,00%
B ₂	93,75%
B ₃	87,50%
B ₄	91,67%
B ₅	81,25%
B ₆	80,00%
B ₇	87,50%
B ₈	87,50%

Fonte: Própria (2020)

As coordenadas de cada uma das estacas são obtidas mediante as relações geométricas seno e cosseno com a soma do ângulo na posição inicial (Tabela 9) de cada estaca (Figura 2) com a rotação do bloco inserida pelo usuário multiplicado pelo seu raio, este obtido de acordo com os diâmetros das estacas (Tabela 10).

Tabela 12 - Ângulos na posição zero de cada bloco

Blocos	Estacas					
	1	2	3	4	5	6
B1	Fixo	-	-	-	-	-
B2	0	180	-	-	-	-
B3	90	210	270	-	-	-
B4	180	Fixo	0	-	-	-
B5	45	135	225	315	-	-
B6	45	135	fixo	225	315	-
B7	18	90	162	234	306	-
B8	0	60	120	180	240	300

Fonte: Própria (2020)



Tabela 13 - Raios em função do diâmetro “D” da estaca

Blocos	Estacas					
	1	2	3	4	5	6
B1	0	-	-	-	-	-
B2	1,5.D	1,5.D	-	-	-	-
B3	1,73205081.D	1,73205081. D	1,73205081. D	-	-	-
B4	3.D	0	3.D	-	-	-
B5	2,12132034.D	2,12132034. D	2,12132034. D	2,12132034. D	-	-
B6	3.D	3.D	0	3.D	3.D	-
B7	2,55195243.D	2,55195243 D	2,55195243. D	2,55195243. D	2,55195243.D	-
B8	3.D	3.D	3.D	3.D	3.D	3.D

Fonte: Própria (2020)

3.4 Determinação Da Profundidade Das Estacas

Mediante o método adotado, de suas variáveis e dos parâmetros do solo, são obtidas suas resistências de ponta e lateral acumulada em cada uma das camadas do solo. Com estes valores o programa cria uma matriz com os valores de compressão resistente na camada, Equação 1, e de tração resistente na camada, Equação 2, a qual segundo a recomendação de POULOS e DAVIS (1980) deve-se considerar apenas dois terços de seu valor calculado. Nesta matriz também são incluídos os valores de resistência das estacas de cada bloco penalizadas conforme sua eficiência, tanto para tração quanto para compressão, Equações 3 e 4 respectivamente.

$$R_c = R_l + R_p \quad (1)$$

onde: R_c = Resistência Admissível à compressão na camada;

R_p = Resistência de ponta na camada;

R_l = Resistência Lateral na camada.

$$R_t = \frac{2}{3} \cdot R_l \quad (2)$$

onde: R_t = Resistência Admissível à tração na camada;

$$R_{tBi} = R_t \cdot E_{fBi} \quad (3)$$

onde: R_{tBi} = Resistência individual das estacas do Bloco i à tração;

E_{fBi} = Eficiência das estacas do Bloco i devido ao efeito de grupo;

$$R_{cBi} = R_t \cdot E_{fBi} \quad (4)$$

onde: R_{cBi} = Resistência individual das estacas do Bloco i à compressão;

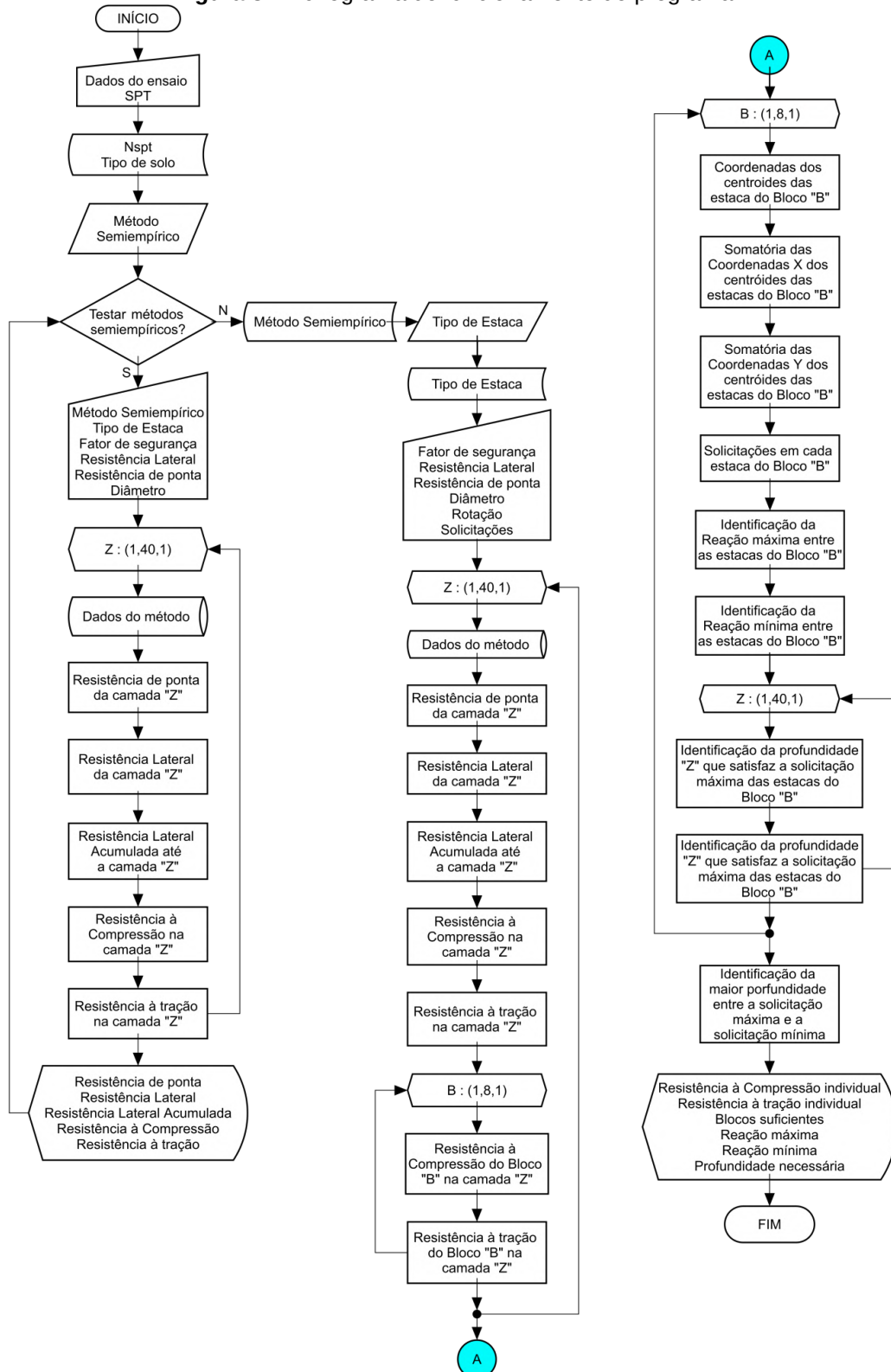
Através das coordenadas do centroide de cada estaca dos blocos são obtidos valores de suas reações conforme a equação de Schiel, em posse das reações são identificados os valores máximo e mínimo das mesmas.

Por meio da matriz de capacidade de carga o programa busca qual a profundidade necessária para a satisfação das solicitações nas estacas do bloco tanto para a máxima quanto para a mínima reação, devido a possível ocorrência de tração nas estacas, e retorna a maior profundidade entre estas.



Na Figura 3 é demonstrado o fluxograma de funcionamento do programa.

Figura 3 - Fluxograma de funcionamento do programa



Fonte: Própria (2025)



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento do software foi necessário um estudo mais específico para implementar algumas funcionalidades. O estudo foi realizado por meio de fóruns de discussões onde programadores relatam o uso de determinadas funcionalidades.

Também foi necessário um estudo mais aprofundado sobre fundações, mais especificamente nos tipos de literaturas usadas para este trabalho, para que pudesse ser realizado um levantamento de requisitos de forma mais objetiva.

Em um primeiro momento o resultado obtido foi de certa forma satisfatório, porém sem dar suporte a comparação entre resultados de diferentes metodologias de cálculo. Então para que o software pudesse atender os requisitos, foi elaborada uma forma de configurar quais os tipos de cálculo realizar, se deve calcular usando mais de uma metodologia ou se deve fazer uma análise comparativa entre os resultados obtidos. Desta forma, foi possível obter resultados de diferentes metodologias e uma comparação entre os resultados obtidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um software para o dimensionamento geotécnico de fundações profundas por estacas, incorporando os métodos semiempíricos de Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira, associados ao Método de Schiel e à Regra de Feld para blocos rígidos sobre estacas. O sistema “Profundos – Fundações por Estacas” foi implementado com rotinas que automatizaram o cálculo da capacidade de carga e permitiram a consideração do efeito de grupo em diferentes geometrias de blocos.

A aplicação do software demonstrou que os cálculos puderam ser realizados em tempo reduzido, inclusive quando habilitada a comparação entre diferentes metodologias, possibilitando ao usuário obter, de forma rápida, resultados que exigiriam maior esforço manual. Dessa forma, o programa mostrou-se uma ferramenta de apoio ao projeto, tanto para engenheiros quanto para acadêmicos, contribuindo para análises mais ágeis e sistemáticas do dimensionamento de fundações profundas por estacas.

REFERÊNCIAS

AOKI, N.; VELLOSO, D. A. An proximate method to estimative the bearing capacity of pile. In: Pan American V – P.C.S.M.F.E., Buenos Aires, Proccedings. Vol. 1, p. 367 – 376. 1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ALONSO, Urbano Rodriguez. Dimensionamento de fundações profundas. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989.

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



DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: VI COBRAMSEF – Rio de Janeiro, 1978.

DÉCOURT, L.; ALBIERO, J. H.; CINTRA, J. C. A. Análise e projeto de fundações profundas. HACHICH, W.; FALCONI, FF; SAES, JL; FROTA, RGQ, (eds), Editora PINI Ltda, São Paulo, SP, 265-327, 1996

FERNANDES, G.B. Fundações em estacas, Notas de aula do curso de EC 802 da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas, 2006.

FERREIRA, C. V.; ALBIERO, J. H.; LOBO, A. da S.; CARVALHO, D. Correlações entre atrito lateral medido e, provas de carga, em estacas apiloadas, instrumentadas e resultados de ensaios SPT-T e CPT, Solos e Rochas, São Paulo, 1998.

FERREIRA, T. R.; DELALIBERA, R. G.; SILVA, W. A. da. Rotina computacional para a previsão da capacidade de cargas em estacas. REEC, Goiás, v. 8, n. 3, p. 38-50, jun. 2014.

FREEDMAN, G.; METTEM, C.; LARSEN, P.; EDWARDS, S.; REYNOLDS, T.; ENJILY, V. Timber Bridges and Foundations: a report produced for the Forestry Commission. 2002

GONÇALVES, R. L. Estudo do comportamento de estacas apiloadas em solo colapsível da região de Londrina, Pr. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. Fundações: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. Pile foundation analysis and design. Sydney: Rainbow-Bridge Book Co. 1980.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. Ensaios de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

STRAUB, H. A History Of Civil Engineering; An Outline From Ancient To Modern Times. Cambridge: The M.I.T. Press, 1964.

TEIXEIRA, A. H. Projeto de execução de fundações. SEFE, 3, São Paulo, vol. 1. 1996.

TSCHEBOTARIOFF, G. P. Fundações, estruturas de arrimo e obras de terra: a arte de construir e suas bases científicas na mecânica dos solos. 1. ed. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1978.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. L. Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas. São Paulo, Oficina de Textos, 2012.