

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

EDUARDO CARVALHO DA COSTA

**APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA
DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

**ALEGRETE
2015**

EDUARDO CARVALHO DA COSTA

**APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA
DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Jaelson Budny

**ALEGRETE
2015**

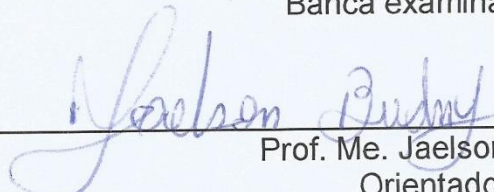
EDUARDO CARVALHO DA COSTA

APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA
DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

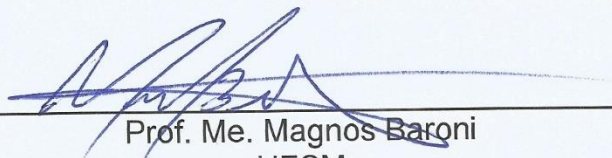
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em.

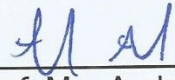
Banca examinadora:



Prof. Me. Jaelson Budny
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Magnos Baroni
UFSM



Prof. Me. André Lubeck
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de, mais uma vez, viver para aprender e servir sempre.

Aos meus pais, pelo apoio prestado na minha formação educacional e por não medirem esforços para que eu chegasse um dia a este momento de iniciar a vida com as minhas próprias pernas.

Ao meu irmão Gustavo pelo companheirismo e por dividir comigo a morada, as alegrias e tristezas familiares.

A minha namorada Tamires, pela transformação que fez na minha vida. Pelas alegrias compartilhadas, pelo apoio nos momentos difíceis, pelo crescimento pessoal que fazemos juntos e por escolher ser minha companheira até mesmo na vida profissional, vivenciando comigo o dia a dia da graduação em engenharia civil.

Aos mestres Magnos Baroni e Jaelson Budny, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao amigo e aluno do curso de engenharia de software, Gabriel Moro, pela dedicação prestada e pelo trabalho em equipe realizado, que tornaram possível a elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal do Pampa, pelos recursos oferecidos para uma graduação de qualidade.

E a todas as pessoas que contribuíram na minha passagem pela universidade e pelo curso de Engenharia Civil.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo otimizar o processo de cálculo de capacidade de carga de fundações profundas, perante o desenvolvimento de uma ferramenta computacional. Apresenta uma introdução aos tipos de fundações profundas, suas características, dimensões e os métodos de cálculo de capacidade de carga propostos por Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978). Os métodos em análise são baseados no ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) e constituídos por coeficientes que, implementados automaticamente ao cálculo, representam vantagem ao usuário na elaboração do projeto de fundações profundas. O trabalho mostra, em seus resultados, a ferramenta desenvolvida e os passos de sua utilização pelo usuário. Após desenvolvido o software de cálculo, testa os resultados apresentados em relatório com planilhas manuais, utilizando o software Excel para a validação dos resultados. Por fim, apresenta valores de capacidade de carga provenientes de testes realizados com diferentes tipos de estacas e solos, faz uma comparação entre esses valores e avalia qual estaca apresenta melhor capacidade de carga e qual dos métodos apresentou solução mais econômica.

Palavras-chave: Fundações. Software. Capacidade de carga. SPT.

ABSTRACT

The present work has as objective to optimize the process of calculation of deep foundation load capacity, before the development of a computational tool. It provides an introduction to the types of deep foundations, characteristics, dimensions and load capacity calculation methods proposed by Aoki and Velloso (1975) and Décourt and Lent (1978). The methods of analysis are based on the SPT test (Standard Penetration Test) and made up of coefficients that automatically implemented to calculate, represent the user an advantage in preparing the deep foundations of design. The work shows in their results, the tool developed and steps of their use by the user. After developed calculation software, test results presented in report with manual spreadsheets using Excel software to validate the results. Finally, it presents load capacity values from tests performed with different types of piles and soils, makes a comparison between these values and evaluates stake which has better load capacity and which of the methods presented more economical solution

Keywords: Foundations. Software. Load capacity. SPT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de sapata isolada.....	18
Figura 2 - Exemplo de sapata associada.....	19
Figura 3 - Exemplo de sapata contínua.....	20
Figura 4 - Exemplo de radier.....	21
Figura 5 - Formas de trabalho de uma estaca.....	22
Figura 6 - Estacas pré-moldadas de concreto.....	24
Figura 7 - Seções típicas de estacas metálicas.....	26
Figura 8 - Execução de estaca hélice contínua.....	32
Figura 9 - Estaca hélice contínua sendo executada em obra.....	32
Figura 10 - Execução de estaca raiz.....	34
Figura 11 - Equipamento utilizado no ensaio SPT.....	37
Figura 12 - Execução do ensaio SPT.....	37
Figura 13 - Relatório de sondagem SPT.....	38
Figura 14 - Tipos de cone.....	40
Figura 15 - Sistema de aquisição de dados do ensaio de cone.....	40
Figura 16 - Processamento e análise de dados do ensaio piezocone.....	41
Figura 17 - Relatório de resultados do ensaio de piezocone.....	41
Figura 18 - Palheta e sua superfície de ruptura.....	42
Figura 19 – Primeiro perfil de sondagem SPT (SP01) utilizado nos testes da ferramenta computacional em desenvolvimento.....	50
Figura 20 - Segundo perfil de sondagem SPT (SP02) utilizado nos testes da ferramenta computacional em desenvolvimento.....	51
Figura 21 - Terceiro perfil de sondagem SPT (SP03) utilizado nos testes da ferramenta computacional em desenvolvimento.....	52
Figura 22 - Etapas de desenvolvimento do software.....	54
Figura 23 - Entrada de dados do boletim SPT.....	55
Figura 24 – Tela inicial do programa, escolha do módulo “Capacidade de Carga”.....	57
Figura 25 – Módulo Capacidade de Carga, tela inicial.....	58
Figura 26 – Identificação do projeto.....	59
Figura 27 – Escolha da data de projeto.....	60
Figura 28 – Salvando os dados de identificação.....	61

Figura 29 – Inserção dos dados do relatório de sondagem SPT.....	62
Figura 30 – Preenchimentos dos valores de N_{SPT} com dados fictícios.....	63
Figura 31 – Determinação do tipo de solo conforme relatório SPT.....	64
Figura 32 – Determinação do tipo de solo com informações fictícias.....	65
Figura 33 – Escolha do tipo de estaca.....	66
Figura 34 – Dimensões disponíveis da estaca selecionada (m).....	67
Figura 35 – Dimensões da estaca salvas.....	68
Figura 36 – Faixa de cálculo e fatores de segurança.....	69
Figura 37 – Mensagem ao usuário.....	70
Figura 38 – Última tela do primeiro módulo.....	71
Figura 39 – Mensagem de geração de relatório.....	72
Figura 40 – Mensagem de geração de relatório.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de estacas.....	23
Tabela 2 - Resistência máxima de estacas pré-moldadas quadradas de concreto...	25
Tabela 3 - Espessura de compensação de corrosão.....	27
Tabela 4 - Perfis I disponíveis para uso como estaca de fundação.....	28
Tabela 5 - Trilhos disponíveis para uso como estaca de fundação.....	28
Tabela 6 - Cargas admissíveis para estaca Strauss.....	31
Tabela 7 - Cargas máximas admissíveis e armaduras para hélice-contínua.....	33
Tabela 8 - Cargas admissíveis para estaca raiz.....	34
Tabela 9 - Valores de k e α para o método de Aoki-Velloso.....	44
Tabela 10 - Valores de F_1 e F_2 para o método de Aoki-Velloso.....	45
Tabela 11 - Valores de K para o método de Décourt-Quaresma.....	46
Tabela 12 - Valores de α e β para o método de Décourt-Quaresma.....	46
Tabela 13 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=8m$	75
Tabela 14 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=9m$	75
Tabela 15 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=10m$	76
Tabela 16 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=11m$	76
Tabela 17 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=8m$, segunda condição.....	77
Tabela 18 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=9m$, segunda condição.....	78
Tabela 19 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=10m$, segunda condição.....	78
Tabela 20 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=11m$, segunda condição.....	78
Tabela 21 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=7m$, terceira condição.....	80
Tabela 22 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, $L=8m$, terceira condição.....	80

Tabela 23 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=9m, terceira condição.....	80
Tabela 24 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=8m.....	82
Tabela 25 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=9m.....	83
Tabela 26 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=10m.....	83
Tabela 27 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=11m.....	84
Tabela 28 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=8m, segunda condição.....	85
Tabela 29 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=9m, segunda condição.....	86
Tabela 30 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=10m, segunda condição.....	86
Tabela 31 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=11m, segunda condição.....	86
Tabela 32 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=7m, terceira condição.....	88
Tabela 33 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=8m, terceira condição.....	88
Tabela 34 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=9m, terceira condição.....	88
Tabela 35 - Capacidade de carga calculada para estaca hélice contínua considerando sondagem "SP01".....	90
Tabela 36 - Capacidade de carga calculada para estaca rotativa considerando sondagem "SP01".....	91
Tabela 37 - Capacidade de carga calculada para estaca pré-moldada considerando sondagem "SP01".....	92
Tabela 38 - Capacidade de carga calculada para estaca hélice-contínua considerando sondagem "SP02".....	93

Tabela 39 - Capacidade de carga calculada para estaca rotativa considerando sondagem "SP02"	94
Tabela 40 - Capacidade de carga calculada para estaca pré-moldada considerando sondagem "SP02"	95
Tabela 41 - Capacidade de carga calculada para estaca hélice contínua considerando sondagem "SP03"	96
Tabela 42 - Capacidade de carga calculada para estaca rotativa considerando sondagem "SP03"	97
Tabela 43 - Capacidade de carga calculada para estaca pré-moldada considerando sondagem "SP03"	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Estruturação do Trabalho	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Introdução	17
2.2	Fundações Superficiais	17
2.2.1	Sapatas	17
2.2.2	Bloco	20
2.2.3	Radier	20
2.2.4	Grelha	21
2.3	Fundações Profundas	21
2.3.1	Estacas de deslocamento	23
2.3.2	Estacas de substituição	29
2.3.3	Estacas sem deslocamento	33
2.4	Ensaio de investigação geotécnica	35
2.4.1	Ensaio Standard Penetration Test – SPT	36
2.4.2	Ensaio de Cone (CPT) e Piezocone (CPT-U)	38
2.4.3	Ensaio de Palheta (Vane test)	41
2.5	Métodos de cálculo da capacidade de carga de fundações profundas	43
2.5.1	Método de Aoki-Velloso (1975)	43
2.5.2	Método de Décourt-Quaresma (1978)	45
2.6	Linguagem de programação	46
2.6.1	Tipos de linguagem de programação	47
2.6.2	Linguagem Java	47
3	METODOLOGIA	48
3.1	Materiais	48
3.1.1	Livros, artigos técnicos e catálogos comerciais	48
3.1.2	Boletins de sondagem SPT	48
3.1.3	Planilhas de Excel	48

3.1.4 Computadores, linguagens de programação.....	48
3.1.5 Linguagem Java de programação.....	49
3.2 Métodos.....	49
3.2.1 Revisão da literatura	49
3.2.2 Boletins de sondagens	49
3.2.3 Parâmetros do solo	53
3.2.4 Diferentes tipos de estacas.....	53
3.2.5 Aplicação dos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma	53
3.2.6 Desenvolvimento do software.....	53
3.2.7 Desenvolvimento de planilhas para a verificação dos cálculos realizados pela ferramenta.....	54
3.2.8 Realização do dimensionamento de fundações com o software	55
3.2.9Comparativo de resultados de diferentes dimensionamentos em diferentes boletins de sondagens e diferentes tipos de estacas.....	56
4. RESULTADOS	57
4.1 Protótipos de tela	57
4.2 Relatório com os resultados de capacidade de carga	73
4.3 Validação dos resultados gerados (método de Aoki-Velloso).....	74
4.4 Validação dos resultados gerados (método de Décourt-Quaresma)	81
4.5 Testes	89
5 CONCLUSÕES.....	99
5.1 Quanto à eficiência do software desenvolvido	99
5.2 Quanto aos testes realizados.....	99
5.3 Sugestões para trabalhos futuros.....	100
REFERÊNCIAS.....	101
APÊNDICES.....	104

1 INTRODUÇÃO

Fundações são estruturas responsáveis por distribuir no solo as tensões originárias dos diversos tipos de carregamentos provenientes das edificações. Cada solo resiste às solicitações impostas de uma maneira diferente, conforme as suas propriedades. Com a grande diversidade de solos existentes e o fato de estes se apresentarem quase sempre estratificados, é difícil estabelecer uma análise completa e exata do comportamento que o solo, sobre o qual se construirá, irá mostrar. Em virtude disso, existem diversos tipos de fundações para a transmissão dos esforços solicitantes ao solo. Assim, pode-se dizer que o ramo das fundações exige muita experiência por parte do engenheiro civil (VELLOSO; LOPES, 2010).

Atualmente, percebe-se a falta de espaço em grandes centros urbanos, gerada pelo crescimento populacional e também a aumento no número de prédios e arranha-céus. Com isso, surge a necessidade de construir em locais onde o solo geralmente não exibe a devida capacidade de suporte, exigindo, na maioria das vezes, fundações profundas, até encontrar-se solo apropriado.

Com o advento das novas tecnologias no ramo da informática, é natural que as diversas atividades do universo da Engenharia Civil aproveitem estes recursos para a otimização dos processos de cálculo, de gestão ou construtivos. Hoje em dia existem várias ferramentas computacionais, que auxiliam em projetos de todas as áreas da engenharia civil, como softwares para dimensionamento e detalhamento de estruturas de concreto armado, verificação da estabilidade de taludes, representação de instalações elétricas e hidráulicas, de orçamento, etc.

Para a realização do dimensionamento de estacas de fundação, diversos fatores e coeficientes são levados em consideração, seja em virtude do tipo de solo, do tipo de fundação, ou fatores de correlação de ensaios. Estes fatores e coeficientes, quando solicitados automaticamente por ferramenta computacional, representam facilidade e rapidez na hora do dimensionamento.

Sabendo-se da dificuldade da elaboração de um bom projeto de fundações profundas, o maior desafio deste trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional de qualidade e gratuita, que possa ser utilizada tanto por engenheiros experientes em empresas especializadas, quanto por engenheiros recém formados e que atuem na grande área das fundações.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Otimizar o processo de cálculo de capacidade de carga de fundações profundas, respeitando as normas pertinentes e a boa prática da engenharia civil e realizar o dimensionamento de diferentes tipos de fundações profundas a partir de boletins de sondagem SPT.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Auxiliar a programação, através de pesquisa bibliográfica, conhecimentos referentes ao dimensionamento de fundações profundas, características dos solos, características de estacas, coeficientes de segurança, recomendações das normas pertinentes e métodos de ensaio.
- Trabalhar em conjunto na implementação, em linguagem Java de programação, das fórmulas e tabelas referentes aos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma para o cálculo da capacidade de carga de fundações profundas.
- Acompanhar e verificar a entrada de dados quanto ao dimensionamento para diversos tipos de estacas e solos, levando em conta suas características.
- Testar a ferramenta computacional, após sua conclusão, para diversas situações de solos e estacas, analisando de maneira crítica os resultados gerados.

1.2 Justificativa

Os projetos de engenharia devem ser realizados de forma eficiente, visando a segurança, a economia e, ao mesmo tempo, a rapidez e facilidade na execução.

No ramo de fundações profundas não é diferente. Várias análises referentes ao solo e ao tipo de fundação são necessárias para a escolha da solução mais viável. Alia-se a isso a necessidade de experiência por parte do projetista devido à variabilidade comportamental dos solos de região para região e os diversos métodos de dimensionamento existentes.

O projeto inicia com o estudo do solo, que gerará relatórios de sondagem. A partir do conhecimento do solo, diversos fatores e coeficientes são ponderados para a melhor descrição do seu comportamento, quando submetido às tensões de construção.

O tipo de estaca também influencia muito na elaboração do melhor projeto, as mesmas possuem parcelas de resistência tanto por atrito lateral como pela resistência ponta, existindo também fatores e coeficientes para as mesmas.

É evidente, assim, que a elaboração de um projeto de fundações profundas necessita de uma análise criteriosa dos parâmetros do solo e do tipo de fundação.

Logo, uma ferramenta que alie as informações necessárias dos principais tipos de solos com os principais tipos de fundações profundas, torna-se então, essencial para o desenvolvimento de projetos confiáveis, econômicos e rápidos.

1.3 Estruturação do Trabalho

O presente trabalho divide-se em capítulos:

Capítulo 1 – no primeiro capítulo, apresenta-se a contextualização do tema, objetivo geral e específicos do trabalho e sua justificativa.

Capítulo 2 – mostra-se, neste capítulo, a revisão bibliográfica sobre os tipos de fundações, métodos de cálculo de capacidade de carga de estaca, ensaios de resistência do solo e linguagem de programação.

Capítulo 3 – este capítulo exhibe os materiais e os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

Capítulo 4 – neste capítulo, apresentam-se os resultados, com os protótipos de tela do software, bem como seu relatório final. Além disso, efetua-se testes de cálculo a partir de relatórios de ensaio SPT

Capítulo 5 – no último capítulo, conclui-se sobre a eficiência da ferramenta e apresenta-se as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Introdução

As fundações são convencionalmente classificadas em fundações superficiais (ou “diretas”, ou ainda “rasas”) e fundações profundas (VELLOSO; LOPES, 1998, p. 212). A escolha do tipo de fundação a ser empregada depende, principalmente, das características de resistência do solo, no entanto, fatores como o custo e o prazo de execução também são relevantes para a eleição da melhor alternativa (VELLOSO; LOPES, 1998).

2.2 Fundações Superficiais

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010) “Projeto e Execução de Fundações”, fundação superficial é aquela onde as tensões geradas pelas cargas das edificações são transmitidas ao solo através da base da fundação.

Neste grupo, estão inclusas as sapatas, blocos, grelhas, vigas de fundação e laje radier.

2.2.1 Sapatas

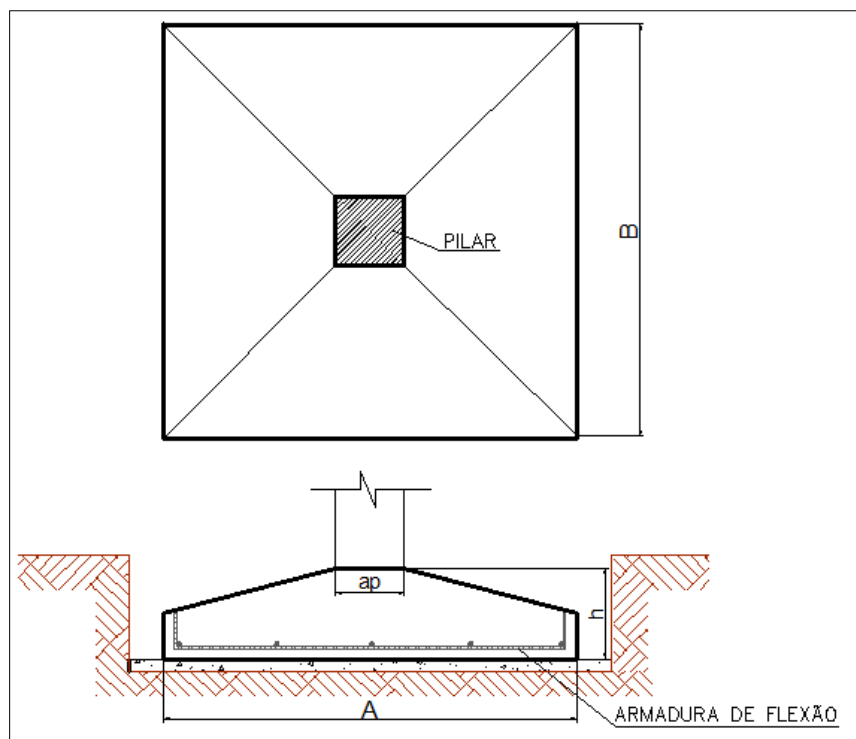
Uma sapata “é um elemento de fundação superficial em concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas por uma armadura disposta para este fim” NBR 6122 “Projeto e Execução de Fundações (ABNT, 2010, p.2). As sapatas podem ser projetadas e construídas em diversas formas geométricas, sendo a forma cônica retangular a mais comum entre elas (OLIVEIRA, 2011).

O uso de sapatas é recomendável quando o solo é resistente e o nível da água no terreno é consideravelmente baixo (BOTELHO; CARVALHO, 2007).

- **Sapatas isoladas**

As sapatas isoladas são assim denominadas quando recebem carga de um único elemento estrutural vertical (pilar). Na Figura 1 demonstra-se um exemplo de sapata isolada.

Figura 1 - Exemplo de sapata isolada



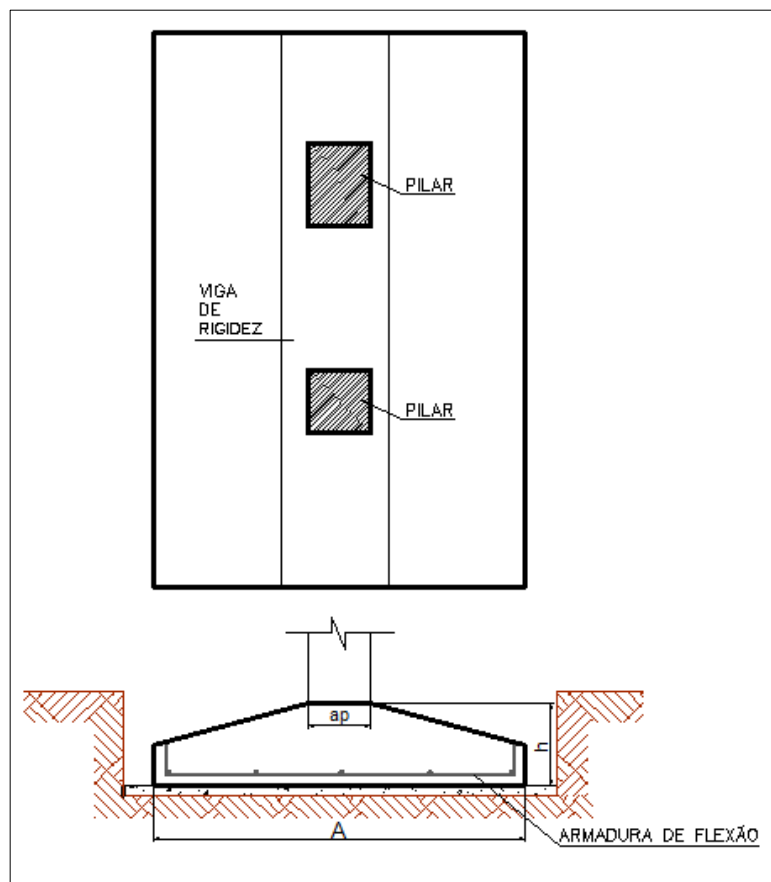
Fonte: Elaboração própria

- **Sapatas associadas**

Porventura, quando dois pilares localizam-se muito próximos, de modo que não é possível a execução de uma sapata individual para cada pilar, executa-se uma sapata associada para receber as cargas dos dois pilares. Conforme Teixeira e Godoy (1998) também executa-se sapatas associadas quando as cargas oriundas da estrutura forem altas demais em comparação com a tensão admissível do solo.

Teixeira e Godoy (1998, p. 229) afirmam ainda que “via de regra, duas sapatas isoladas serão mais econômicas e mais fáceis de executar do que uma sapata associada”. Na Figura 2 exemplifica-se uma sapata associada.

Figura 2 - Exemplo de sapata associada

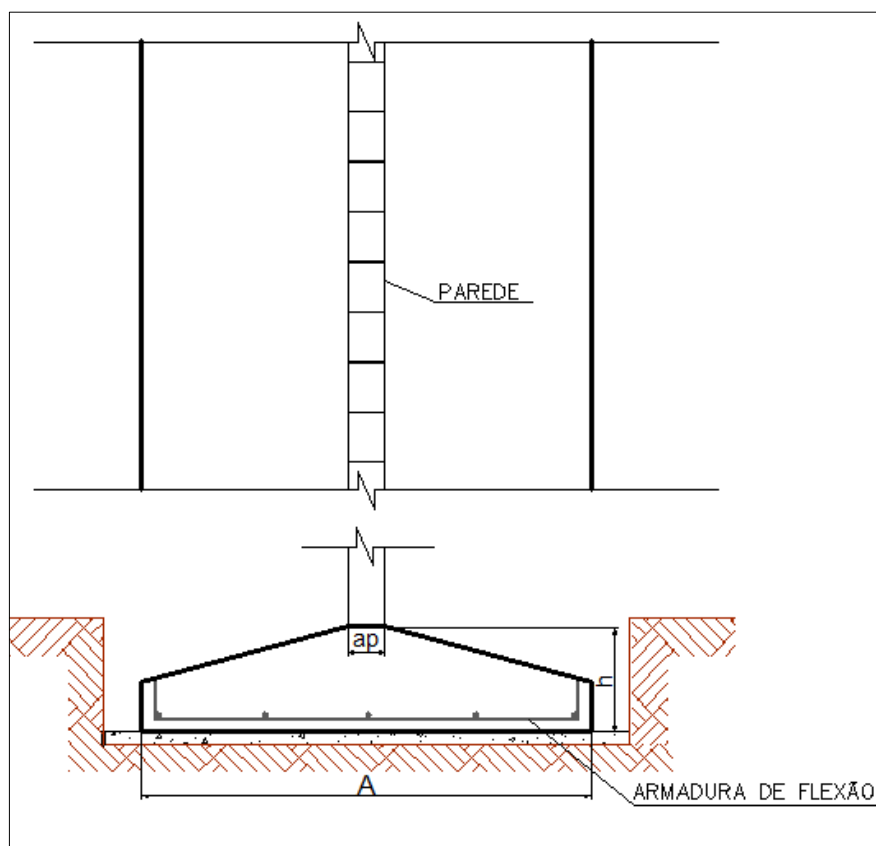


Fonte: Elaboração própria

- **Sapatas contínuas**

As sapatas contínuas diferem das isoladas e associadas por receberem uma carga linearmente distribuída ao invés de cargas concentradas de elementos estruturais verticais, devendo ter a largura mínima de 0,60m. A Figura 3 mostra um exemplo de sapata contínua.

Figura 3 - Exemplo de sapata contínua



Fonte: Elaboração própria

2.2.2 Bloco

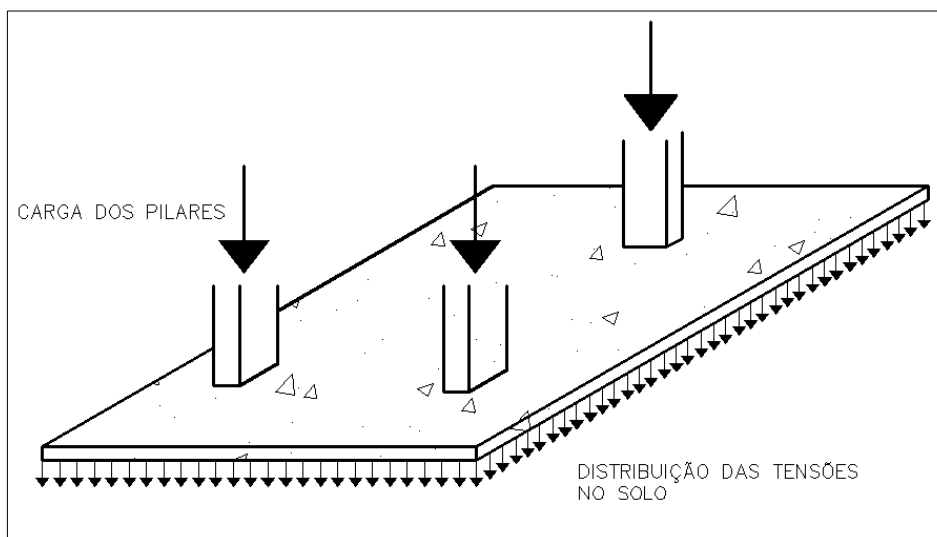
É um elemento de fundação superficial de concreto simples, sem a necessidade de armadura, de modo que as tensões de tração atuantes são tão baixas que podem ser resistidas apenas pelo concreto.

2.2.3 Radier

Conforme descreve a NBR 6122 (ABNT, 2010) “Projeto e Execução de Fundações”, radier é um elemento de fundação superficial que abrange parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos. Segundo Velloso e Lopes (2010, p. 12) “seria interessante adotar as expressões utilizadas na França: *radier parcial*, para o caso de receber parte dos pilares e *radier geral*, para o caso de receber todos os pilares da obra.” Velloso e Lopes (2010, p; 163) orientam ainda que

é aconselhável projetar um radier quando a área de sapatas exceder a metade da área total construída. A Figura 4 exemplifica uma fundação do tipo radier.

Figura 4 - Exemplo de radier



Fonte: Elaboração própria

2.2.4 Grelha

Constitui-se basicamente de um conjunto de vigas que se cruzam perpendicularmente nos pilares. Podem ser utilizadas no lugar de sapatas quando as cargas provenientes dos pilares forem pequenas. Este tipo de fundação não é citada na NBR 6122 (ABNT, 2010).

2.3 Fundações Profundas

As fundações profundas, foco deste trabalho, são aquelas que, além de poderem transmitir as tensões atuantes ao solo através de sua base (resistência de ponta), também podem fazê-lo com o auxílio do atrito lateral (resistência de fuste). A NBR 6122 (ABNT, 2010) caracteriza uma fundação profunda como aquela que apresenta, além das condições de resistência já apresentadas neste parágrafo, profundidade de assente maior do que 2 vezes sua menor dimensão em planta e de, no mínimo, 3,0 metros.

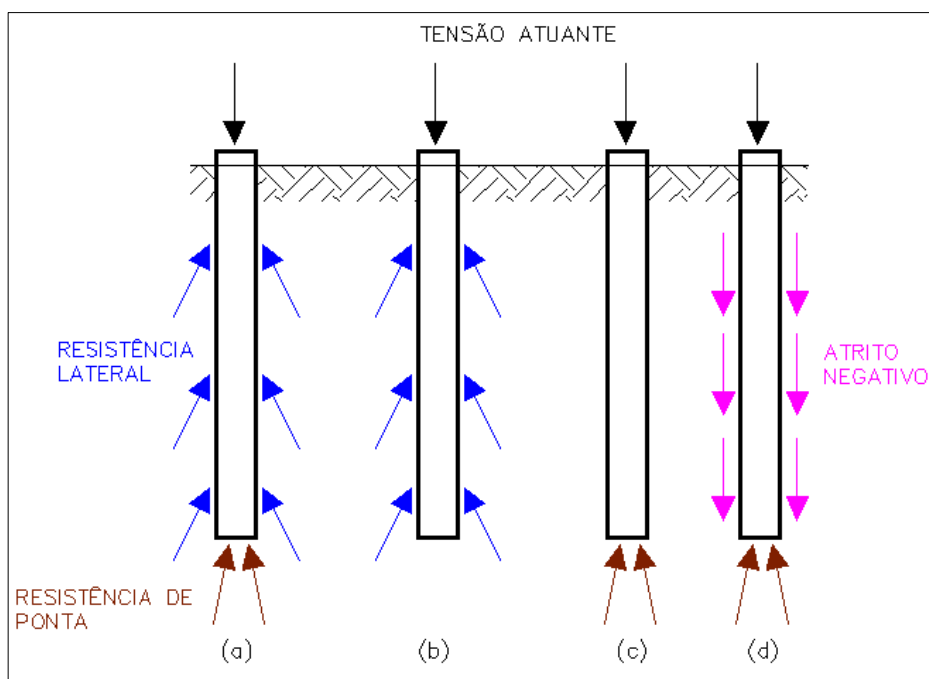
Elementos de fundações profundas são empregados quando o solo da superfície não possui resistência adequada para suportar a carga das construções. Este trabalho exibirá o as principais características de estacas de fundação.

As estacas, podem compor a sua resistência através da soma das resistências de ponta e resistência lateral, no entanto, há casos em que a estaca resistirá apenas por uma ou por outra parcela. Quando uma estaca resiste apenas pela resistência de ponta, a mesma trabalha como um pilar, e deve-se considerar a ação da flambagem. Todavia, quando uma estaca resiste apenas por atrito lateral, ela é chamada de “estaca flutuante”. Existe também um outro fator que precisa ser considerado no cálculo da resistência de uma estaca, o chamado atrito negativo, que acontece quando a estaca encontra-se em um solo adensável, cujo recalque é maior do que o próprio recalque da fundação, fazendo com que o atrito do solo com a fundação force a estaca a penetrar no terreno.

Na Figura 5 são ilustradas as formas de trabalho de uma estaca no solo.

- a) Estaca resistindo pela sua resistência de ponta e pelo atrito lateral;
- b) Estaca flutuante;
- c) Estaca resistindo apenas pela resistência de ponta;
- d) Estaca sofrendo ação do atrito negativo na camada de solo compressível.

Figura 5 - Formas de trabalho de uma estaca



Fonte: elaboração própria

Para a escolha da melhor opção de estaca são necessários estudos por parte dos profissionais responsáveis pelo projeto de fundação. Segundo Reese et al. (2006, p.160, tradução nossa) “Os estudos envolvem fatores relacionados à estrutura, condições de superfície, prática local e requisitos especiais”.

Conforme Velloso e Lopes (2010) pode-se classificar as estacas em dois grandes grupos: as estacas “de deslocamento” e as estacas “de substituição”. Também pode-se classificar estacas em uma categoria intermediária chamada de estacas “sem deslocamento”, quando não há retirada do solo no processo de escavação. A Tabela 1 mostra os tipos de estacas conforme Velloso e Lopes (2010).

Tabela 1 - Tipos de estacas

Tipo de Execução	Estaca
De deslocamento	madeira; pré-moldada de concreto; metálica;
De substituição	estacas escavadas sem auxílio de revestimento strauss hélice contínua
Sem deslocamento	estaca raiz

Fonte: Elaboração própria

2.3.1 Estacas de deslocamento

Também podem ser denominadas de “estacas cravadas”, pois sua aplicação consiste basicamente na cravação da estaca no solo mediante “percussão, prensagem ou vibração” (ALONSO, 1998, p.373). Neste grupo estão inclusas as estacas pré-moldadas de concreto armado, estacas de madeira, estacas de perfis metálicos, entre outras menos utilizadas.

- **Estacas pré-moldadas de concreto armado**

Conforme argumentado por Alonso (1998, p.380) e enfatizado por Velloso e Lopes (2010, p. 197) “de todos os materiais de construção, o concreto é aquele que melhor se presta à confecção de estacas”. Para Alonso (1998, p.380) isso ocorre devido ao “controle de qualidade que se pode exercer, tanto na confecção, como na

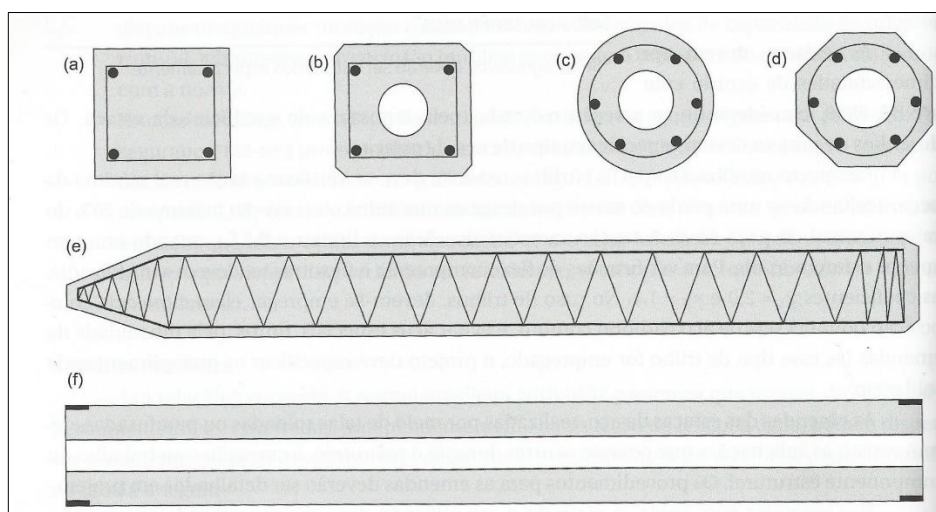
cravação”. Complementando essa afirmação, Velloso e Lopes (2010, p.197) ainda destacam que isso sucede “graças à resistência aos agentes agressivos”

De acordo com o a NBR 6122 (ABNT, 2010), anexo D, as estacas pré-moldadas de concreto podem ser confeccionadas de concreto armado ou protendido e possuir as mais diversas formas de seção transversal, desde que apresentem resistência conforme os esforços de projeto.

A Figura 6 ilustra as seções transversais mais comuns para estacas pré-moldadas de concreto.

- (a) a (d) seções transversais típicas;
- (e) seção longitudinal com armadura típica;
- (f) estaca com furo central e anel de emenda (apenas o concreto representado).

Figura 6 - Estacas pré-moldadas de concreto:



Fonte: Velloso; Lopes (2010. p.198)

O dimensionamento das estacas pré-moldadas de concreto deve ser feito conforme as seguintes normas: NBR 6118 (ABNT, 2014) “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento” e NBR 9062 (ABNT, 2006) “Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

Uma vez que trata-se de uma estrutura pré-fabricada, nenhum agente agressivo do solo influencia na cura do concreto. Além disso, estacas pré-moldadas levam vantagem sobre estacas escavadas quando executadas sobre solos argilosos, onde a concretagem *in loco* pode não ser satisfatória (VELLOSO; LOPES, 2010).

As estacas pré-moldadas de concreto armado podem ser confeccionadas com seções transversais de variadas formas geométricas: seções circulares, quadradas, sextavas, octogonais, etc.

Em geral, as estacas pré-moldadas de concreto armado com seção circular apresentam diâmetros de 23, 26, 33, 38, 42, 50, 60 e 70 cm, enquanto as quadradas e demais seções apresentam dimensões laterais de 16, 18, 20, 23, 26, 30, 33, 35, 38 e 42 cm (Benapar, 2011).

Quanto ao comprimento da estaca, encontra-se no mercado estacas com o comprimento de até 6 m, comprimento maiores inviabilizam o transporte e manuseio da estaca.

Os métodos de capacidade de carga indicam valores de resistência da estaca considerando o seu comportamento quando enterrada no solo, todavia, existem valores de resistência máxima indicadas nas cartilhas técnicas, referentes à resistência do concreto armado como material.

A Tabela 2, mostra valores desta resistência máxima considerando estacas de seção retangular.

Tabela 2 - Resistência máxima de estacas pré-moldadas quadradas de concreto armado

Lado (cm)	Carga máxima estrutural admissível (kN)	Carga máxima estrutural admissível (tf)
15	180	18
28	260	26
23	470	47
28	700	70
33	1000	100
38	1200	120
42	1300	130

Fonte: Elaboração própria adaptado de Benapar (2011)

- **Estacas metálicas**

As estacas metálicas podem ser constituídas por perfis soldados ou laminados com seções I e H ou ainda em chapas dobradas de variadas seções (circular, quadrada, retangular, etc). Trilhos também podem ser utilizados como estacas após

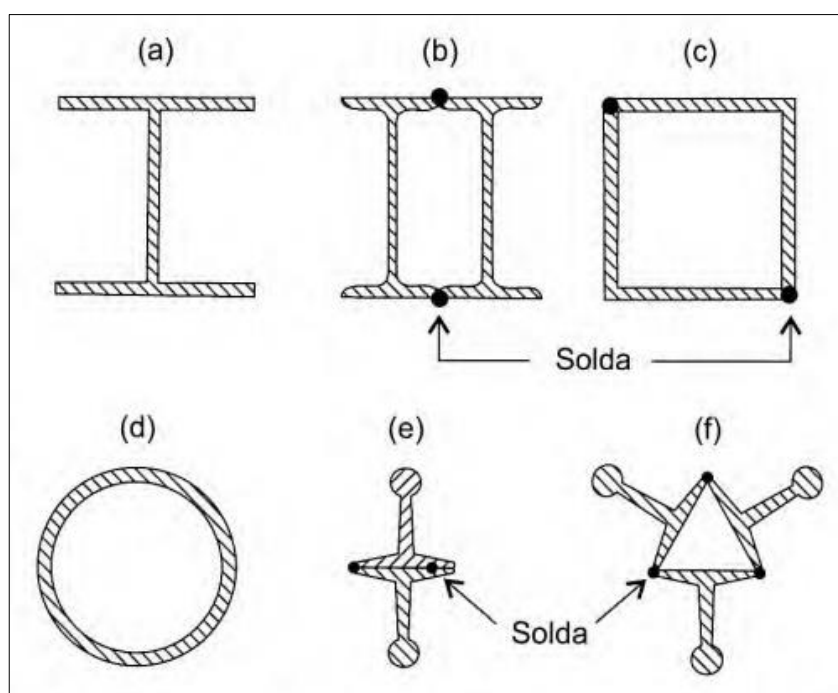
perderem sua utilização em ferrovias, devido ao desgaste. (VELLOSO; LOPES, 2010).

Os trilhos usados e os perfis metálicos podem ser utilizados como peças individuais ou como composição de uma ou mais peças.

Seções típicas de estacas metálicas estão demonstradas na Figura 7, onde pode-se ver:

- a) Perfil de chapas soldadas;
- b) Dois perfis I laminados;
- c) Dois perfis tipo cantoneira;
- d) Tubos;
- e) Trilhos associados duplo;
- f) Trilhos associados triplo.

Figura 7 - Seções típicas de estacas metálicas



Fonte: Veloso; Lopes (2010, p.192)

As estacas metálicas apresentam vantagem em relação às estacas de concreto armado no que se refere ao transporte e à cravação, decorrentes de seu peso relativamente pequeno e de sua elevada resistência ao choque da cravação, respectivamente. Além disso, as estacas metálicas possuem resistência elevada à

compressão e também à tração, diferentemente do concreto, que possui resistência considerada apenas à compressão.

Porém, em nosso país o custo da estrutura metálica ainda é maior do que o da estrutura de concreto armado, o que inviabiliza em certas construções o uso dessa alternativa de estaca.

A corrosão, fator considerável em qualquer tipo de estrutura metálica utilizada, não é questionada quando a estaca encontra-se completamente enterradas em solo natural. Conforme Alonso (1998, p.376) “a quantidade de oxigênio que ocorre nos solos naturais é tão pequena que a reação química tão logo começa já esgota completamente este componente responsável pela corrosão.”

Todavia, a NBR 6122 (ABNT, 2010) exige que seja descontada uma parcela da espessura da peça metálica em contato com o solo, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Espessura de compensação de corrosão

Classe	Espessura mínima de sacrifício mm
Solos em estado natural e aterros controlados	1,0
Argila orgânica; solos porosos não saturados	1,5
Turfa	3,0
Aterros não controlados	2,0
Solos contaminados ^a	3,2

^a Casos de solos agressivos devem ser estudados especificamente.

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2010)

Trilhos e perfis podem ser usados como estacas de fundação, nas Tabelas 4 e 5 apresentam-se, respectivamente perfis I e trilhos disponíveis no mercado, juntamente com suas cargas admissíveis máximas.

Tabela 4 - Perfis I disponíveis para uso como estaca de fundação

Perfil (mm x kg/m)	Carga Admissível (tf)	Perfil (mm x kg/m)	Carga Admissível (tf)
W 310 x 21,0	22	W 460 x 52,0	81
W 310 x 23,8	29	W 460 x 60,0	100
W 310 x 28,3	41	W 460 x 68,0	126
W 310 x 32,7	54	W 460 x 74,0	137
W 310 x 38,7	61	W 460 x 82,0	160
W 310 x 44,5	77	W 460 x 89,0	181
W 310 x 52	101	W 460 x 97,0	208
W 360 x 32,9	45	W 460 x 106,0	232
W 360 x 39,0	62	W 530 x 66,0	104
W 360 x 44,0	73	W 530 x 72,0	116
W 360 x 51,0	88	W 530 x 74,0	129
W 360 x 57,8	106	W 530 x 82,0	143
W 360 x 64,0	123	W 530 x 85,0	156
W 360 x 72,0	146	W 530 x 92,0	171
W 360 x 79,0	167	W 530 x 101,0	200
W 410 x 38,8	54	W 530 x 109,0	223
W 410 x 46,1	73	W 610 x 101,0	183
W 410 x 53,0	88	W 610 x 113,0	216
W 410 x 60,0	104	W 610 x 125,0	249
W 410 x 67,0	128	W 610 x 140,0	294
W 410 x 75,0	150	W 610 x 155,0	320
W 410 x 85,0	181	W 610 x 174,0	378

Fonte: Elaboração própria baseada em Gerdau (2008)

Tabela 5 - Trilhos disponíveis para uso como estaca de fundação

Denominação	Massa (kg/m)	Carga admissível
TR 25	25	25 *(20)
TR 32	32	35 *(25)
TR 37	37	40 *(30)
TR 45	45	45 *(35)
TR 50	50	55 *(40)
TR 57	57	60 *(45)

Fonte: Benapar (2011)

* Os valores entre parênteses referem-se a trilhos usados com redução máxima de peso de 20%.

O dimensionamento das estacas metálicas deve ser feito conforme a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

- **Estacas de Madeira**

As estacas de madeira sempre foram utilizadas na construção civil (ALONSO, 1998). No Brasil, são usualmente utilizadas em obras provisórias, sendo mais comuns em obras permanentes nos Estados Unidos e na Europa.

Um fator determinante na execução de estacas de madeira é a variação do nível da água. Segundo Alonso (1998, p.374) “quando submetida à variação de nível d’água, apodrece por ação de fungos aeróbicos que se desenvolvem no ambiente água-ar”. Por isso, este tipo de estaca deve sempre ser executada completamente submersa.

A NBR 6122 (ABNT, 2010) exige que, quando forem utilizadas estacas de madeira em obras permanentes, as mesmas deverão ser protegidas contra ataques de fungos e/ou bactérias aeróbicas. Tratamentos com creosoto, proveniente da destilação do carvão ou do asfalto, têm mostrado eficiência maior do que sais à base de zinco, mercúrio e cobre (ALONSO, 1998).

A NBR 6122 (ABNT, 2010), em suas recomendações, afirma que a ponta e o topo da estaca devem ter diâmetros maiores do que 15 cm e 25 cm, respectivamente. Afirma ainda que o topo das estacas deve ser protegido por capacetes para evitar danos durante a cravação e as pontas protegidas por ponteiras de aço quando tiverem de atravessar camadas de solo resistente

2.3.2 Estacas de substituição

As estacas de substituição diferem-se das estacas de deslocamento por haver a retirada de solo da perfuração, para que seja feita a concretagem *in situ* da fundação.

Existem diversas metodologias de execução desta modalidade de estaca, pode-se executar a perfuração com trado manual, mecânico ou perfuratriz. Também há ocasiões em que a colocação da armadura é feita antes da concretagem, e

outras em que é feita após (hélice contínua). Igualmente, há casos em que a escavação necessita de auxílio de revestimento e outros em que esse recurso é desnecessário.

- **Estacas escavadas sem auxílio de revestimento ou fluido estabilizante**

Executa-se este tipo de estaca com trado manual ou mecânico, fazendo-se a remoção do material de escavação e, logo após, a concretagem *in loco*. (VELLOSO; LOPES, 2010). São comumente utilizadas em ocasiões em que a base deve ficar acima no nível da água.

As estacas escavadas podem apresentar diâmetros de até 2,50 m e grandes profundidades, dependendo do equipamento usado.

A NBR 6122 (ABNT 2010) exige que a colocação da armadura projetada à flexão seja efetuada antes da concretagem, que, por sua vez, deve ser realizada no mesmo dia da perfuração.

- **Estaca Strauss**

Consiste em posicionar um tubo de revestimento no interior do solo através de percussão ou escavação. O tubo deve ser preenchido com “75 cm de concreto úmido, que se apiloa à medida que se vai retirando o tubo”. (VELLOSO; LOPES, 2010, p. 205). Repete-se este processo até um pouco acima da cota de arrasamento, para a garantia de qualidade do concreto e, após isso, pode ser colocada armadura de flexão, composta por barras longitudinais e estribos.

Não é recomendado seu uso em argilas saturadas e areias submersas, devido ao risco de seccionamento do fuste. Por isso, este é outro tipo de estaca onde recomenda-se a utilização apenas acima do nível da água.

Mas por se tratar de uma estaca de simples execução, representa ausência de trepidações no solo e em prédios vizinhos, além de possibilitar a concretagem em áreas próximas à divisa e a montagem do equipamento em pequenos locais (FALCONI; FILHO; FÍGARO, 1998).

A estaca Strauss é uma das que está há mais tempo em uso no país, por isso sua importância em estar presente nas opções de dimensionamento da ferramenta computacional.

As recomendações de carga máxima de acordo com o diâmetro encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Cargas admissíveis para estaca Strauss

Diâmetro da estaca acabada (cm)	Carga admissível (tf)
25	20
32	30
38	40
45	60

Fonte: Elaboração própria adaptado de Fxsondagens (2012)

- **Estaca Hélice contínua**

A estaca hélice contínua é uma estaca moldada *in loco* através da introdução no terreno de um trado helicoidal, que injeta concreto na perfuração por intermédio de sua haste central.

Este tipo de estaca surgiu nos Estados Unidos, sendo difundida logo após por toda Europa e Japão, e utilizada no Brasil a partir da década de 1980.

Conforme Barros (2012, p.33) “a estaca hélice contínua tem sido bem aceita no mercado por apresentar inúmeras vantagens, e a cada dia ganha mais espaço nas obras de fundações”.

De acordo com Antunes e Tarozzo (1998, p. 345) “as fases de execução da estaca Hélice Contínua são: perfuração, concretagem simultânea à extração da hélice do terreno e colocação da armação”.

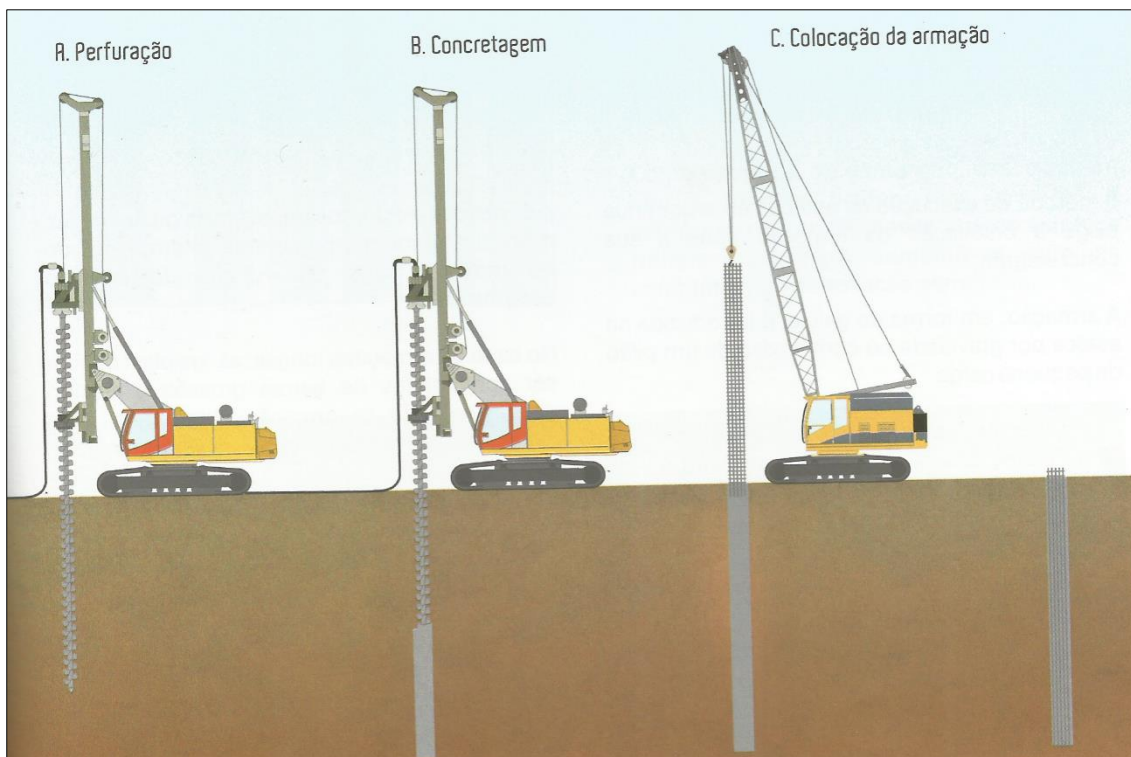
Como o próprio nome já diz, a perfuração ocorre de forma contínua, sem a retirada da hélice do solo, isso garante a principal virtude deste tipo de estaca: permitir a execução tanto em solos coesivos como em solos arenosos, por evitar alívios significativos de tensões no interior do solo (ANTUNES, TAROZZO, 1998).

Logo após a retirada da hélice e concretagem simultâneas, é adicionada a armadura de flexão à estaca. A “gaiola” de armadura, como é chamada, pode ser

introduzida manualmente, com o auxílio de pesos ou de vibrador (VELLOSO; LOPES, 2010).

A Figura 8 mostra, de forma simples, as etapas de execução deste tipo de estaca. Já a Figura 9, retrata um caso real de execução deste tipo de estaca.

Figura 8 - Execução de estaca hélice contínua



Fonte: Fundesp (2012)

Figura 9 - Estaca hélice contínua sendo executada em obra



Fonte: Fundesp (2012)

As estacas do tipo hélice-contínua vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado brasileiro, por isso a presença de seus principais dados na memória do software é de grande importância para futuros resultados.

Os diâmetros usuais de estaca hélice-contínua são de 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 cm e a profundidade pode chegar a 32 m (GEOFUND; 2012). Salienta-se que quanto maior o diâmetro da estaca, maior terá que ser o torque aplicado pelo equipamento para realizar a perfuração.

A Tabela 7 apresenta valores de cargas máximas admissíveis e armaduras comuns para a execução de estacas do tipo hélice-contínua.

Tabela 7 - Cargas máximas admissíveis e armaduras para hélice-contínua

ϕ (cm)	Cargas máximas admissíveis (tf)	Armadura para carga de trabalho	Estribos
35	87,50	4 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
40	100,00	4 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
50	125,00	5 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
60	150,00	6 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
70	175,00	6 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
80	200,00	8 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
90	225,00	10 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm
100	250,00	12 ϕ 16mm c/6,00 m	ϕ 6,3mm c/20cm

Fonte: Geofund (2012)

2.3.3 Estacas sem deslocamento

- **Estaca Raiz**

Estaca raiz é um tipo de estaca moldada *in loco*, onde segmentos metálicos recuperáveis revestem por inteiro a perfuração no solo. (NBR 6122, ABNT, 2010).

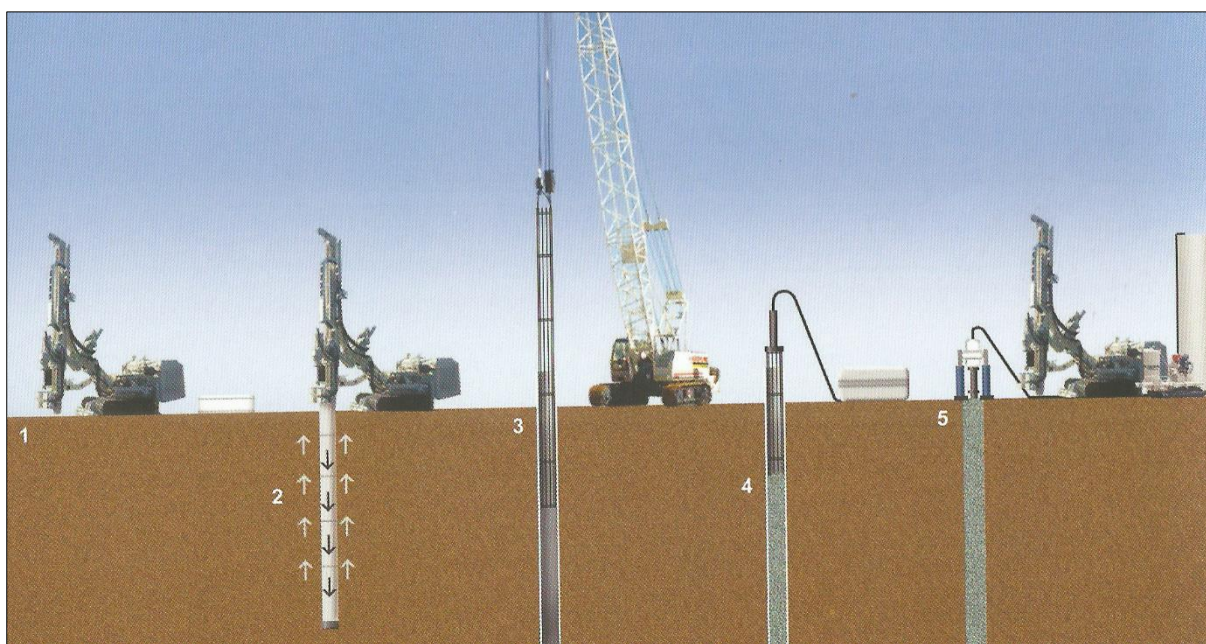
De acordo com Alonso (1998), a sua execução compreende quatro fases:

- a) Perfuração auxiliada por circulação de água;
- b) Instalação da armadura;
- c) Preenchimento com argamassa;
- d) Remoção do revestimento e aplicação de golpes de ar comprimido.

A Figura 10 representa a execução de uma estaca raiz.

- (1) Posicionamento da perfuratriz;
- (2) Perfuração com descida dos tubos;
- (3) Colocação da armadura;
- (4) Injeção de argamassa;
- (5) Retirada dos tubos de revestimento.

Figura 10 - Execução de estaca raiz



Fonte: Geofund (2012, p. 43)

A tecnologia empregada na execução da estaca raiz, permite que sejam executadas estacas na direção vertical ou inclinadas, resistindo inclusive a solicitações de tração. (FUNDESP, 2012).

A Tabela 8 apresenta os valores de carga máxima admissível na estaca como material estrutural.

Tabela 8 - Cargas admissíveis para estaca raiz

Diâmetro Nominal (mm)	120	160	200	250	310	400	500
Diâmetro externo revestimento (mm)	114	140	168	220	275	355	406
Diâmetro externo estribo (mm)	MONOBARRA	MONOBARRA	110	155	200	280	330
Diâmetro em rocha (mm)		101	127	178	228	305	355
SEÇÃO DE AÇO LONGITUDINAL (cm²)	CARGAS MÁXIMAS À COMPRESSÃO (kN)						

Diâmetro Nominal (mm)	120	160	200	250	310	400	500
Diâmetro externo revestimento (mm)	114	140	168	220	275	355	406
Diâmetro externo estribo (mm)	MONOBARRA	MONOBARRA	110	155	200	280	330
Diâmetro em rocha (mm)		101	127	178	228	305	355
SEÇÃO DE AÇO LONGITUDINAL (cm ²)	CARGAS MÁXIMAS À COMPRESSÃO (kN)						
3,15	180	230	290	440	640	1010	1260
3,88	200	250	310	460	660	1030	1280
4,00	200	250	310	470	660	1040	1280
5,00	220	280	340	490	690	1060	1310
6,00	250	300	360	520	710	1090	1330
6,30	260	310	370	520	720	1090	1340
7,70	290	340	410	560	760	1130	1380
8,00	300	350	410	570	760	1140	1380
9,45		390	450	600	800	1170	1420
10,00		400	460	620	810	1190	1430
11,64			500	660	850	1230	1480
12,00				670	860	1240	1490
12,60				680	880	1250	1500
14,00				720	910	1290	1540
15,00					940	1310	1560
15,52					950	1330	1570
15,75					960	1330	1580
18,90					1040	1410	1660
19,40							1670
20,00							1690
22,05							1740
23,28							1770
25,00							1810
27,16							1870
30,00							1940

Fonte: Elaboração própria baseada em Benapar (2011)

2.4 Ensaios de investigação geotécnica

Para o desenvolvimento de projetos de fundações profundas, são necessários, obviamente, conhecimentos acerca da resistência e das principais características do solo.

Estes conhecimentos podem ser adquiridos através de ensaios *in situ* ou de ensaios de laboratório, no entanto, Quaresma et al. (1998) afirmam que na prática, há predominância dos ensaios *in situ*.

Neste trabalho, serão introduzidos os seguintes ensaios:

- a) Ensaio *Standard Penetration Test* (SPT);
- b) Ensaio de penetração de cone e piezocone (CPT e CPT-U);

c) Ensaio de Palheta (*Vane Test*).

2.4.1 Ensaio Standard Penetration Test – SPT

Quaresma et al. (1998, p. 119) atestam que “o SPT é, de longe, o ensaio mais executado na maioria dos países do mundo, e também no Brasil.” O baixo custo e a facilidade de execução em locais de difícil acesso contribuem para a veracidade da afirmação de Quaresma et al. Porém, os resultados dependem dos cuidados dos operadores e das condições do equipamento.

O ensaio SPT é normatizado pela ABNT através da NBR 6484 (ABNT 2001) “Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio”. Neste ensaio, determina-se o índice de resistência à penetração do amostrador “ N_{SPT} ”, a posição do nível da água no solo e a estratificação do solo, através da retirada de amostras.

O ensaio consiste na cravação no solo de um amostrador de 45cm de comprimento por meio de um martelo de 65 kg, solto de uma altura de 75cm acima do amostrador. Conta-se o número de golpes necessários para penetrar cada parcela de 15 cm do amostrador, e o índice de resistência à penetração “ N_{SPT} ” será a soma dos números de golpes necessários para cravar os últimos 30cm do amostrador no solo.

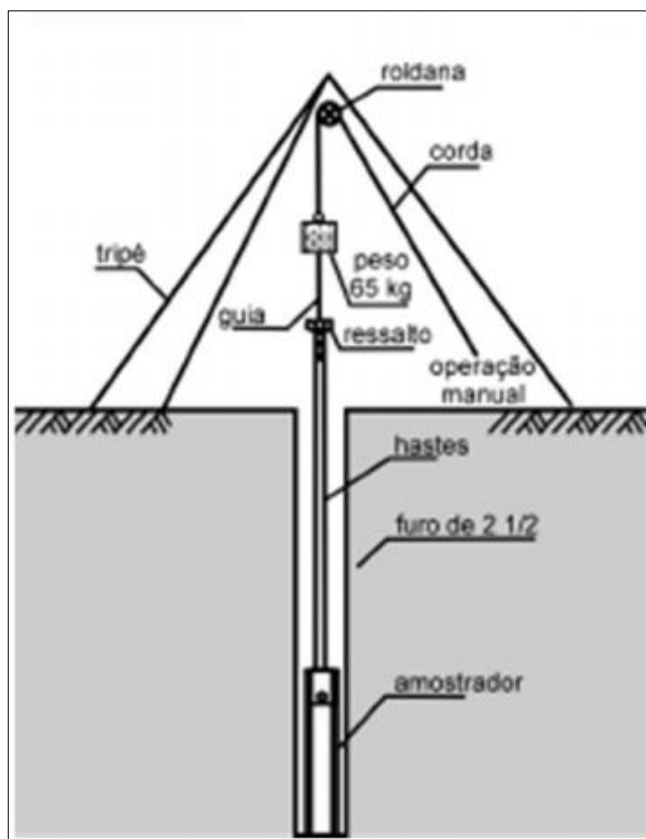
O ensaio é realizado a cada metro, sendo os 55cm de solo faltantes retirados com trépano de lavagem. Deve-se ressaltar que, conforme a NBR 6484 (ABNT 2001) “a sondagem deve ser iniciada com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até a profundidade de 1 m”

O procedimento de cravação do amostrador, retirada da amostra e lavagem com trépano repete-se até verifique-se as seguintes condições da NBR 6484:

- a) Quando, em 3 m sucessivos, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador;
- b) Quando, em 4 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador;
- c) Quando, em 5 m sucessivos, se obtiver 50 golpes para a penetração dos 45 cm do amostrador.

A Figura 11 ilustra os equipamentos utilizados no ensaio SPT.

Figura 11 - Equipamento utilizado no ensaio SPT



Fonte: Baroni (2014, não paginado)

A Figura 12 demonstra a execução do ensaio SPT em campo.

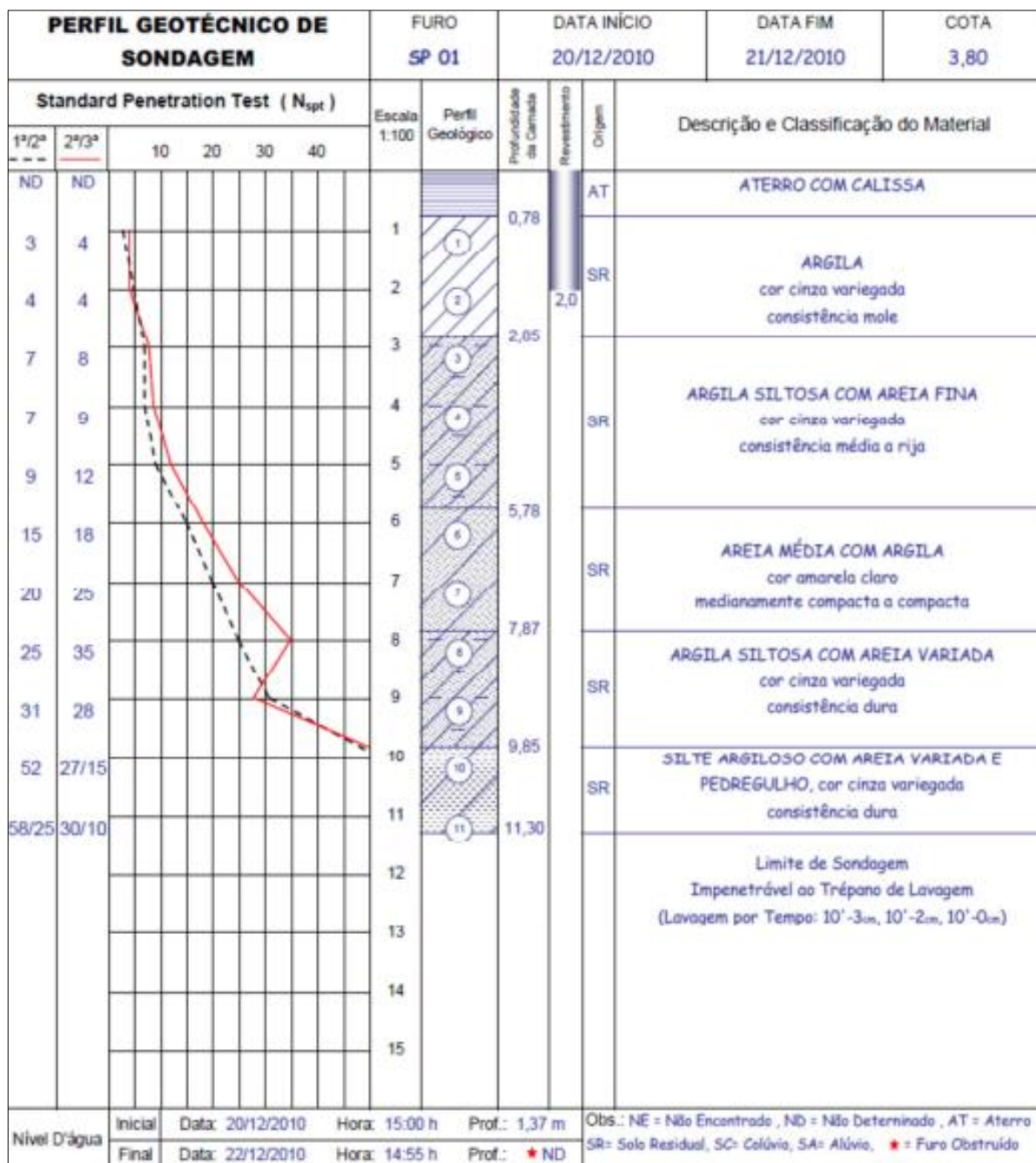
Figura 12 - Execução do ensaio SPT



Fonte: Ação engenharia (2011, não paginado)

Já a Figura 13 apresenta um modelo de relatório final de sondagem.

Figura 13 - Relatório de sondagem SPT



Fonte: Baroni (2014, não paginado)

2.4.2 Ensaio de Cone (CPT) e Piezocone (CPT-U)

O ensaio de cone surgiu na Holanda durante a década de 1930 para a análise de solos moles, e consiste na cravação de uma haste com a ponta em forma de cone (área = 10cm²), a uma velocidade de 2 cm/s, recebendo também a

denominação de “ensaio de penetração estática” ou “quase estática” (QUARESMA et al, 1998; VELLOSO; LOPES, 2010).

A ponta do cone mede, durante a cravação, a parcela da resistência de ponta q_c , enquanto a parcela de atrito lateral τ_c ou f_s é medida através de um equipamento chamado “luva de atrito”, acoplado ao cone. Este tipo de cone é conhecido como “cone de Vermeiden” ou “cone de Begemann” e as cargas são medidas por sistemas mecânicos ou hidráulicos e por isso são denominados de “cones mecânicos” (VELLOSO; LOPES, 2010).

Durante a década de 1970 desenvolveu-se os chamados “cones elétricos”, onde as medições das cargas ocorrem com o advento de células de carga elétrica no cone. Após isso, na década de 1980, adicionou-se também um medidor de pressão da água, colocado próximo à ponta do cone, que veio a ser chamado de piezocone (CPT-U). (QUARESMA et al, 1998; VELLOSO; LOPES, 2010).

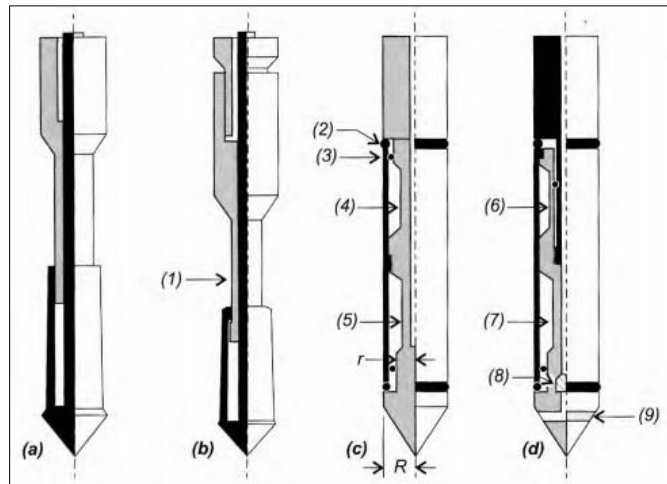
Com o piezocone, além das parcelas de resistência de ponta e atrito lateral, informa-se também, pelo equipamento, a posição do nível da água no solo.

Na Figura 14 ilustram-se os principais tipos de cones utilizados:

- a) Penetrômetro de Delft (mais antigo);
- b) Penetrômetro de Begemann;
- c) Cone elétrico;
- d) Piezocone (modelo usado pela COPPE-UFRJ).

Ilustra-se, ainda: (1) luva de atrito; (2) anel de vedação do solo; (3) anel de vedação de água; (4) célula de carga total; (5) célula de carga de ponta; (6) célula de carga de atrito; (7) célula de carga de ponta; (8) medidor de poropressão e (9) elemento poroso.

Figura 14 - Tipos de cone

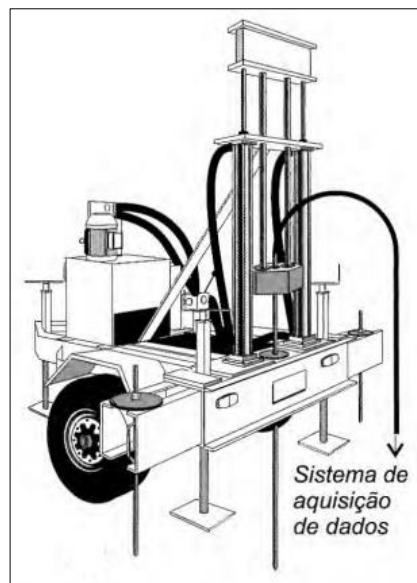


Fonte: Velloso e Lopes (2010, p. 43)

O registro contínuo da resistência à penetração e a exclusão de qualquer influência por parte dos executores são atrativos destes ensaios. Mas o custo mais elevado em comparação com o ensaio SPT é um fator desfavorável. (BARONI, 2014)

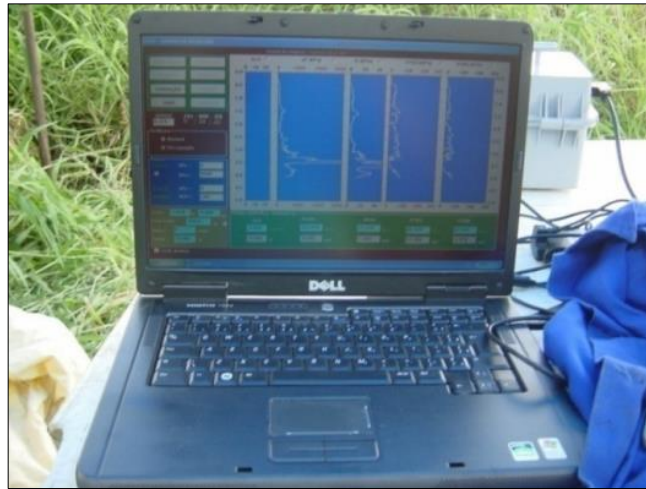
As Figuras 15, 16 e 17 exibem, respectivamente, exemplos de sistema de aquisição de dados do ensaio de cone, de processamento e análise de dados do ensaio e de relatório de resultados de resistência lateral, resistência de ponta e poropressões relacionadas com a profundidade.

Figura 15 - Sistema de aquisição de dados do ensaio de cone



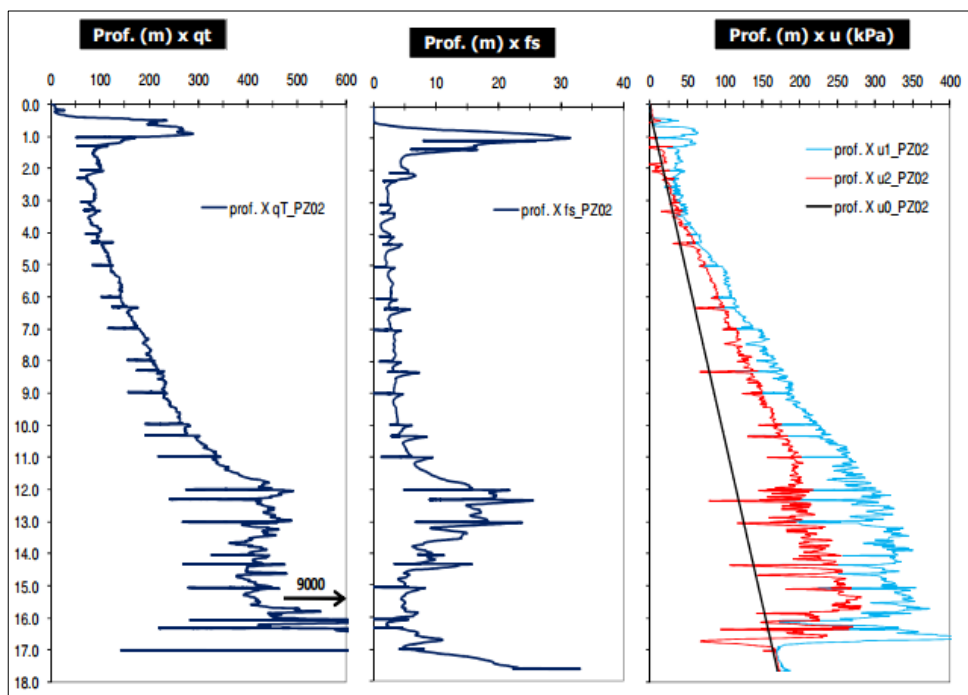
Fonte: adaptado de Velloso e Lopes (2010, p. 43)

Figura 16 - Processamento e análise de dados do ensaio piezocone



Fonte: Baroni (2014, não paginado)

Figura 17 - Relatório de resultados do ensaio de piezocone.



Fonte: Baroni (2014, não paginado)

2.4.3 Ensaio de Palheta (Vane test)

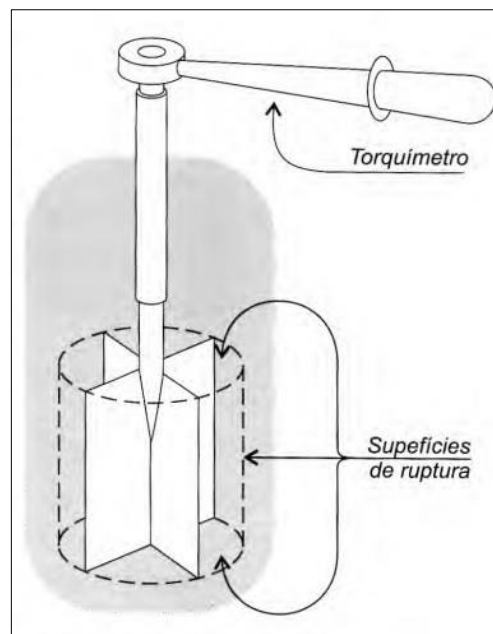
O ensaio é utilizado para calcular a resistência não drenada S_u em argilas moles.

Foi realizado pela primeira vez em Estocolmo, na Suécia, durante a construção de uma ponte entre os anos de 1917 e 1926. No entanto, apenas depois da década de 1940 foi que o interesse no ensaio cresceu na Europa. (QUARESMA et al, 1998).

Quatro lâminas, fabricadas com aço de alta resistência e formando ângulos retos entre si, são cravadas no solo e o cisalham, formando uma superfície de cisalhamento em forma de cilindro, com altura “h” e e diâmetro “d”. Mede-se, então, o torque em função da rotação da palheta. (BARONI, 2014).

Na Figura 18 mostra-se a palheta formando a superfície de ruptura do solo.

Figura 18 - Palheta e sua superfície de ruptura



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Conforme Velloso e Lopes (2010, p. 45) “a versão mais simples da fórmula de interpretação é aquela que supõe que a resistência é a mesma em todas as superfícies de ruptura”.

$$S_u = \frac{M}{\pi * \left(\frac{d^2 * h}{2} + \frac{d^3}{6} \right)} \quad (1)$$

2.5 Métodos de cálculo da capacidade de carga de fundações profundas

Existem dois tipos de métodos para cálculo da capacidade de carga axial de fundações profundas: os métodos “teóricos”, que utilizam soluções teóricas de acordo com o solo, e os métodos “semiempíricos”, que baseiam-se em *ensaios in situ*. (VELLOSO; LOPES, 2010)

Em todos os casos, a resistência total da estaca é dada como sendo a soma das parcelas de resistência por atrito lateral e de resistência de ponta.

Este trabalho utilizará como metodologia os métodos semiempíricos desenvolvidos por Aoki-Velloso (1975) e Décourt-Quaresma (1978).

2.5.1 Método de Aoki-Velloso (1975)

Método baseado em resultados de resistência do ensaio de Cone (CPT), foi apresentado por Aoki e Velloso em 1975 no V Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações (DÉCOURT, ALBIERO; CINTRA, 1998).

A resistência total pode ser definida como a soma das parcelas de resistência lateral e resistência de ponta.

A resistência lateral é dada pela equação abaixo:

$$R_L = \sum \alpha_i * k_i * N_m * P * \frac{\Delta L}{F_2} \quad (2)$$

Onde:

α_i = razão de atrito na camada i

k_i = coeficiente de correlação do ensaio de cone na camada i;

N_m = valor de N_{SPT} médio na camada i;

ΔL = comprimento da estaca na camada i;

F_2 = coeficiente de correlação de resistência levando em conta a diferença de comportamento entre a estaca e o ensaio de cone.

Na Tabela 9 apresenta-se os valores de k e α .

Tabela 9 - Valores de k e α para o método de Aoki-Velloso

Tipo de Solo	K (MPa)	α_i %
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia silto-argilosa	0,70	2,4
Areia-argilosa	0,60	3,0
Areia argilosa-siltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte areno-argiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argilo-arenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila areno-siltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila silto-arenosa	0,33	3,0

Fonte: Elaboração própria baseada em Aoki e Velloso (1975)

A resistência de ponta é dada pela seguinte equação:

$$R_p = \sum K * N_B * \frac{A_b}{F_1} \quad (3)$$

Onde:

K = coeficiente de correlação com os resultados de cone;

N_B = valor de N_{SPT} na base (ponta) da estaca;

A_b = área da base (ponta) da estaca;

F_1 = coeficiente de correlação de resistência levando em conta a diferença de comportamento entre a estaca e o ensaio de cone.

Na Tabela 10 apresenta-se os valores de F_1 e F_2 .

Tabela 10 - Valores de F_1 e F_2 para o método de Aoki-Velloso

Tipo de Estaca	F_1	F_2
Franki de fuste apilado	2,3	3
Franki de fusta vibrado	2,3	3,2
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto cravada à percussão	2,5	3,5
Pré-moldada de concreto cravada à prensagem	1,2	2,3
Escavada com lama betonítica	3,5	4,5
Raiz	2,2	2,4
Strauss	4,2	3,9
Hélice contínua	3	3,8

Fonte: Elaboração própria baseada em Baroni (2013)

2.5.2 Método de Décourt-Quaresma (1978)

Foi desenvolvido originariamente para estacas de deslocamento (cravadas), onde os valores de resistência de ponta Q_p , e resistência lateral Q_L , são obtidos em valores de N_{SPT} medidos no ensaio SPT (DÉCOURT, ALBIERO; CINTRA, 1998).

A resistência de ponta é dada pela equação abaixo:

$$Q_p = \alpha * K * \overline{N_p} * A_p \quad (4)$$

Onde:

α = coeficiente de ponderação;

K = coeficiente em função do tipo de solo;

N_p = média dos valores medidos na ponta da estaca e imediatamente acima e abaixo da ponta da estaca;

A_p = área da base da estaca;

A resistência lateral é dada pela seguinte fórmula:

$$Q_L = 10 * \beta * \left(\frac{\overline{N}_l}{3} + 1 \right) * U * L \quad (5)$$

Onde:

β = coeficiente de ponderação

N_l = valor de N_{SPT} na profundidade considerada;

U = perímetro da seção transversal do fuste;

L = comprimento da estaca.

Nas Tabelas 11 e 12 mostra-se os valores de K , α e β para o método de Décourt-Quaresma.

Tabela 11 - Valores de K para o método de Décourt-Quaresma

TIPO DE SOLO	K (tf/m ²)
Argila	12
Silte argiloso	20
Silte arenoso	25
Areia	40

Fonte: Décourt e Quaresma (1978)

Tabela 12 - Valores de α e β para o método de Décourt-Quaresma

Tipo de Estaca	Escavada sem lama		Escavada com lama		Hélice contínua		Estaca Raiz		Microestacas	
	α	β	α	β	α	β	α	β	α	β
Argilas	0,85	0,8	0,85	0,9	0,3	1	0,85	1,5	1	3
Siltes	0,6	0,65	0,6	0,75	0,3	1	0,6	1,5	1	3
Areias	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	1	0,5	1,5	1	3

Fonte: Elaboração própria baseada em Baroni (2013)

2.6 Linguagem de programação

A escolha da linguagem de programação é um passo importante para o desenvolvimento do software de cálculo, uma vez que todas as informações sobre solos e estacas serão interpretadas através da linguagem escolhida.

2.6.1 Tipos de linguagem de programação

Há três grandes tipos de linguagem de programação: linguagens de máquina, linguagens assembly e linguagens de alto nível (DEITEL; DEITEL, 2005).

As linguagens de máquina, são aquelas constituídas de sequências de números, e são diferentes de computador para computador. As linguagens assembly surgiram quando programadores começaram a usar abreviações de palavras como operadores, surgindo uma linguagem mais rápida e com programas tradutores, para traduzir a linguagem assembly em linguagem de máquina. Por último, as linguagens de alto nível são aquelas que permitem a utilização de instruções comuns de notações matemáticas e da língua inglesa. (DEITEL; DEITEL, 2005).

2.6.2 Linguagem Java

Atualmente há centenas de linguagens de programação em uso. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi escolhida a linguagem de programação Java, devido à grande quantidade de referências sobre o assunto, à amplitude de utilização mundial e a sua aplicabilidade em diversos tipos de plataformas computacionais (DEITEL; DEITEL, 2005).

Java é uma linguagem de alto nível baseada em outra linguagem de programação: a C++, e foi utilizada nos primeiros anos de sua criação, basicamente, para ajudar no desenvolvimento de navegadores, no início da era da World Wide Web (DEITEL; DEITEL, 2005).

Conforme Silveira et al (2012, p. 9) a linguagem Java é **“mais que uma linguagem de programação, Java é uma completa plataforma de desenvolvimento e execução.”**

Uma vantagem do Java em relação à linguagem C++ é sua portabilidade: a linguagem C++ não pode ser executada em sistemas operacionais diferentes sem recompilação, enquanto a linguagem Java gera um executável para uma máquina virtual Java (JVM) capaz de executar o mesmo código tanto em *Windows* como em *Linux* (SILVEIRA et al. 2012).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho divide-se na exposição dos materiais utilizados e nos métodos de aplicação destes materiais.

3.1 Materiais

A seguir apresenta-se os principais materiais adotados para a execução das diversas etapas deste trabalho.

3.1.1 Livros, artigos técnicos e catálogos comerciais

Por intermédio de pesquisa bibliográfica em livros, artigos, dissertações, teses e catálogos de empresas buscou-se os conhecimentos necessários à execução de todas as fases de desenvolvimento e aplicação do software para o dimensionamento da capacidade de carga de fundações profundas.

Através da leitura, adquiriu-se informações técnicas relacionadas a:

- (a) Tipos de fundações;
- (b) Tipos de ensaios de reconhecimento do solo;
- (c) Metodologias de cálculo de capacidade de carga de fundações profundas.

3.1.2 Boletins de sondagem SPT

O boletim de sondagem SPT contém as informações necessárias ao preenchimento das primeiras etapas da ferramenta de cálculo computacional.

3.1.3 Planilhas de Excel

Para verificar-se os cálculos realizados pela ferramenta computacional, utilizou-se planilhas no software Microsoft Office Excel.

3.1.4 Computadores, linguagens de programação

O trabalho foi integralmente desenvolvido em meio digital. Todas as etapas do desenvolvimento serão operadas por intermédio de *laptops* ou *desktops*.

3.1.5 Linguagem Java de programação

Para o desenvolvimento do software de cálculo, utilizou-se a linguagem de programação Java para ambientes *desktops*, a qual é indicada para desenvolver sistemas compatíveis com inúmeras plataformas.

3.2 Métodos

Os métodos consistem na forma de utilização dos materiais descritos.

3.2.1 Revisão da literatura

Os conhecimentos adquiridos por intermédio da revisão da literatura técnica foram imprescindíveis para a determinação do foco do trabalho em fundações profundas. Estes conhecimentos estarão inclusos em todas as etapas do desenvolvimento da ferramenta computacional.

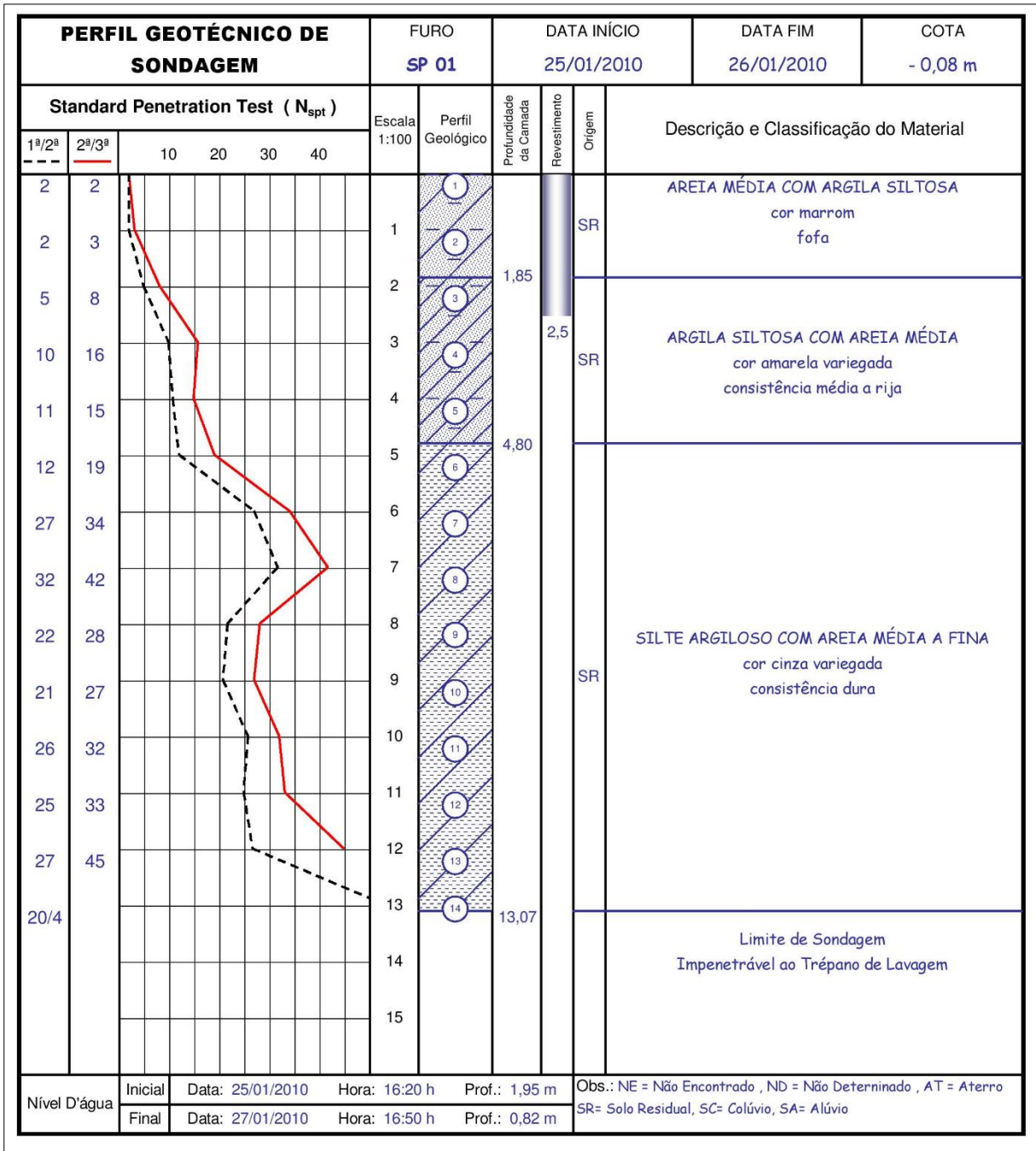
3.2.2 Boletins de sondagens

Para a utilização dos dados dos boletins de sondagem, primeiramente foram implementadas as características dos solos correspondentes aos valores das Tabelas 3 à 6 à biblioteca da ferramenta computacional.

Estes valores serão automaticamente aplicados ao cálculo do dimensionamento conforme o preenchimento das informações do boletim de sondagem pelo usuário.

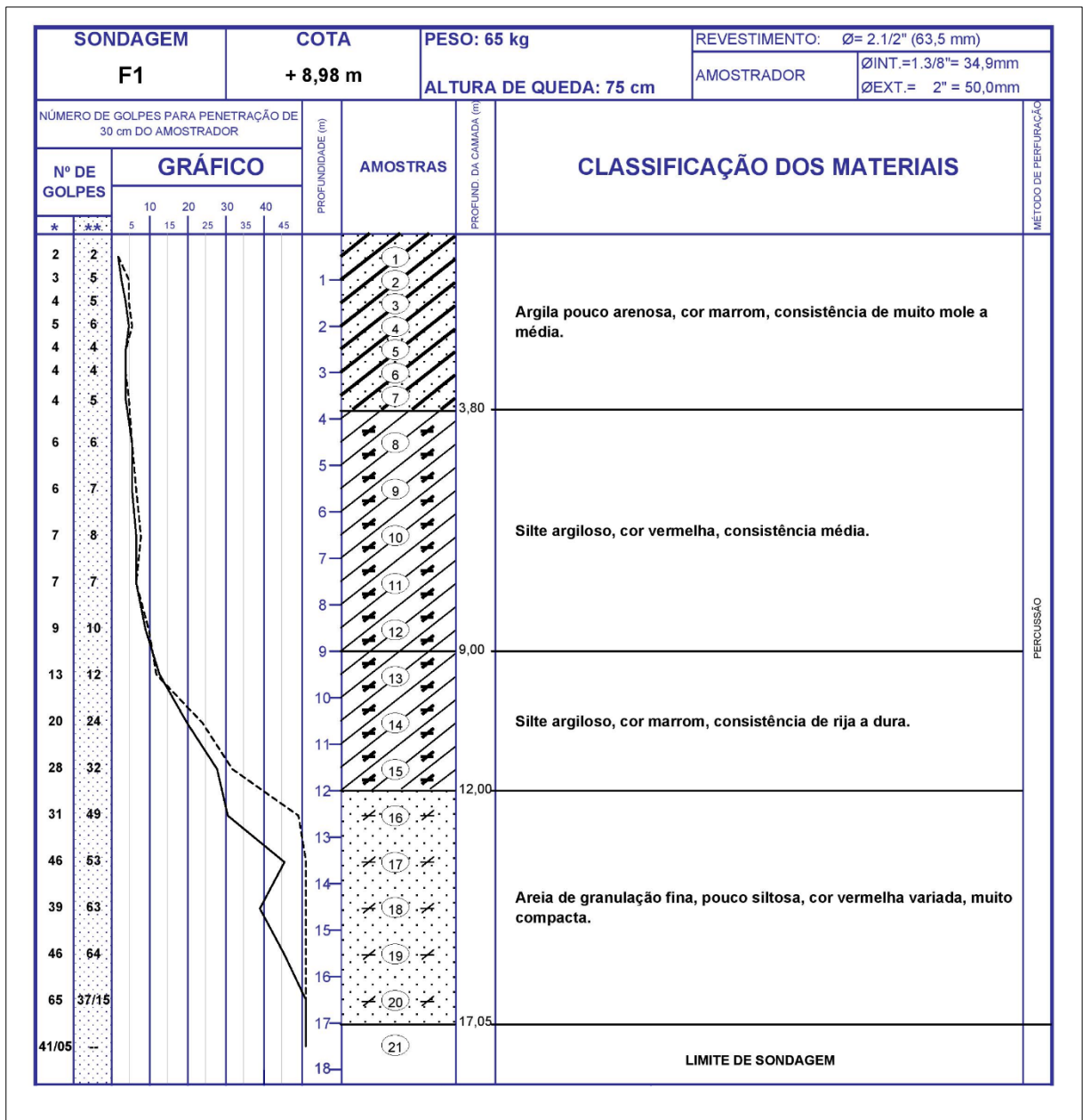
Foram utilizados três perfis de sondagens, fornecidos por empresas X, Y e Z para a realização dos testes com a ferramenta (ver item 4.1.5). Abaixo mostra-se os perfis utilizados, denominados “SP01”, “SP02” e “SP03”.

Figura 19 – Primeiro perfil de sondagem SPT (SP01) utilizado nos testes da ferramenta computacional em desenvolvimento



Fonte: Empresa X (200-?)

Figura 20 - Segundo perfil de sondagem SPT (SP02) utilizado nos testes da ferramenta computacional em desenvolvimento



Fonte: Empresa Y (200-?)

Figura 21 - Terceiro perfil de sondagem SPT (SP03) utilizado nos testes da ferramenta computacional em desenvolvimento

COTA E MÉTODO DE PERFURAÇÃO	PROFUNDIDADE DA CAMADA	AMOSTRAS	INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA	REVESTIMENTO	DIÂMETRO DO FURO 2 1/2"	NÍVEL D'ÁGUA	PERFIL GEOLOGICO	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	CONSISTÊNCIA	COMPACTIDADE	RESISTÊNCIA DO SOLO						
											RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO						TORQUE - T (Kgf.m)
											TIPO DE AMOSTRADOR: TERZAGHI & PECK		PESO DE 65Kg.		QUEDA DE 75cm.		
EXTERNO DE 2"		INTERNO DE 1 3/8"		NÚMEROS DE GOLPES		GRÁFICO											
				5		10		15		20		25					
TC	1		S E D I M E N T O		ARGILA POUCO ARENOSA COR MARROM	DURA	7	6	8	13	14						
	15	15					15										
2.60	2				AREIA GRANULOMÉTRICA GROSSA POUCO SILTOSA COR LARANJA VARIEGADA	MUITO COMPACTO	7	10	12	10	22						
		15					15	15									
LV	3				AREIA GRANULOMÉTRICA GROSSA POUCO SILTOSA COR LARANJA VARIEGADA	MUITO COMPACTO	10	11	11	21	22						
	4						15	15	15								
	5						12	11	13								
	6						15	15	15								
	7		9	12			14										
7.80	8		AREIA GRANULOMÉTRICA GROSSA POUCO SILTOSA COR LARANJA VARIEGADA COM PEDREGULHOS	MUITO COMPACTO	13	15	18	21	23								
		15			15	15											
8.90	9		LAVADO ATÉ 8,90 "BLOCO DE ROCHA OU MATAÇÃO"		17	16	22	33	38								
	10				15	15	15										
	11				18	20	23										
	12				15	15	15										
	13																
	14																
	15																
	16																
	17																
	18																
	19																
	20																

OBS:

LV - Lavagem

PERFIL GEOTÉCNICO INDIVIDUAL

SPT

Fonte: Empresa Z (200-?)

3.2.3 Parâmetros do solo

Os parâmetros do solo propostos por Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma serão interpretados de forma numérica e lógica, dentro das fórmulas de cálculo de resistência por atrito lateral e pela ponta da estaca.

3.2.4 Diferentes tipos de estacas

As diferentes metodologias de execução de estacas garantem-lhes diferentes características. Ao usuário cabe escolher qual a estaca mais apropriada para a obra em análise, a partir das informações de resistências calculadas pelo software.

Nas informações inclusas à biblioteca da ferramenta computacional, estarão os diâmetros disponíveis para cada estaca e sua resistência máxima como material estrutural. A partir daí, calcular-se-ão valores de área e perímetro, para a implementação das fórmulas de dimensionamento.

3.2.5 Aplicação dos métodos de Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma

Posteriormente à implantação das informações referentes aos tipos de estacas e tipos de solos à biblioteca da ferramenta computacional, implementar-se-á o algoritmo para a efetuação do cálculo do dimensionamento de capacidade de carga de estacas.

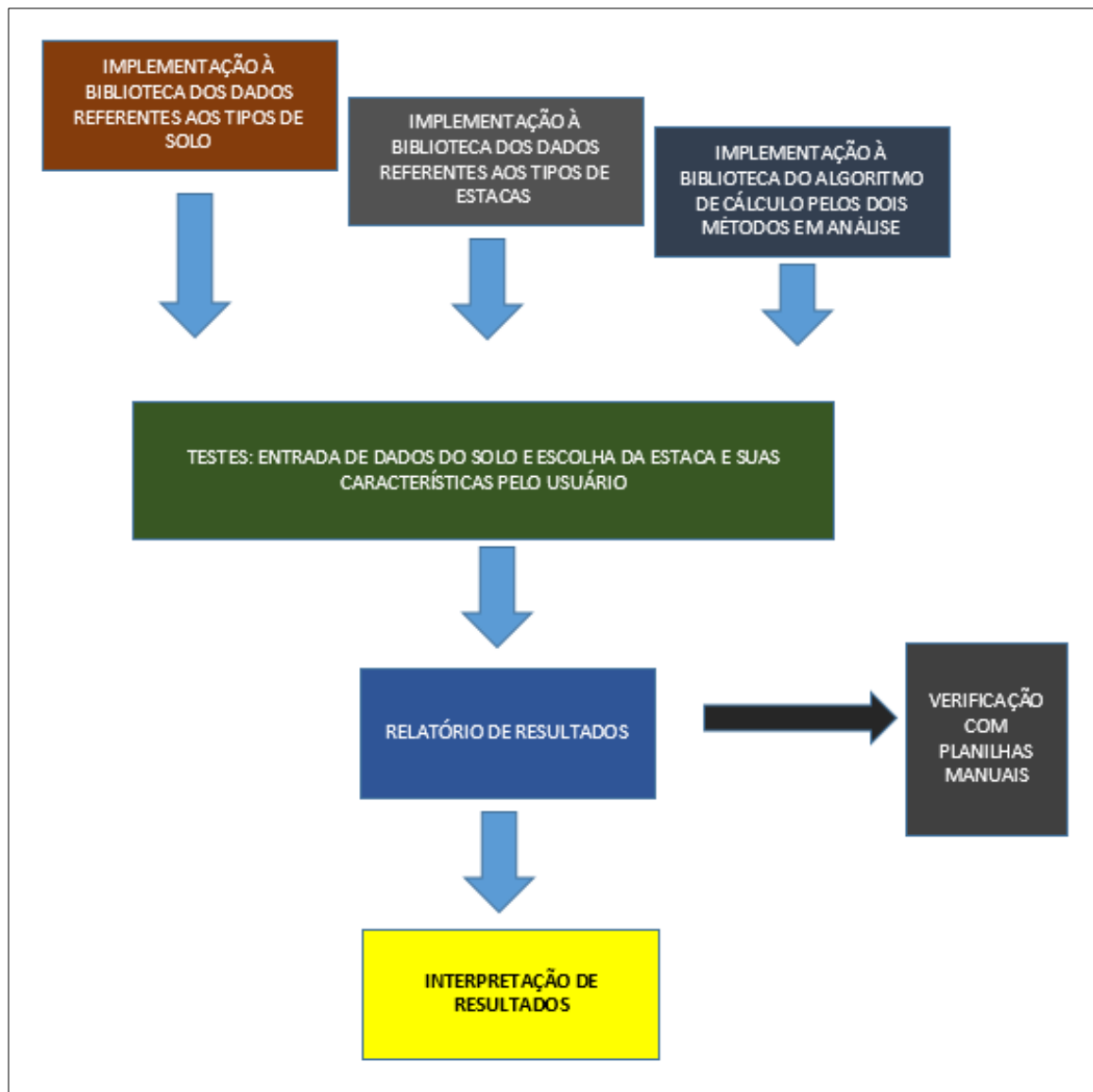
Neste algoritmo, estarão presentes as variáveis de cálculo da resistência por atrito lateral e resistência de ponta dos dois métodos em análise.

3.2.6 Desenvolvimento do software

Uma vez que todas as etapas relativas à implementação das informações necessárias à biblioteca forem concluídas, o software estará apto à realização de seus primeiros testes de realização de cálculo.

A Figura 22 representa principais etapas de execução do trabalho

Figura 22 - Etapas de desenvolvimento do software



Fonte: Elaboração própria

3.2.7 Desenvolvimento de planilhas para a verificação dos cálculos realizados pela ferramenta

Foram produzidas planilhas de auxílio, para a realização dos cálculos de resistência de ponta e por atrito lateral pelos dois métodos descritos, a fim de verificar a confiabilidade dos resultados do software em desenvolvimento.

A execução das planilhas de verificação de resultados não necessita, necessariamente, seguir a mesma cronologia de implementação de dados da ferramenta, uma vez que sua produção é mais simples e independente.

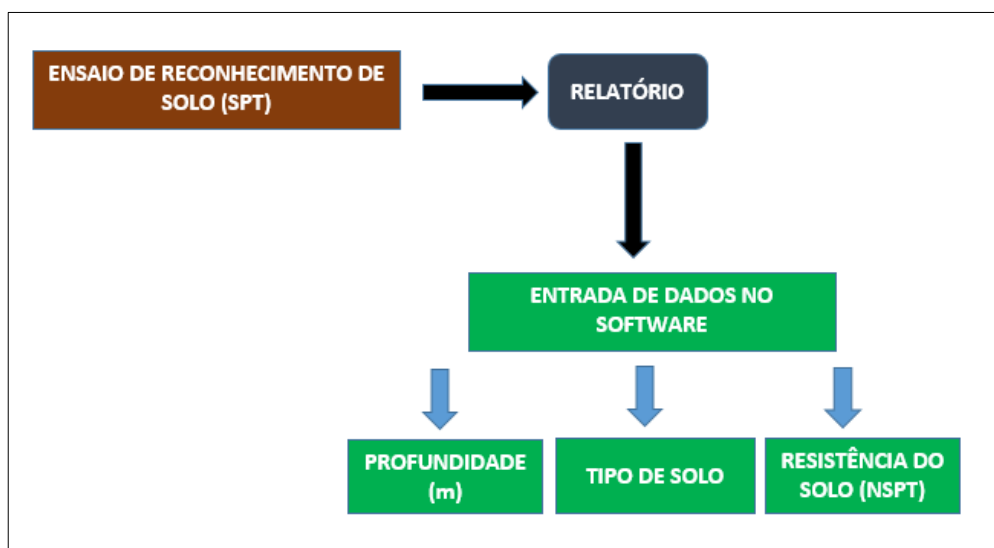
3.2.8 Realização do dimensionamento de fundações com o software

No que se refere ao usuário, com o boletim de sondagem em mãos na hora do dimensionamento, o mesmo entrará com dados referentes à profundidade analisada, ao tipo de solo e a sua resistência (valor de N_{SPT}).

O preenchimento dos dados dividir-se-á em duas partes: a primeira, trata-se da inserção dos valores de N_{SPT} a cada metro. Já a segunda parte, pela descrição da estratificação do solo. Salienta-se que os valores de “K”, “ α ” e β ” não precisarão ser informados, uma vez que fazem parte das Tabelas 3, 5 e 6.

A Figura 23 ilustra primeira sequência de entrada de dados referente ao relatório de sondagem

Figura 23 - Entrada de dados do boletim SPT



Fonte: Elaboração própria

Os parâmetros do solo que serão utilizados no dimensionamento corresponderão aos relacionados ao tipo de solo já informado pelo usuário, durante o preenchimento das informações do relatório de sondagem.

Após o preenchimento dos dados de sondagem, o usuário deverá escolher qual o tipo de estaca a ser considerado no dimensionamento, a partir das opções fornecidas pelo software.

As últimas informações necessárias ao dimensionamento serão a “faixa” e o “passo” de cálculo. A “faixa” de cálculo consiste no intervalo em que serão

calculadas as resistências da estaca, e o “passo” equivale se o cálculo será realizado de quantos em quantos metros.

Terminada a última fase de preenchimento e escolha de informações, ocorrerá o cálculo do dimensionamento da capacidade de carga das fundações profundas.

Os resultados deverão ser apresentados na forma de relatório, contendo os valores de resistência por atrito lateral, por resistência de ponta e resistência total.

3.2.9 Comparativo de resultados de diferentes dimensionamentos em diferentes boletins de sondagens e diferentes tipos de estacas

Serão realizadas comparações de resultados, envolvendo relatórios provenientes do dimensionamento considerando diferentes boletins de sondagens e diferentes tipos de estacas.

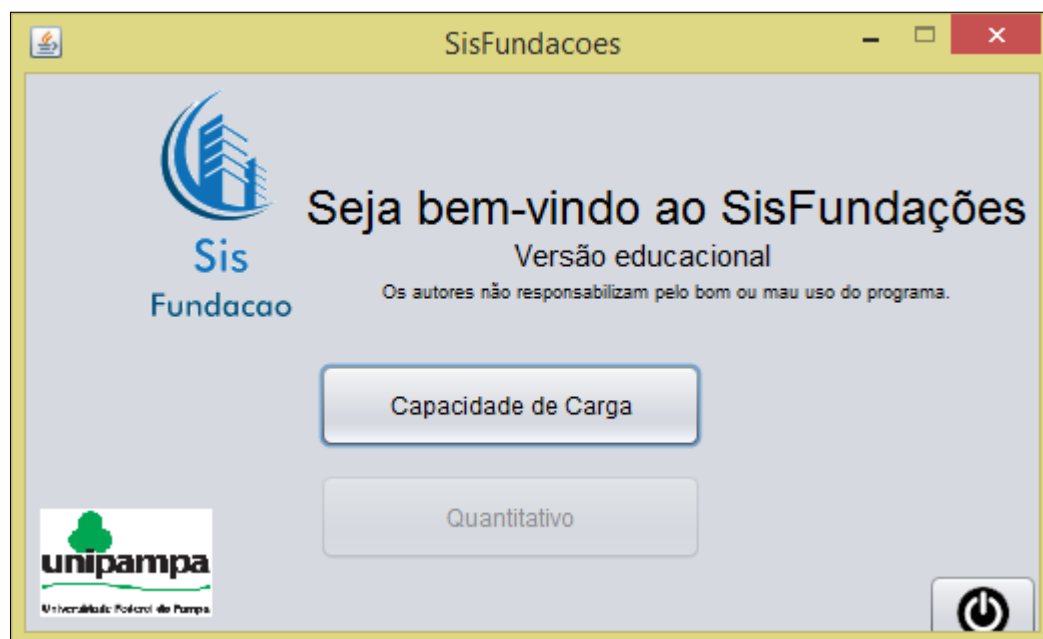
4. RESULTADOS

A partir dos conhecimentos adquiridos durante a revisão da literatura e da aplicação da metodologia de trabalho, chegou-se ao desenvolvimento da ferramenta computacional.

4.1. Protótipos de tela

Na Figura 24, mostra-se a tela inicial do programa, onde escolhe-se o módulo a ser utilizado pelo usuário.

Figura 24 – Tela inicial do programa, escolha do módulo “Capacidade de Carga”.

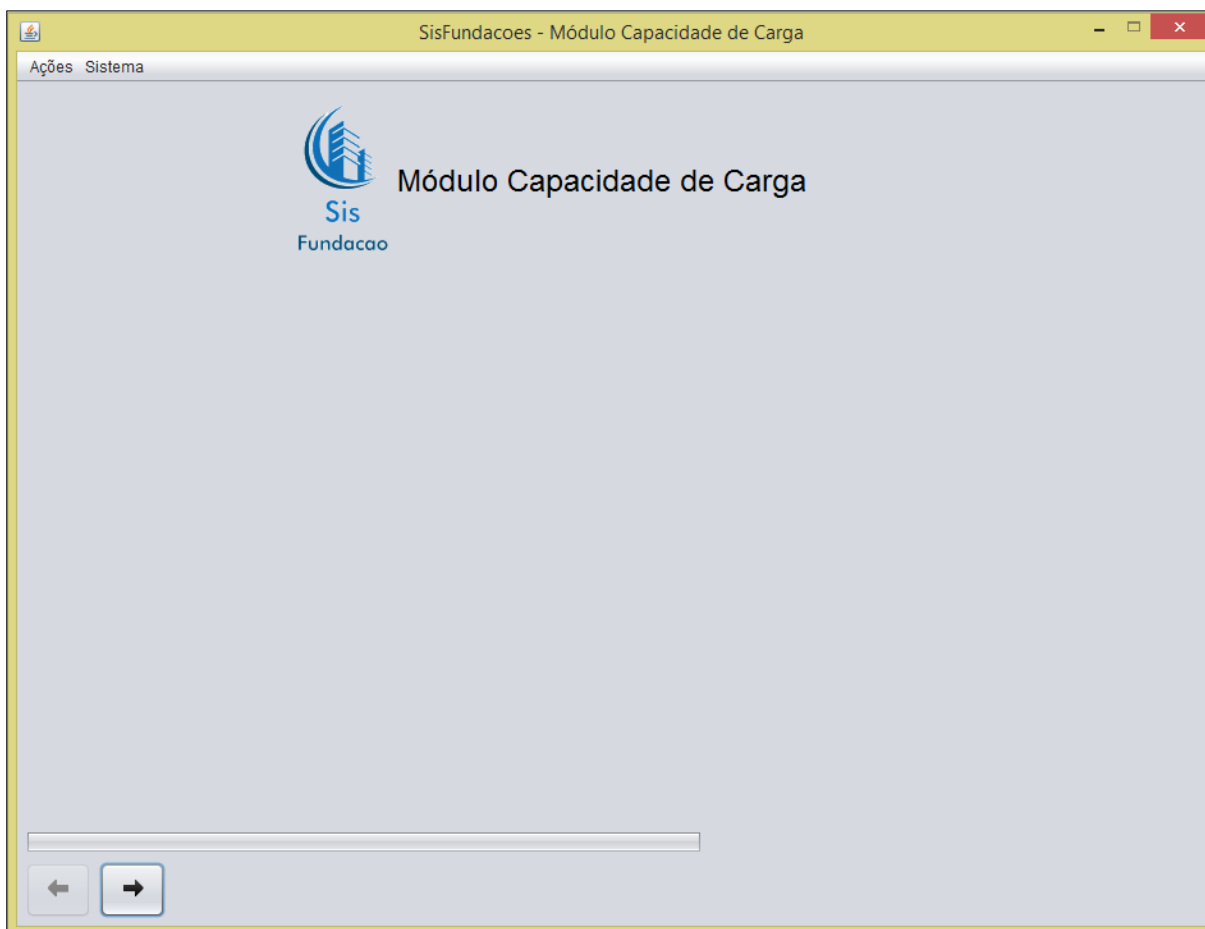


Fonte: Elaboração própria

Inicialmente denominou-se o software genericamente por “SisFundações”. A tela inicial conta com três botões: “Capacidade de Carga”, para ir ao módulo de cálculo da capacidade de carga das estacas; “Quantitativo”, desabilitado, para ir ao futuro módulo de quantitativo de materiais e custos, e o botão “Desligar”, na extremidade inferior direita da tela, para fechar o aplicativo.

Escolhendo-se o módulo “Capacidade de carga” vamos para a tela demonstrada na Figura 25, que conta apenas com o botão “Avançar”, na extrema esquerda da tela.

Figura 25 – Módulo Capacidade de Carga, tela inicial



Fonte: Elaboração própria.

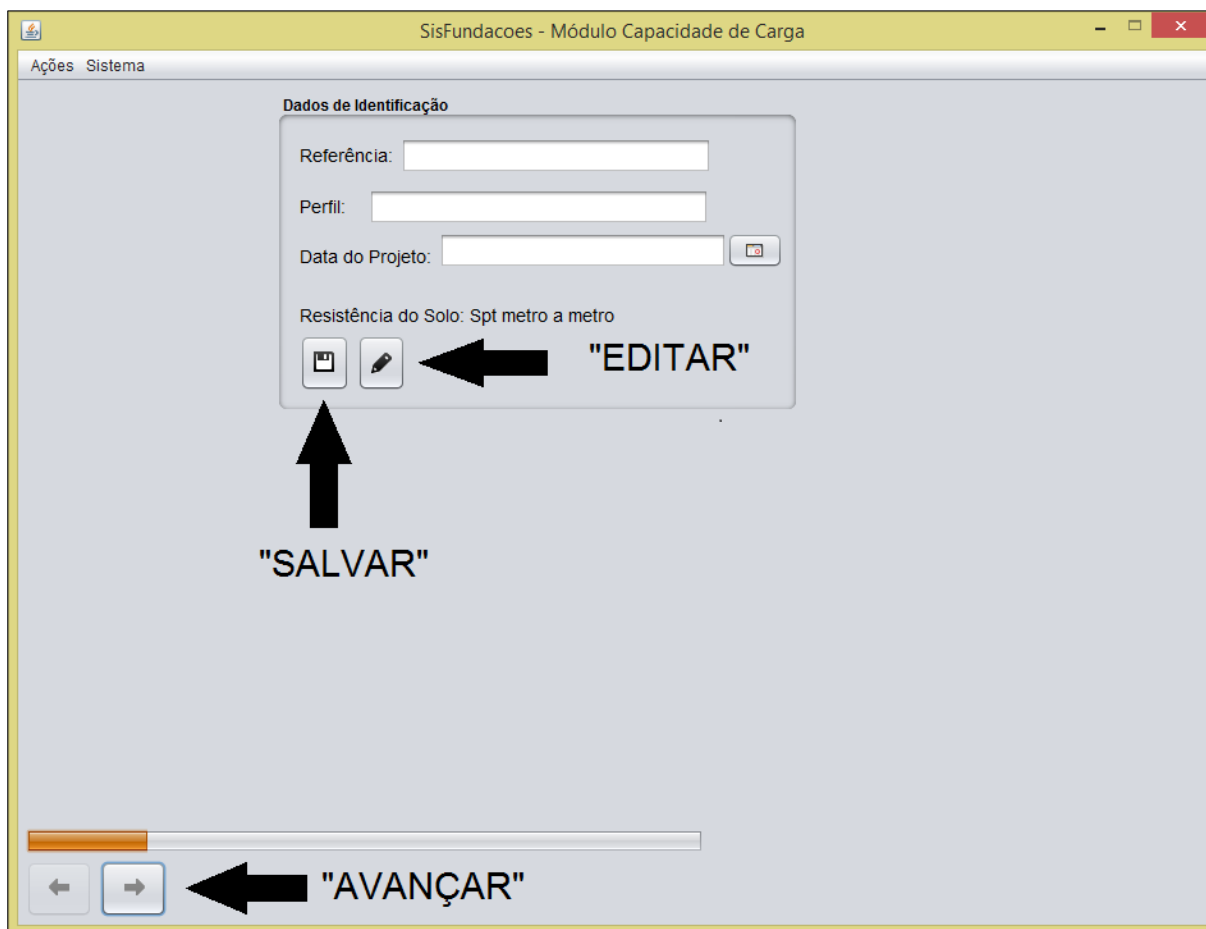
Clicando-se em “Avançar” a ferramenta apresenta a próxima tela, mostrada na Figura 26, que caracteriza-se pela inserção das informações de identificação da obra.

Os campos “Referência”, “Perfil” e “Data do Projeto” são importantes para manter a organização e o controle dos projetos executados.

Logo abaixo dos campos citados, vê-se os botões “Salvar”, ilustrado com a figura de um disquete, e “Editar”, ilustrado com a figura de um lápis. Após a inserção das informações, cabe ao usuário salvar seus dados através do botão “Salvar”. Desse modo, a opção “Avançar” (em baixo, à esquerda) aparecerá habilitada.

Caso o usuário deseje editar alguma informação após salvar e antes de avançar, deverá clicar no botão “Editar”, onde os campos “Referência”, “Perfil” e “Data do Projeto” serão novamente habilitados para edição.

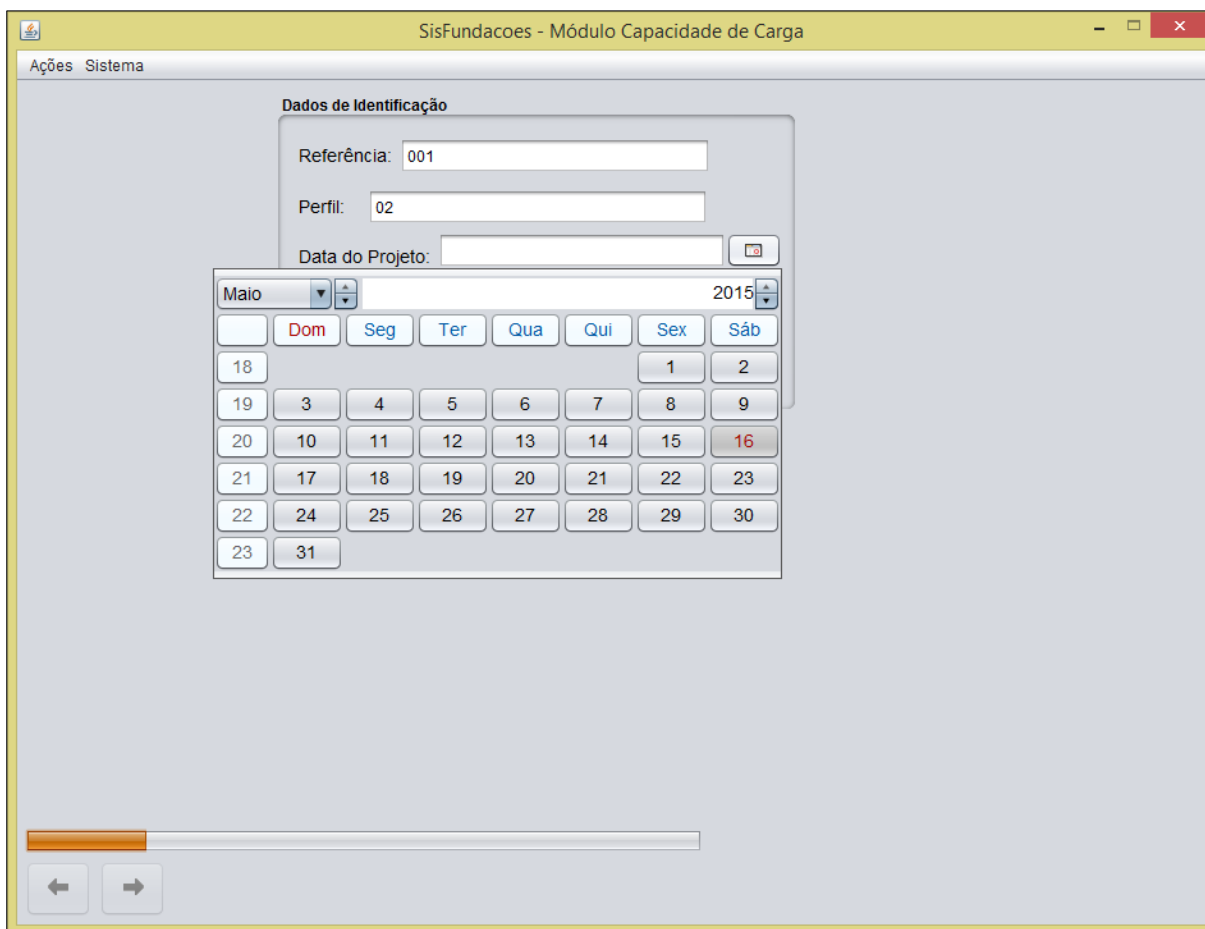
Figura 26 – Identificação do projeto



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 27 mostra a escolha da data de projeto a partir de uma tela especial anexa à ferramenta computacional.

Figura 27 – Escolha da data de projeto

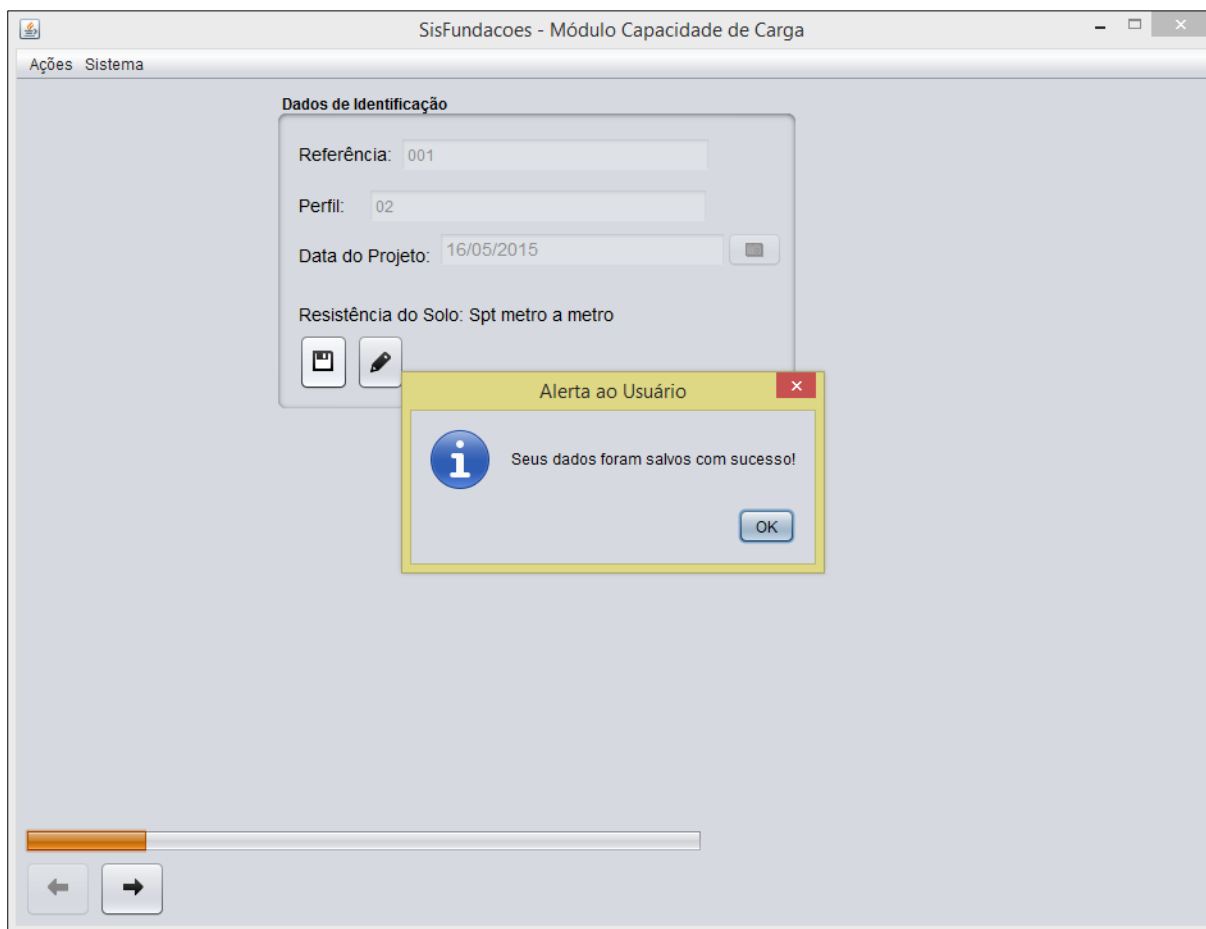


Fonte: Elaboração própria.

Observa-se, imediatamente acima dos botões “Avançar” e “Retroceder”, uma barra de avanço que é preenchida automaticamente conforme o usuário avança pelo software. Esta barra tem como função fornecer ao usuário a noção de em qual fase encontra-se ele quanto à entrada de informações.

A Figura 28 mostra a caixa de diálogo aberta automaticamente após o usuário salvar seus dados. Nota-se que a caixa de diálogo aparece em primeiro plano, enquanto a tela principal fica em segundo plano.

Figura 28 – Salvando os dados de identificação

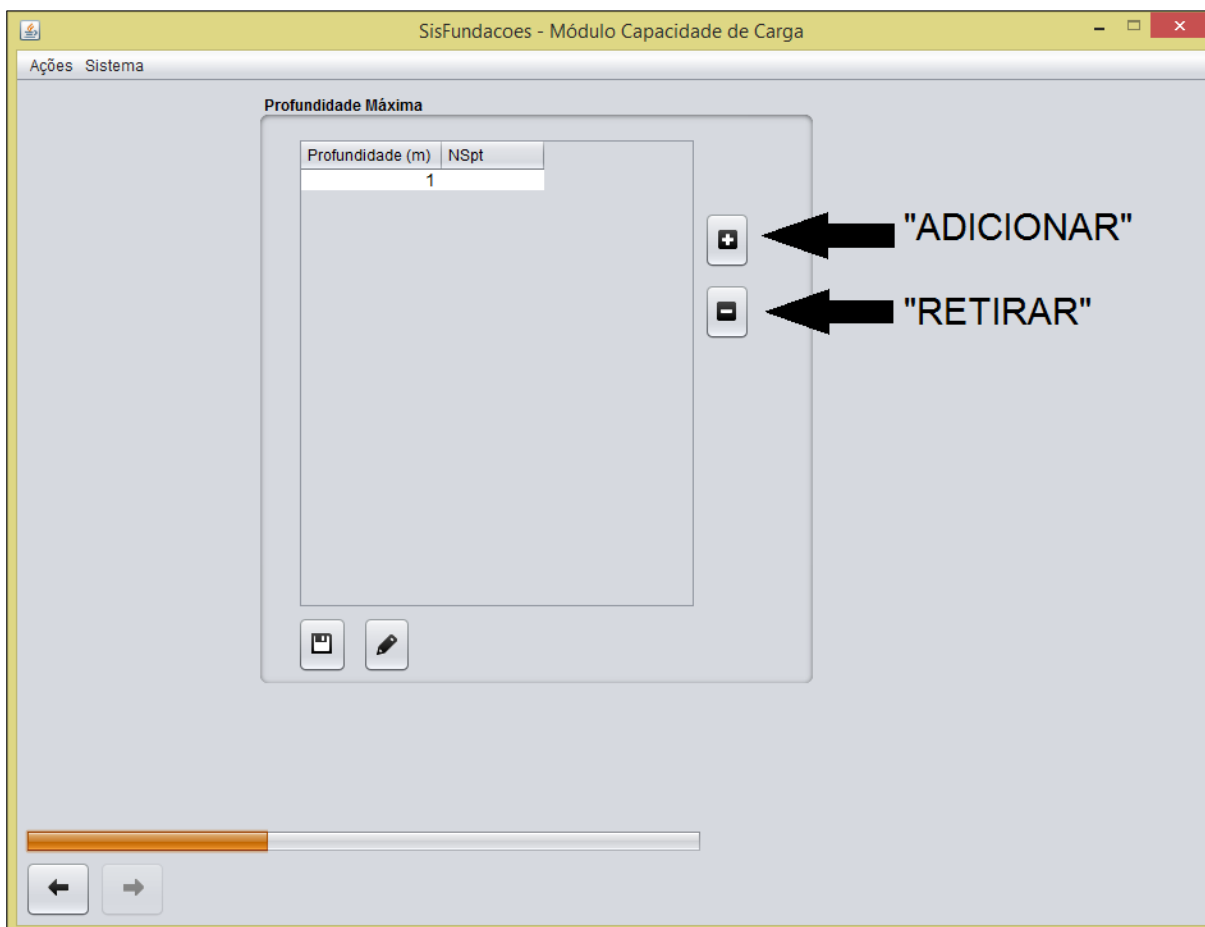


Fonte: Elaboração própria

Iniciando a fase de inserção de dados do relatório de sondagem SPT, a Figura 29 evidencia a tela de preenchimentos dos valores, de metro em metro, da profundidade do solo e do valor do N_{SPT} .

Nesta fase, o usuário deve ter em mãos o relatório de sondagem SPT e digitar as informações ao software. Ao lado direito da caixa de digitação, mostra-se os botões “+” e “-”, que servem, respectivamente, para adicionar e retirar linhas de digitação, que corresponderão a profundidades do solo.

Figura 29 – Inserção dos dados do relatório de sondagem SPT

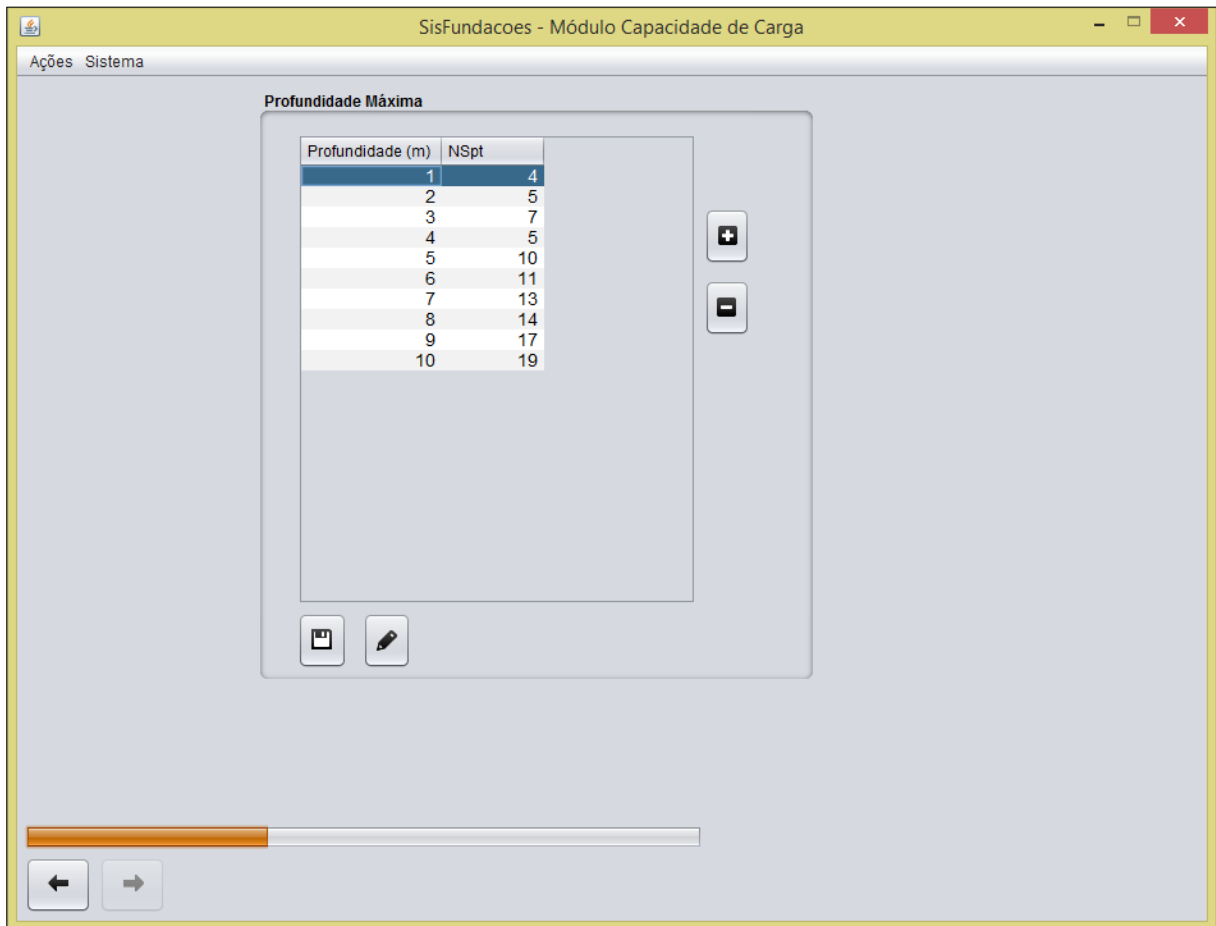


Fonte: Elaboração própria

A Figura 30 mostra a mesma tela preenchida com dados fictícios. Adicionou-se nove linhas a partir do botão “+”, onde chegou-se até a profundidade de 10 metros. Para cada metro, foi estimado um valor de N_{SPT} , com nenhuma correspondência a algum relatório de sondagem real.

Finalizou-se, clicando sobre o botão “Salvar” e, logo após, sobre o botão “Avançar”.

Figura 30 – Preenchimentos dos valores de N_{SPT} com dados fictícios.



Fonte: Elaboração própria

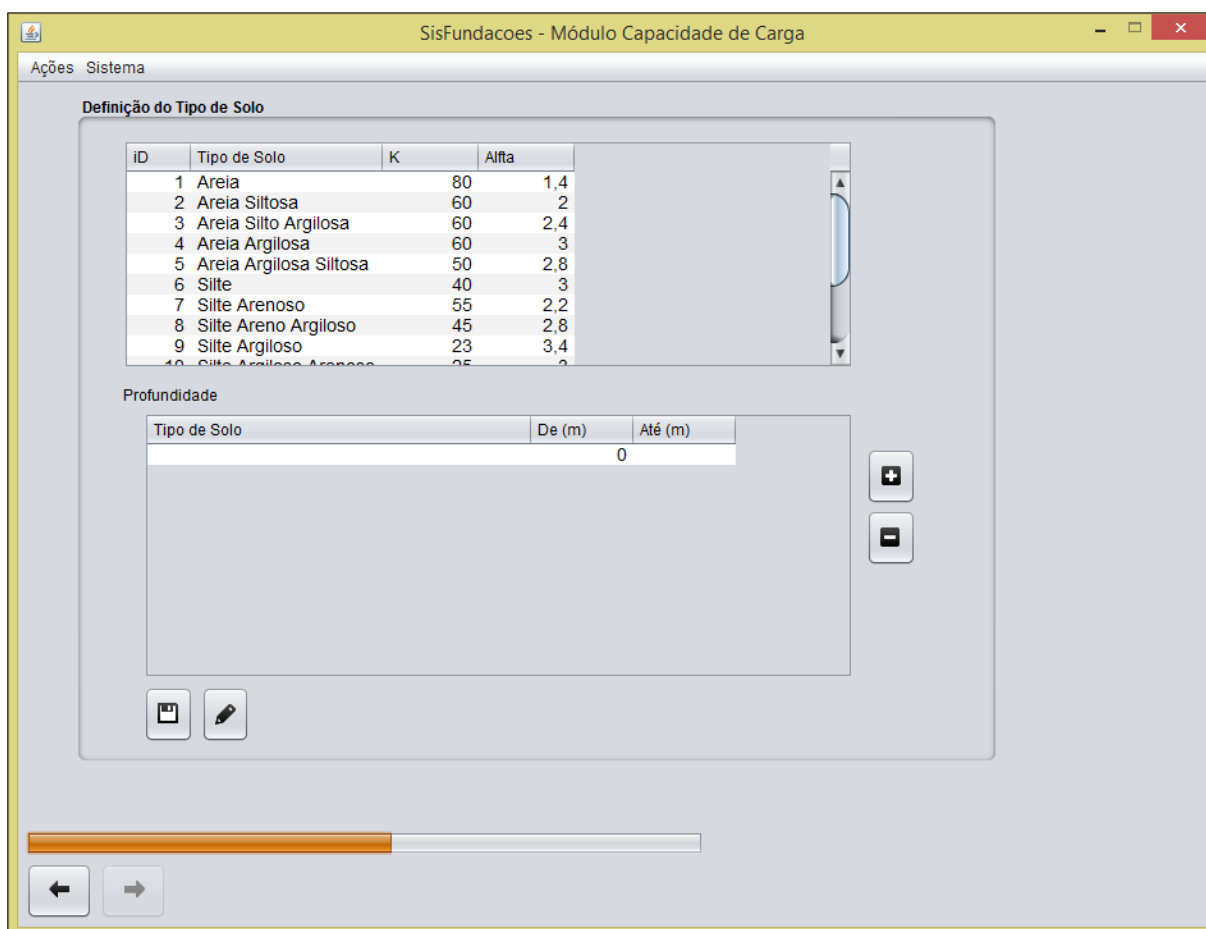
Deve-se, ainda, informar ao software o tipo de solo encontrado pela sondagem, além de sua profundidade individual. A Figura 31 mostra a segunda tela de preenchimento das informações provenientes do relatório de sondagem.

Esta tela conta com duas divisões: a primeira é a tabela superior, adaptada do método de Aoki-Velloso (1975), onde constam os tipos de solos existentes, bem como seus coeficientes utilizados no cálculo e também uma identificação denominada “ID” que varia de 1 à 15.

A segunda divisão corresponde à parte de inserção de informações, localizada logo abaixo, onde cabe-se digitar o valor da “ID” do solo e, ao lado, nos campos “De (m)” e “Até (m)”, a profundidade onde o solo se apresenta.

Os botões “+” e “-” servem também para a adição ou a retirada de linhas, que correspondem a profundidades de metro em metro do solo.

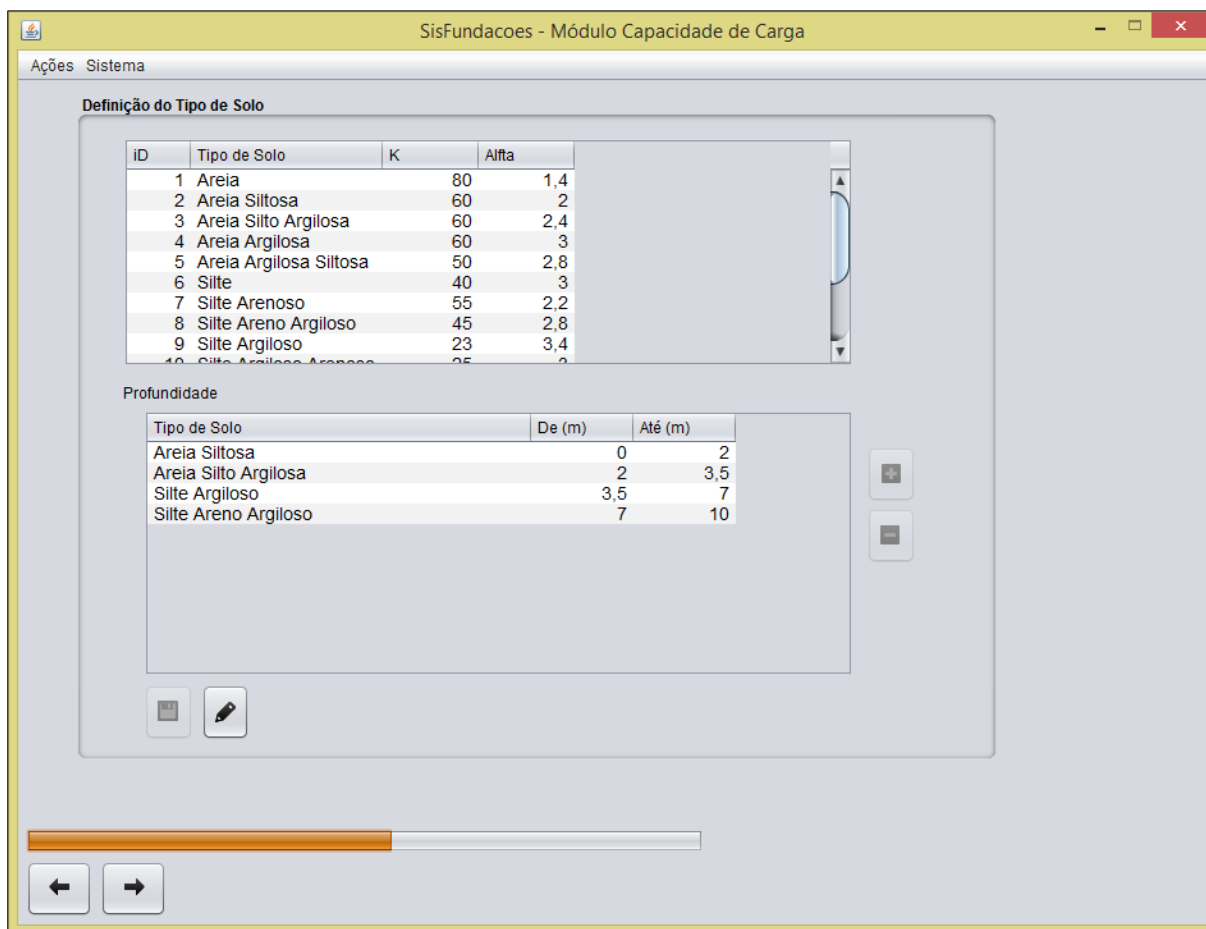
Figura 31 – Determinação do tipo de solo conforme relatório SPT.



Fonte: Elaboração própria

A Figura 32 apresenta a mesma tela em questão, preenchida com dados fictícios.

Figura 32 – Determinação do tipo de solo com informações fictícias.



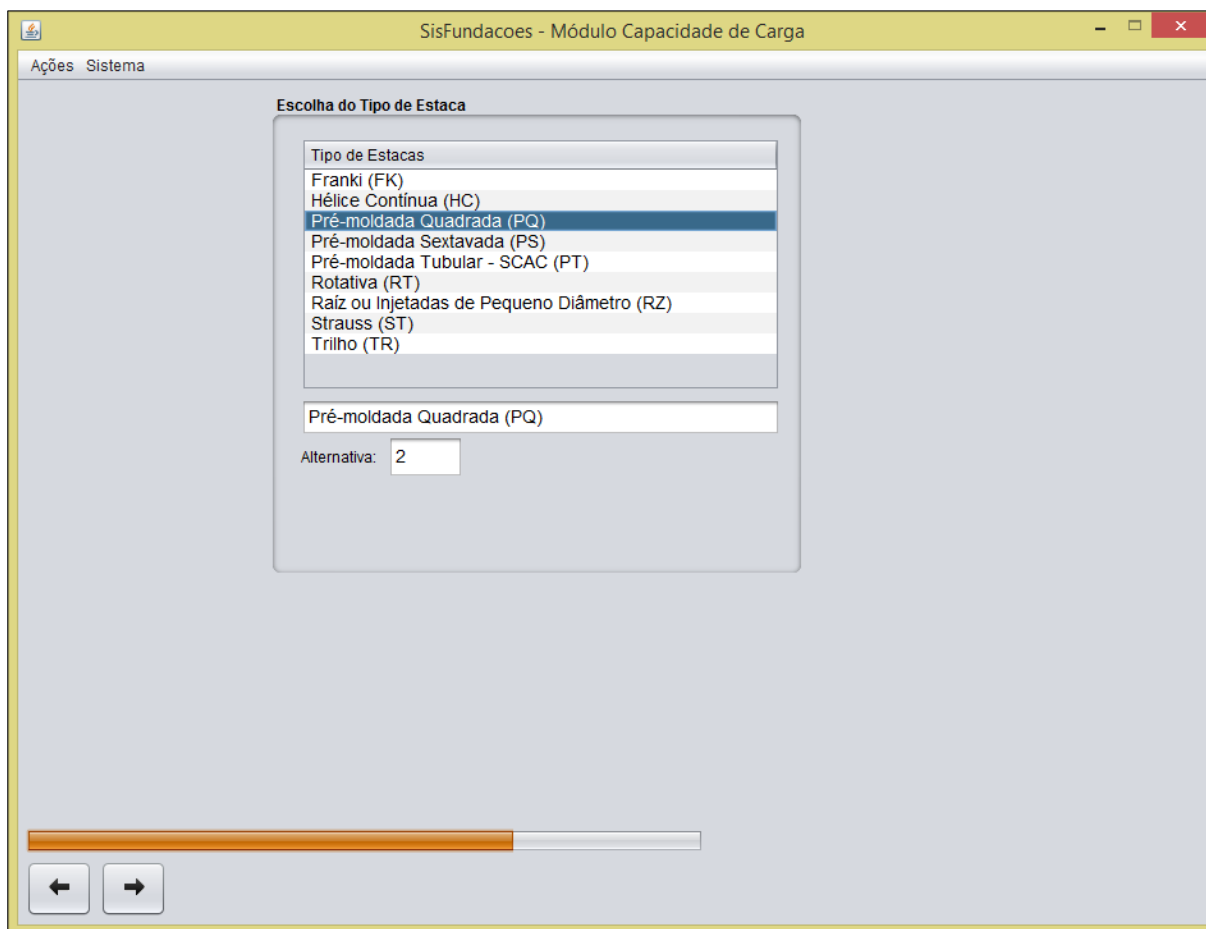
Fonte: Elaboração própria

Ao finalizar esta etapa, encerra-se a parte de fornecimento de dados ao software no módulo capacidade de carga, ou seja, as informações contidas no boletim de sondagem SPT já foram inseridas na ferramenta de cálculo.

A partir de agora, o usuário deverá escolher opções já pré-estabelecidas pela ferramenta, começando pelo tipo de estaca a ser calculada.

Na Figura 33, mostra-se as opções de estacas implementadas à ferramenta computacional, são elas: franki, hélice contínua, estacas rotativas, estacas pré-moldadas, estaca raiz, Strauss e trilhos (estacas metálicas). Com apenas um “click”, seleciona-se qual estaca deseja que fosse considerada nos cálculos e pode-se avançar para a próxima etapa.

Figura 33 – Escolha do tipo de estaca.

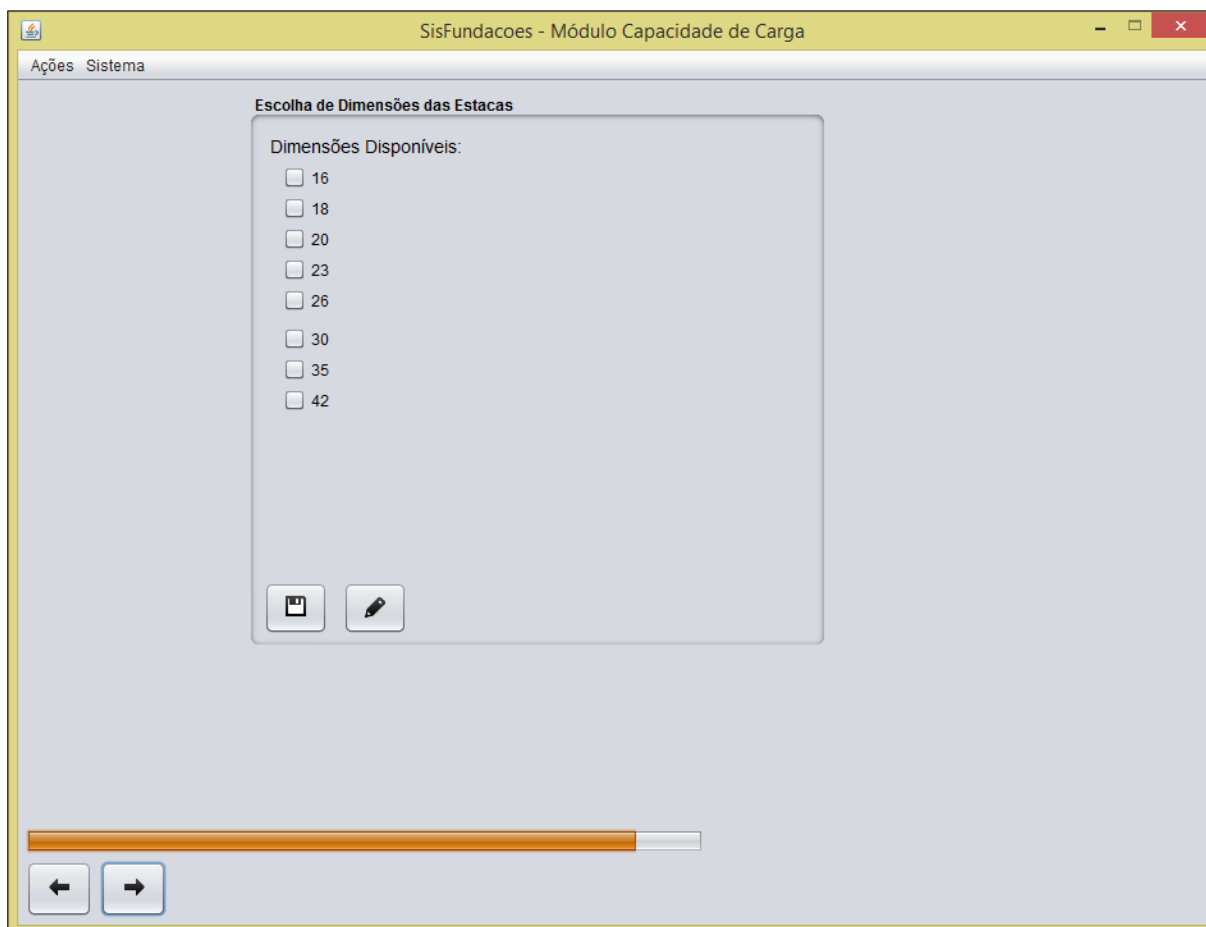


Fonte: Elaboração própria

Depois de escolhido o tipo de estaca, determina-se também quais diâmetros serão considerados no cálculo da sua capacidade de carga. Quanto maior o diâmetro, maior a sua resistência por atrito lateral, no entanto, maior o seu custo.

A próxima figura evidencia a tela de escolha dos diâmetros disponíveis para cada tipo de estaca. Para este caso, escolheu-se a estaca do tipo pré-moldada quadrada, com as dimensões comerciais mostradas na figura 34.

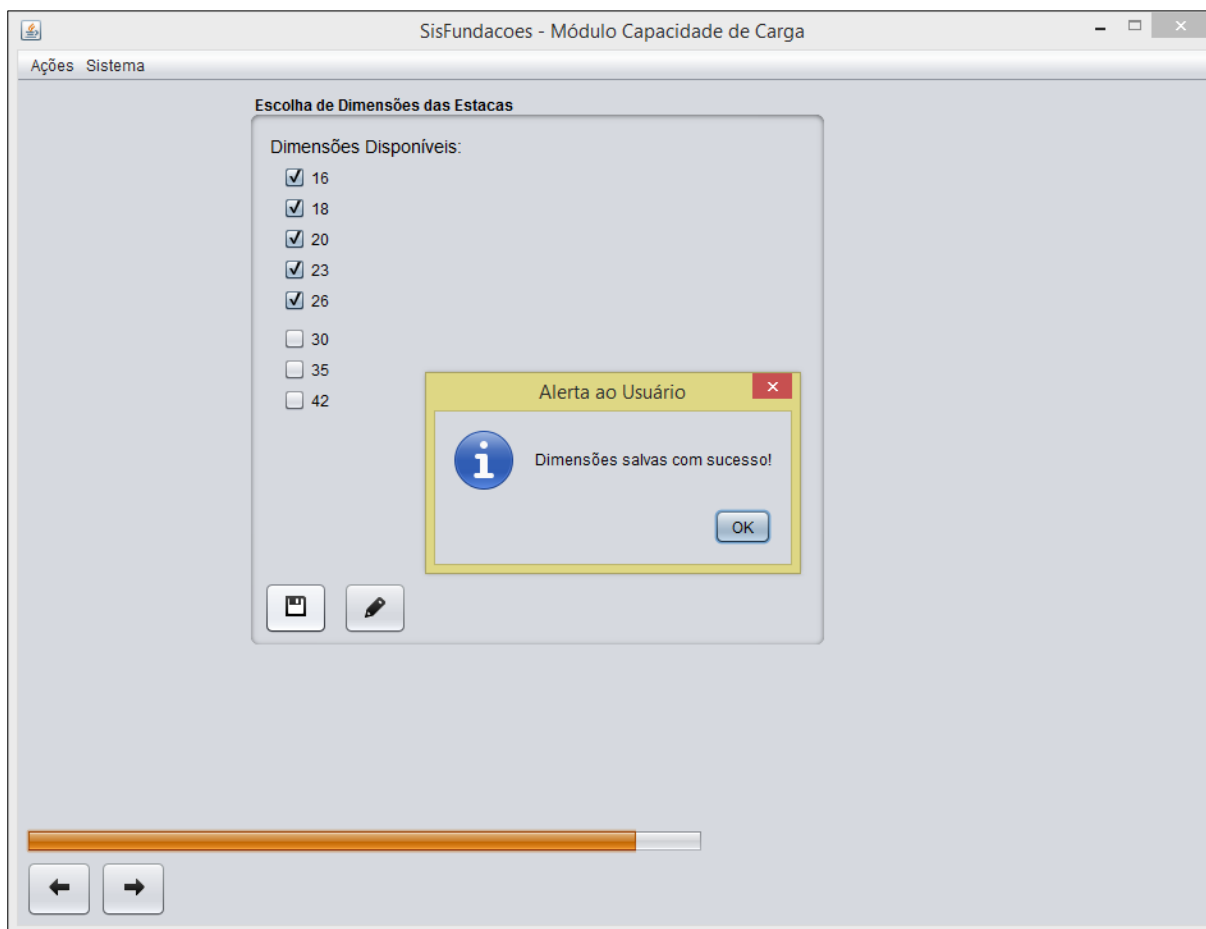
Figura 34 – Dimensões disponíveis da estaca selecionada (m).



Fonte: Elaboração própria

Clicando em “Salvar” a caixa de texto em primeiro plano surgirá, conforme mostrado pela Figura 35:

Figura 35 – Dimensões da estaca salvas.

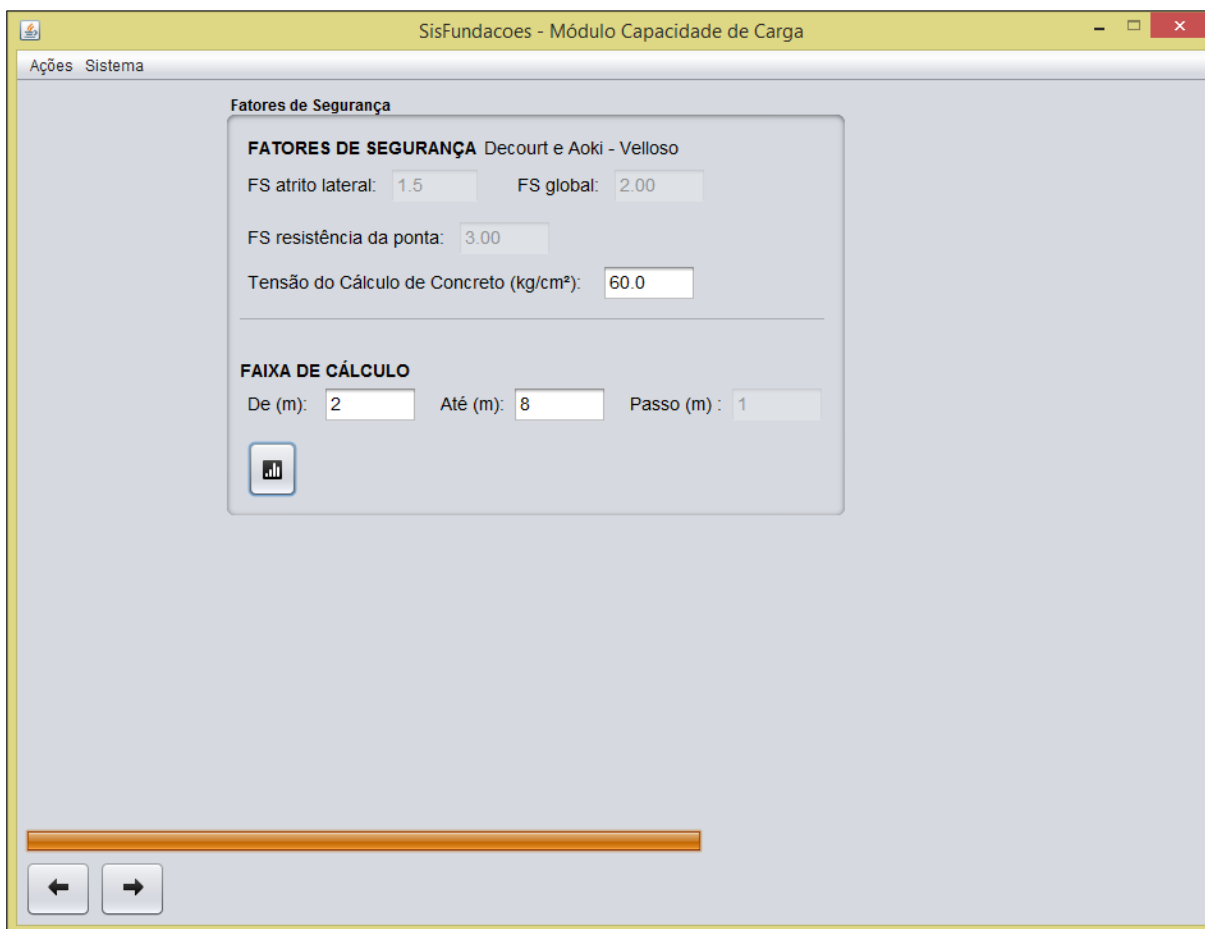


Fonte: Elaboração própria

Finalizando a inserção de informações, estabelece-se a faixa de cálculo, que corresponde aos valores de profundidade onde o cálculo será efetuado, e também o passo de cálculo, que significa o intervalo de quantos em quantos metros o algoritmo efetuará o cálculo.

Ainda, vê-se os coeficientes de segurança parciais e global, de modo inativo para modificações. A versão atual do software trabalha com os cálculos sem considerar os coeficientes de segurança parciais, esta análise pode ser feita separadamente.

Figura 36 – Faixa de cálculo e fatores de segurança.



SisFundacoes - Módulo Capacidade de Carga

Ações Sistema

Fatores de Segurança

FATORES DE SEGURANÇA Decourt e Aoki - Velloso

FS atrito lateral: 1.5 FS global: 2.00

FS resistência da ponta: 3.00

Tensão do Cálculo de Concreto (kg/cm²): 60.0

FAIXA DE CÁLCULO

De (m): 2 Até (m): 8 Passo (m): 1

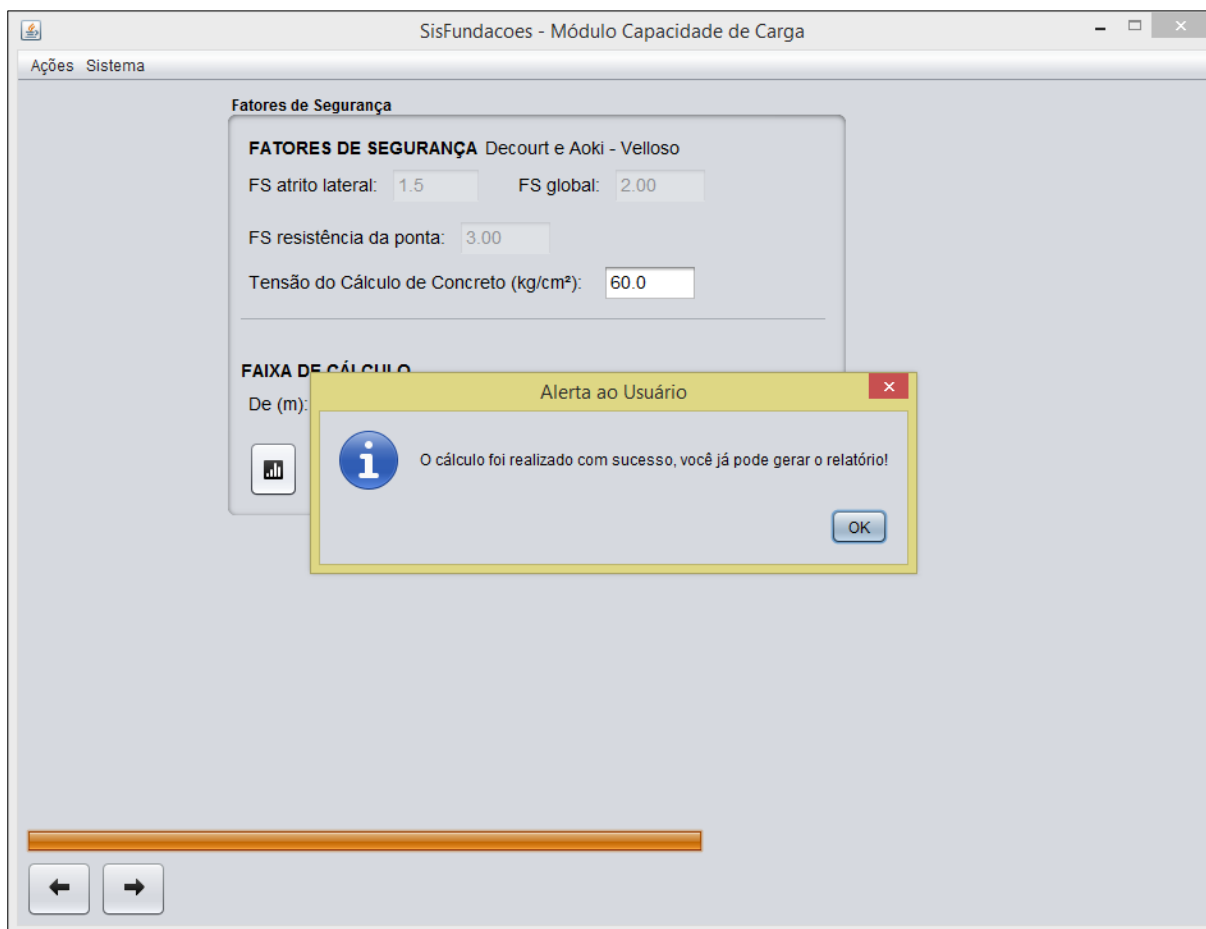
Calcular

← →

Fonte: Elaboração própria

Determinados os tipos de solo, suas profundidades, seus valores de resistência, a estaca a ser considerada, seus respectivos diâmetros comerciais e a faixa com o passo de cálculo, o algoritmo para a realização do cálculo da capacidade de carga da estaca já possui todas suas variáveis estipuladas. Logo abaixo dos campos, pressiona-se o botão “Calcular” para a realização dos cálculos pelo software. A mensagem mostrada pela Figura 37 surge na tela em primeiro plano.

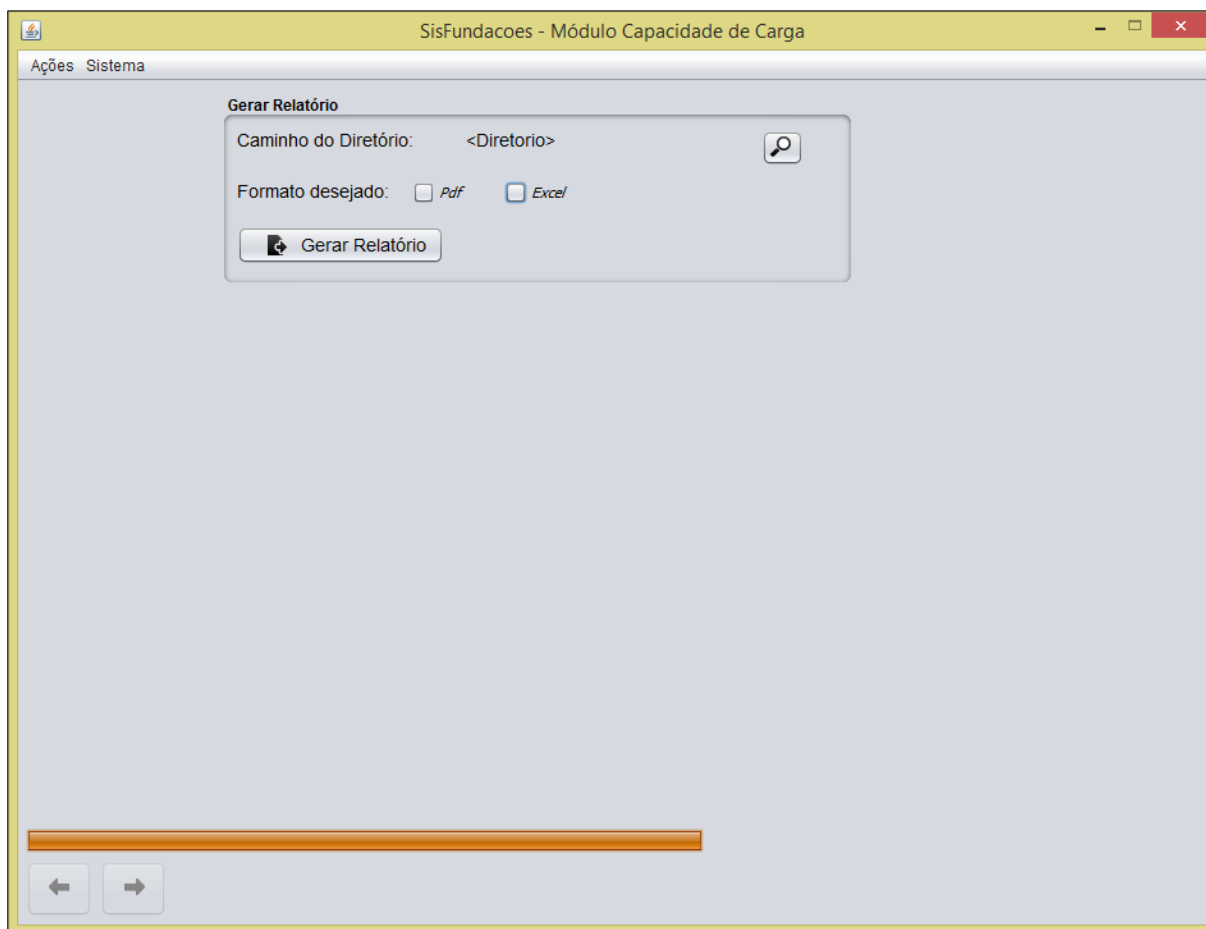
Figura 37 – Mensagem ao usuário.



Fonte: Elaboração própria

Realizado o cálculo, parte-se para a tela seguinte, onde é feita a determinação do formato do relatório de cálculos e de seu diretório. A Figura 38 ilustra o último passo do módulo.

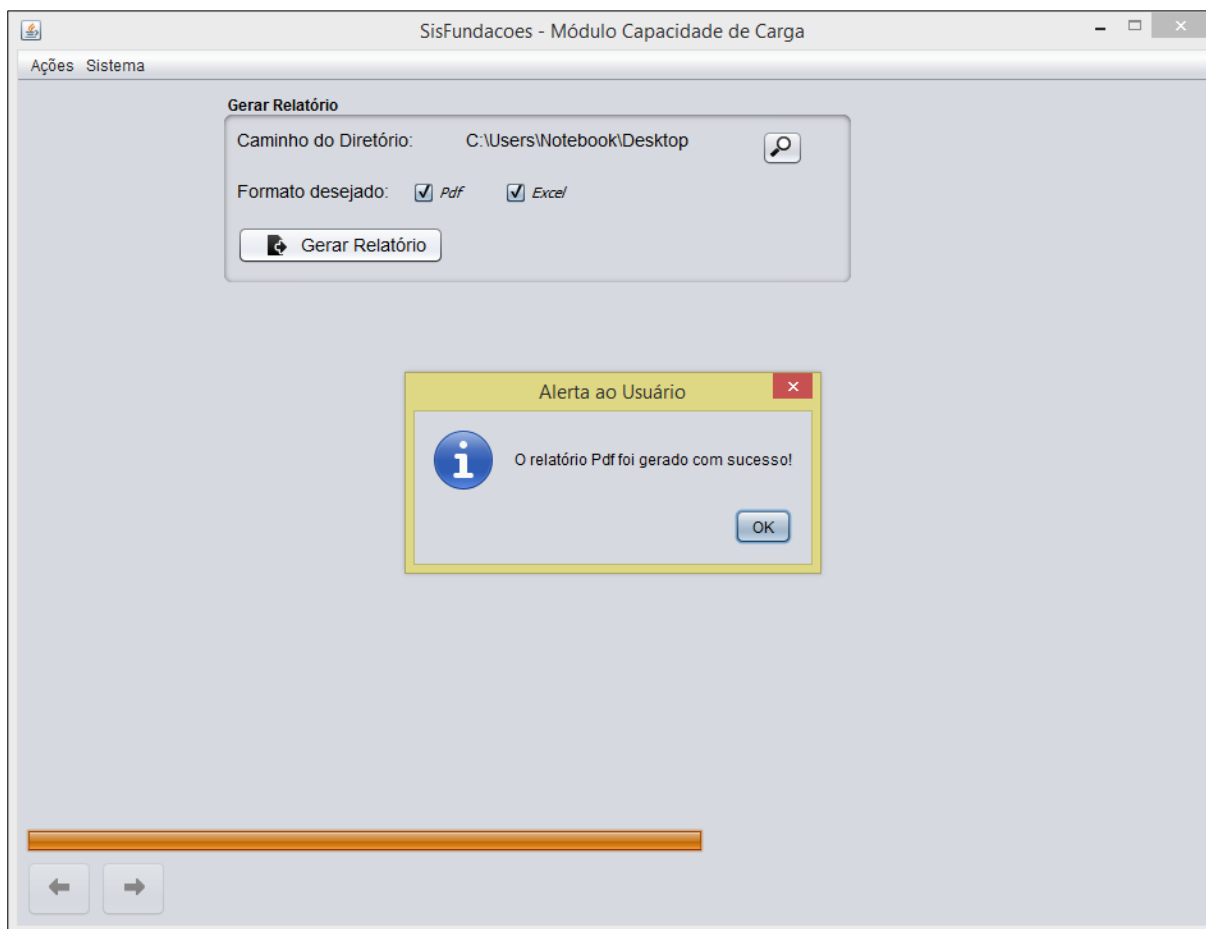
Figura 38 – Última tela do primeiro módulo



Fonte: Elaboração própria

Ao clicar no botão “Gerar Relatório” a mensagem avisando que o relatório foi gerado com sucesso é exibida pela ferramenta computacional, tal qual mostra-se na Figura 39. .

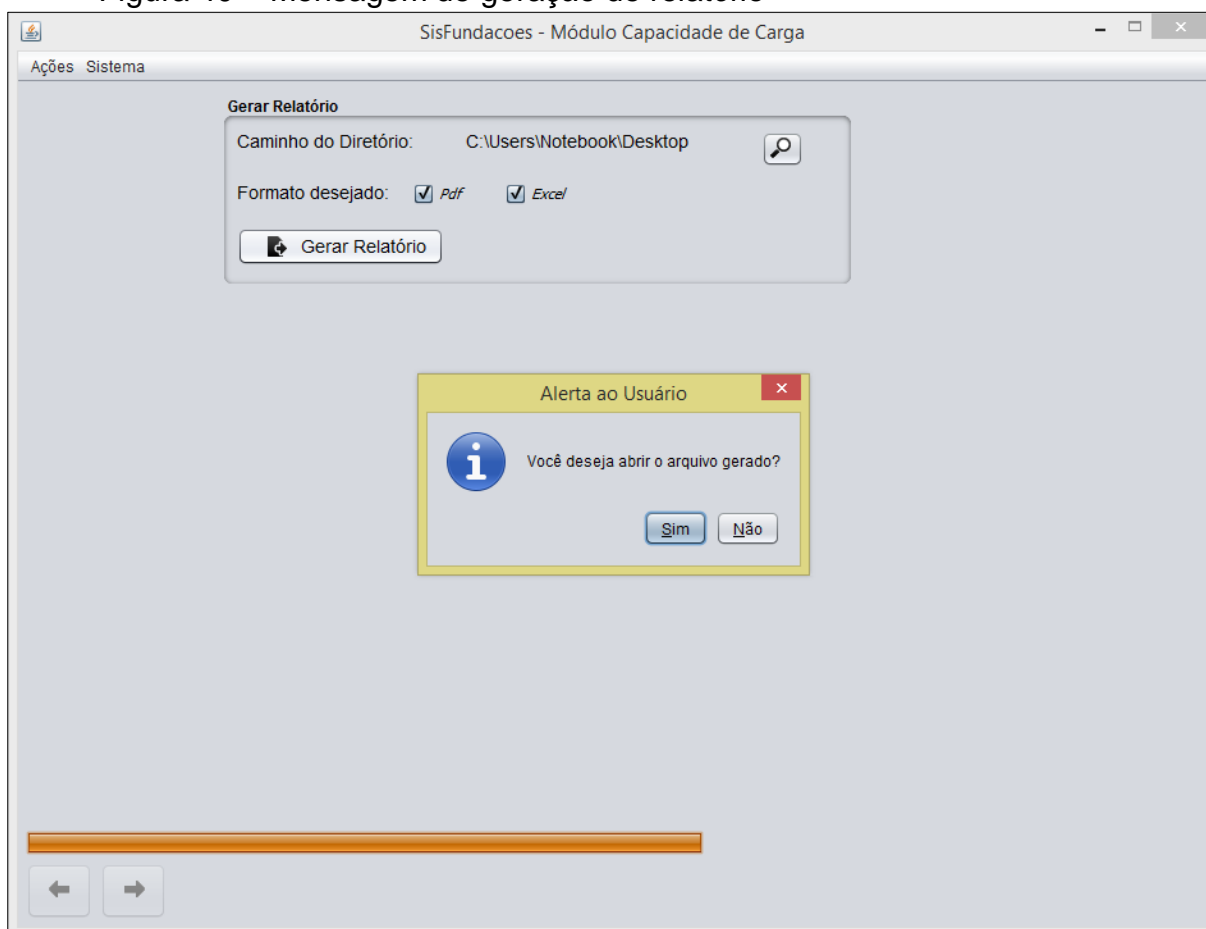
Figura 39 – Mensagem de geração de relatório



Fonte: Elaboração própria

Clicando-se em “Ok”, outra mensagem aparece ao usuário perguntando-lhe se o mesmo deseja abrir o arquivo gerado naquele momento, vide Figura 40.

Figura 40 – Mensagem de geração de relatório



Clicando-se em “Sim”, o relatório de cálculo abre-se automaticamente. Clicando-se em “Não”, o relatório fica disponível no diretório escolhido para posterior análise.

Finalizado o módulo, o usuário pode fechar o programa por meio do botão superior direito “X”.

4.2 Relatório com os resultados de capacidade de carga

O relatório poderá ser gerado em dois formatos: “.pdf” ou “.xls”, o relatório em formato “.xls” é importante pois é editável.

As informações que deverão constar no relatório são todas aquelas informadas pelo usuário ao software durante seu uso, além dos resultados numérico de capacidade de carga em “tf”.

Quanto às capacidades de carga calculadas, os valores a serem mostrados no relatório serão:

- a) Profundidades com respectivos valores de N_{SPT} ;
- b) Tipos de solo;
- c) Tipo de estaca;
- d) Diâmetros considerados em cálculo;
- e) Q_P = Resistência de ponta calculada;
- f) Q_L = Resistência lateral calculada;
- g) $Q_T/F_S = Q_T$ dividido pelo fator de segurança global;

O modelo de relatório final do módulo capacidade de carga está demonstrado junto ao Apêndice A.

4.3 Validação dos resultados gerados (método de Aoki-Velloso)

Através de planilhas do software Microsoft Office Excel verificou-se os resultados obtidos no relatório gerado pelo software com o método de Aoki-Velloso para as seguintes condições:

A) Condição 1:

- a) Estaca: rotativa;
- b) Diâmetros: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 cm;
- c) Passo de cálculo: de 8 à 11 metros.

B) Condição 2:

- a) Estaca: pré-moldada quadrada
- b) Diâmetros: 30, 35 e 42 cm;
- c) Passo de cálculo: 8 à 11 metros.

C) Condição 3:

- a) Estaca: Hélice contínua
- b) Diâmetros: 50, 60, 70 e 80 cm;
- c) Passo de cálculo: 7 à 9 metros.

As Tabelas 13, 14, 15 e 16 demonstram, a partir de perfis de teste válidos para a primeira condição, os resultados obtidos pela ferramenta computacional em desenvolvimento e pelo gabarito produzido no software da Microsoft.

Tabela 13 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=8m.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 8 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	18	3	8	30	17	3	8
40	31	4	14	40	31	5	14
50	48	5	21	50	48	6	22
60	69	6	30	60	68	7	30
70	94	7	40	70	92	8	40
80	122	8	52	80	121	9	52
90	154	9	65	90	155	10	66
100	191	10	80	100	191	11	81
110	230	11	96	110	230	13	97
120	274	13	114	120	273	14	115

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=9m.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 9 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	19	3	8	30	18	4	9
40	34	5	15	40	34	5	16
50	52	6	23	50	53	6	24
60	75	7	32	60	74	8	33
70	102	9	44	70	100	9	44
80	133	10	57	80	132	10	57
90	168	11	71	90	169	12	72
100	208	12	88	100	209	13	89
110	251	14	106	110	251	14	106
120	299	15	125	120	298	16	126

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=10m.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 10 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	23	4	10	30	22	5	11
40	41	6	18	40	41	6	19
50	63	7	28	50	64	8	29
60	91	9	40	60	89	9	39
70	123	10	53	70	121	11	53
80	161	12	69	80	160	12	69
90	203	13	86	90	204	14	87
100	251	15	106	100	252	16	107
110	304	16	128	110	303	17	128
120	361	18	151	120	360	19	152

Fonte: Elaboração própria

Tabela 16 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=11m.

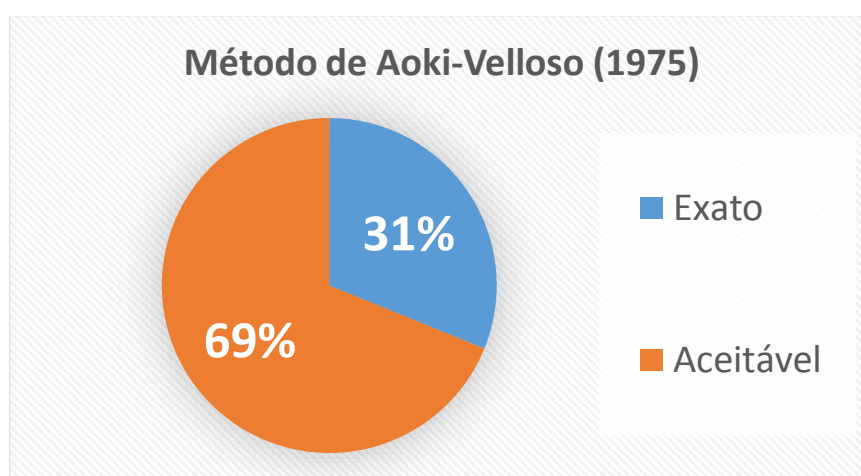
Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 11 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	28	5	13	30	28	6	14
40	50	7	22	40	51	8	24
50	78	9	34	50	79	10	36
60	112	11	49	60	111	11	49
70	153	13	66	70	150	13	65
80	200	15	86	80	198	15	85
90	252	17	107	90	253	17	108
100	312	19	132	100	313	19	133
110	377	21	159	110	376	21	159
120	448	23	188	120	447	23	188

Fonte: Elaboração própria

Os testes iniciais mostraram que a rotina de cálculo implementada no software está correta. Foram obtidos, no primeiro teste, 120 resultados. Na sua totalidade 31% dos resultados apresentaram os mesmos valores de capacidade de

carga calculados por meio da planilha Excel e pelo software. Já 69% apresentaram valores de capacidade de carga semelhantes. A maior diferença nos resultados foi de 3 ton, em um caso, e de 2 ton, em a casos. Analisando em porcentagem, a maior diferença foi de 15,3% (de 11 ton para 13 ton), no caso do cálculo da resistência lateral para a estaca de 110 cm de diâmetro, presente na Tabela 5. Essa diferença é atribuída aos arredondamentos matemáticos dos vários parâmetros e fatores aplicados nos cálculos. O Gráfico 1 resume o supracitado.

Gráfico 1 – Comparação de resultados gerados pelo método de Aoki-Velloso



Fonte: Elaboração própria

Para a segunda condição os resultados estão apresentados nas Tabelas 17, 18, 19 e 20.

Tabela 17 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=8m, segunda condição.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 8 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	49	6	22	30	49	6	22
35	67	7	29	35	69	8	30
42	96	9	42	42	96	9	42

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=9m, segunda condição.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 9 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	56	9	26	30	56	9	26
35	76	10	34	35	78	10	35
42	109	12	48	42	109	13	49

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=10m, segunda condição.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 10 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	87	12	39	30	86	12	39
35	118	14	52	35	122	14	54
42	170	17	74	42	170	17	74

Fonte: Elaboração própria

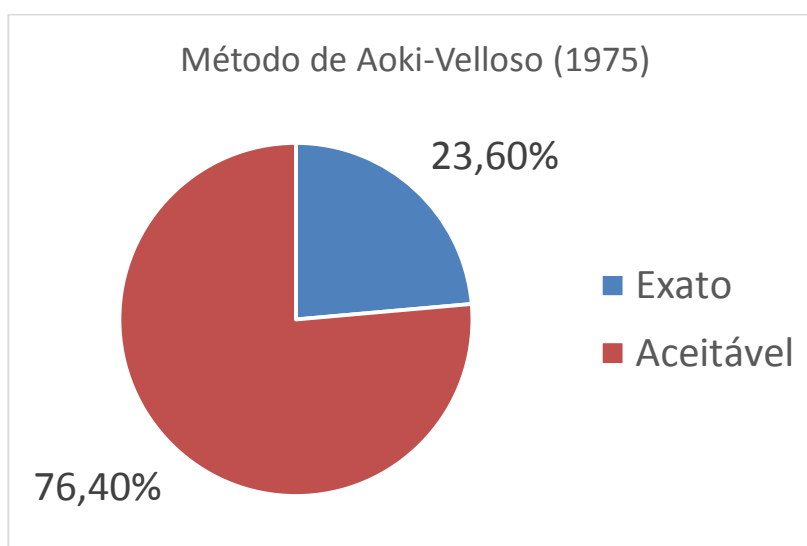
Tabela 20 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=11m, segunda condição.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 11 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	112	16	51	30	110	15	50
35	152	19	68	35	157	18	70
42	218	22	96	42	220	21	96

Fonte: Elaboração própria

Novamente, vê-se que a rotina de cálculo implementada no software está correta. No segundo teste de validação para o método de Aoki-Velloso, 72 resultados foram obtidos. Destes, 23,6 % dos resultados apresentaram os mesmos valores de capacidade de carga calculados por meio da planilha Excel e pelo software. Já 76,4 % apresentaram valores de capacidade de carga semelhantes. A maior diferença nos resultados foi de 5 toneladas (152 para 157 toneladas), no cálculo da resistência de ponta aos 11 metros, para a estaca de 35 cm de diâmetro,. Analisando em porcentagem, essa diferença representa apenas 3,18%. Essa diferença é atribuída aos arredondamentos matemáticos. O Gráfico 2 resume o supracitado.

Gráfico 2 – Comparação de resultados gerados pelo método de Aoki-Velloso, segunda condição



Fonte: Elaboração própria

Para a terceira condição os resultados estão apresentados nas Tabelas 21, 22, e 23.

Tabela 21 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=7m, terceira condição.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015	Estaca:			Hélice contínua		
Caso de Teste:		Profundidade 7 metros					
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	QI	Qt	Estaca	Qp	QI	Qt
50	65	6	28	50	66	7	29
60	94	7	40	60	92	9	40
70	127	9	54	70	125	10	54
80	166	10	70	80	165	12	70

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=8m, terceira condição.

Cenário de Teste - Método de Aoki-Velloso							
Data:	20/02/2015	Estaca:			Hélice contínua		
Caso de Teste:		Profundidade 8 metros					
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	QI	Qt	Estaca	Qp	QI	Qt
50	80	10	36	50	80	11	36
60	115	12	50	60	113	14	50
70	156	14	68	70	153	16	67
80	203	16	87	80	202	18	88

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23 - Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Aoki-Velloso, L=9m, terceira condição.

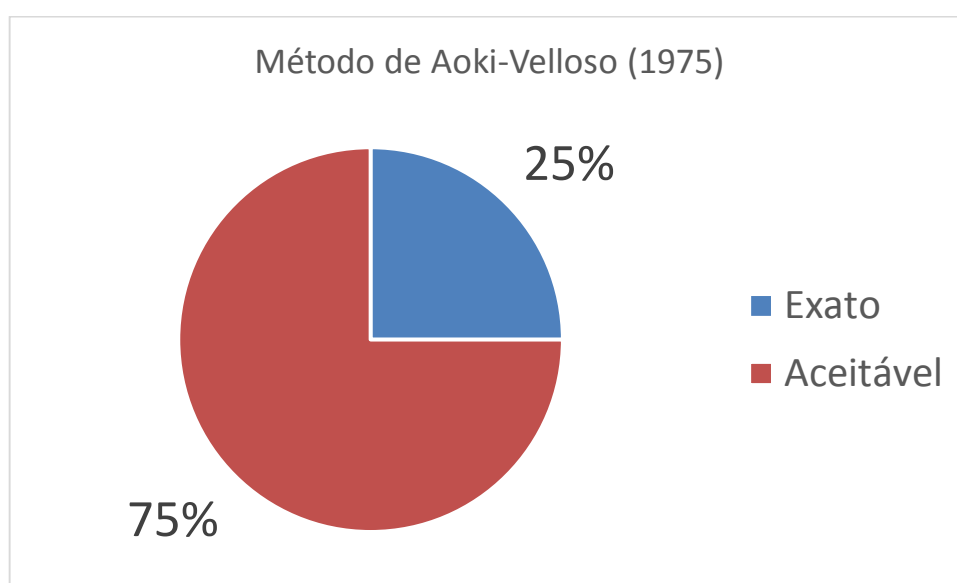
Cenário de Teste - Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015	Estaca:			Hélice contínua		
Caso de Teste:		Profundidade 9 metros					
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	QI	Qt	Estaca	Qp	QI	Qt
50	87	12	39	50	88	13	40
60	125	14	55	60	123	16	55
70	170	16	74	70	167	19	74
80	222	19	96	80	220	21	96

Fonte: Elaboração própria

Neste último teste de validação realizado para o método de Aoki-Velloso foram analisados 36 resultados. Destes, 9 (25%) apresentaram exatamente o mesmo valor fornecido pelo software em desenvolvimento e pela planilha do excel. O restante, 27 resultados, representando 75%, apresentaram valores considerados aceitáveis. A maior diferença encontrada foi de apenas 3 toneladas.

O gráfico abaixo demonstra esses resultados.

Gráfico 3 – Comparação de resultados gerados pelo método de Aoki-Velloso, terceira condição



Fonte: Elaboração própria

4.4 Validação dos resultados gerados (método de Décourt-Quaresma)

Verificou-se também os resultados para o método de Décourt-Quaresma, utilizando-se os mesmos valores da análise anterior.

A) Condição 1

a) Estaca: rotativa;

d) Diâmetros: 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 cm;

e) Passo de cálculo: de 8 à 11 metros.

B) Condição 2

- a) Estaca: pré-moldada quadrada;
- b) Diâmetros: 30, 35 e 42 cm;
- c) Passo de cálculo: 8 à 11 metros.

C) Condição 3

- a) Estaca: Hélice contínua
- b) Diâmetros: 50, 60, 70 e 80 cm;
- c) Passo de cálculo: 7 à 9 metros.

As Tabelas 24, 25, 26 e 27 demonstram, a partir de perfis de teste, os resultados obtidos pela ferramenta computacional em desenvolvimento e pelo gabarito produzido no software da Microsoft.

Tabela 24 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=8m.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 8 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	16	48	25	30	15	50	26
40	27	64	36	40	26	66	37
50	43	80	49	50	42	83	50
60	61	97	63	60	60	100	64
70	83	113	78	70	82	117	79
80	108	129	94	80	107	133	96
90	137	145	112	90	136	150	114
100	169	161	132	100	168	167	134
110	204	177	152	110	203	184	155
120	243	193	174	120	242	200	177

Fonte: Elaboração própria

Tabela 25 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=9m.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 9 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	19	61	32	30	18	61	31
40	33	81	45	40	32	81	45
50	51	102	61	50	50	101	60
60	73	122	78	60	72	122	77
70	99	143	96	70	98	142	96
80	129	163	116	80	128	162	116
90	163	183	138	90	162	183	138
100	201	204	162	100	200	203	161
110	243	224	186	110	242	223	186
120	289	244	213	120	288	244	212

Fonte: Elaboração própria

Tabela 26 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=10m.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 10 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	21	75	38	30	21	80	40
40	38	101	55	40	38	107	58
50	59	126	74	50	60	133	77
60	84	151	94	60	86	160	98
70	114	176	116	70	117	187	122
80	149	201	140	80	153	214	147
90	189	226	166	90	194	241	174
100	233	251	193	100	240	267	203
110	282	276	223	110	290	294	234
120	335	302	254	120	345	321	266

Fonte: Elaboração própria

Tabela 27 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=11m.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	Rotativa			
Caso de Teste:	Profundidade 11 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	27	108	54	30	26	107	53
40	48	144	76	40	47	143	76
50	75	180	102	50	74	179	101
60	107	216	129	60	106	215	128
70	146	252	159	70	145	251	158
80	190	288	191	80	189	287	190
90	241	323	225	90	239	323	225
100	297	359	262	100	296	359	262
110	359	395	301	110	358	395	301
120	427	431	343	120	426	431	343

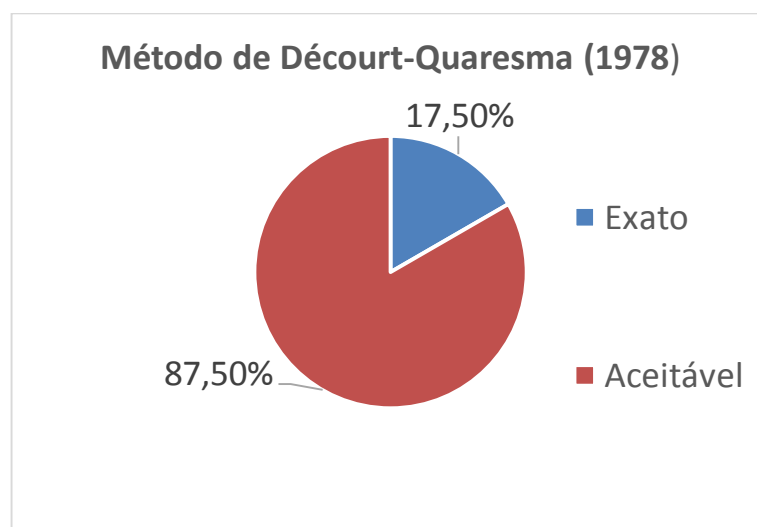
Fonte: Elaboração própria

Novamente, os testes iniciais evidenciaram que a rotina de cálculo implementada no software está correta. Da mesma forma que para o método de Aoki-Velloso, para este foram obtidos 120 resultados. Destes, 17,50% apresentaram os mesmos valores de capacidade de carga calculados por meio da planilha Excel e pelo software. Já 87,50% apresentaram valores de capacidade de carga semelhantes.

A maior diferença nos resultados foi de 19 toneladas (de 309 para 321), para o cálculo da resistência lateral Q_l na profundidade de 10 metros, para estaca com 120 cm de diâmetro. Analisando em porcentagem, essa diferença corresponde a apenas 5,92%. Essa diferença é atribuída aos arredondamentos matemáticos acumulados, principalmente pelo método de Décourt-Quaresma conter fórmulas um pouco mais elaboradas do que o método de Aoki-Velloso e de que seus coeficientes representaram grande relevância nos cálculos.

O Gráfico 4 resume o supracitado.

Gráfico 4 – Comparação de resultados gerados pelo método de Décourt-Quaresma



Fonte: Elaboração própria.

As Tabelas 28, 29, 30 e 31 demonstram, a partir de perfis de teste, os resultados obtidos pela ferramenta computacional em desenvolvimento e pelo gabarito produzido no software da Microsoft considerando a segunda condição em análise.

Tabela 28 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=8m, segunda condição.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 8 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	23	5	11	30	20	7	11
35	31	6	14	35	27	9	14
42	44	7	20	42	39	11	19

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 29 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=9m, segunda condição.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 9 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	30	6	14	30	27	9	14
35	41	6	18	35	36	10	18
42	59	8	26	42	52	12	25

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 30 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=10m, segunda condição.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 10 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	41	9	20	30	35	13	19
35	55	10	26	35	48	15	25
42	79	12	36	42	69	18	35

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 31 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=11m, segunda condição.

Cenário de Teste – Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015		Estaca:	PMQ			
Caso de Teste:	Profundidade 11 metros						
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	Ql	Qt	Estaca	Qp	Ql	Qt
30	54	10	25	30	44	16	23
35	73	12	34	35	64	19	33
42	104	15	47	42	94	23	47

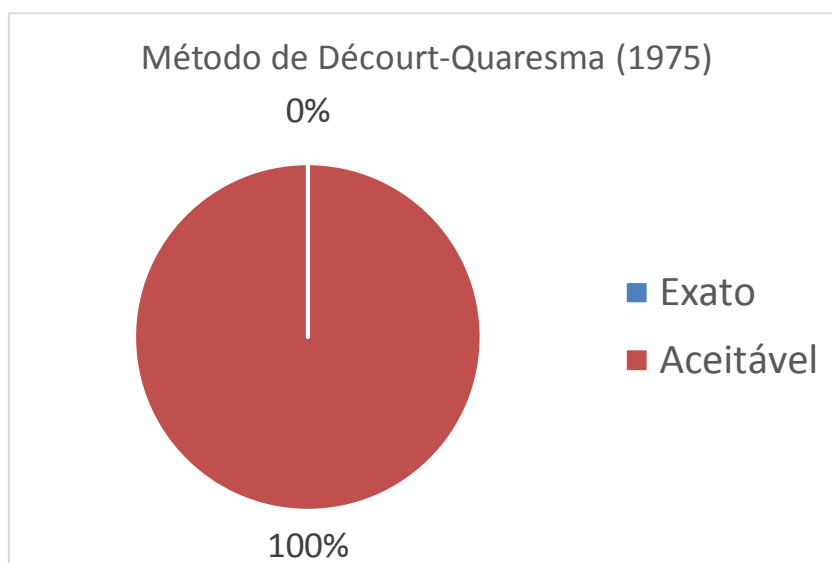
Fonte: Elaboração própria.

Mais uma vez, os testes iniciais evidenciaram que a rotina de cálculo implementada no software está correta. No entanto, nenhum dos 72 resultados foram exatos..

A maior diferença nos resultados foi de 10 toneladas, em dois casos da análise aos 11 metros de profundidade. Apesar da maior variabilidade dos resultados de resistência de ponta e resistência lateral, percebe-se que os resultados para a resistência total da estaca ficaram muito próximos. A diferença é atribuída aos arredondamentos matemáticos acumulados, principalmente pelo método de Décourt-Quaresma conter fórmulas um pouco mais elaboradas do que o método de Aoki-Velloso e de que seus coeficientes representaram grande relevância nos cálculos.

O Gráfico 5 resume o supracitado.

Gráfico 5 – Comparação dos resultados gerados para o método de Décourt-Quaresma, segunda condição.



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, para a terceira condição, os resultados estão apresentados nas Tabelas 32, 33 e 34.

Tabela 32 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=7m, terceira condição.

Cenário de Teste - Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015	Estaca:			Hélice contínua		
Caso de Teste:		Profundidade 7 metros					
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	QI	Qt	Estaca	Qp	QI	Qt
50	20	11	12	50	21	11	12
60	28	13	16	60	30	13	17
70	38	15	21	70	41	15	22
80	50	18	27	80	53	18	28

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 33 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=8m, terceira condição

Cenário de Teste - Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015	Estaca:			Hélice contínua		
Caso de Teste:		Profundidade 8 metros					
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	QI	Qt	Estaca	Qp	QI	Qt
50	31	13	17	50	32	13	18
60	45	15	24	60	47	15	24
70	61	18	31	70	64	18	32
80	80	20	40	80	83	21	45

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 34 – Comparação dos resultados fornecidos pelo software e pelo gabarito do excel, para o método de Décourt-Quaresma, L=9m, terceira condição

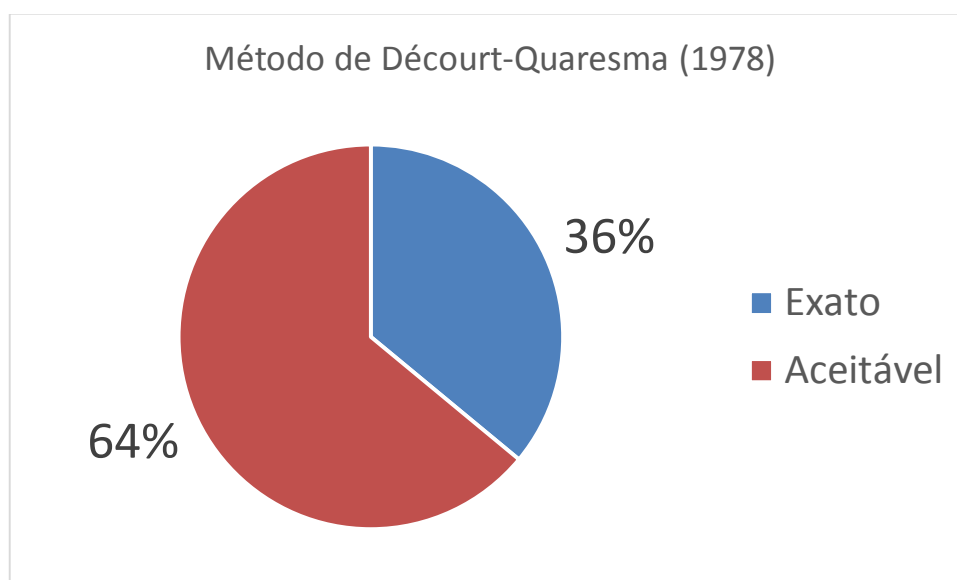
Cenário de Teste - Método de Décourt-Quaresma							
Data:	20/02/2015	Estaca:			Hélice contínua		
Caso de Teste:		Profundidade 9 metros					
Resultados Adquiridos pelo Software				Resultados Providos pelo Gabarito			
Estaca	Qp	QI	Qt	Estaca	Qp	QI	Qt
50	36	14	20	50	37	14	20
60	51	17	27	60	54	17	28
70	70	20	36	70	74	20	37
80	91	23	45	80	97	22	47

Fonte: Elaboração própria.

O terceiro e último teste de validação realizado para o método de Décourt-Quaresma analisou 36 resultados. Destes, 13 (36%) apresentaram exatamente o mesmo valor fornecido pelo software em desenvolvimento e pela planilha do excel. O restante, 23 resultados, representando 64%, apresentaram valores considerados aceitáveis. A maior diferença encontrada foi de 6 toneladas, isoladamente, no último cálculo.

O gráfico abaixo demonstra esses resultados.

Gráfico 6 – Comparação de resultados gerados pelo método de Décourt-Quaresma, terceira condição



Fonte: Elaboração própria.

4.5 Testes

Após verificar-se a confiabilidade da rotina de cálculo aplicada pelo software, fez-se testes para análise da capacidade de carga apresentada por estacas diferentes, em distintos tipos de solos.

Estes testes tiveram a finalidade de comparar os resultados de capacidade de carga total com diferentes estacas, verificando qual delas apresenta maiores valores de resistência.

Também utilizou-se destes testes para analisar qual método de cálculo adotado apresenta resultados mais conservadores e qual a diferença, em

porcentagem, da resistência total da estaca calculada por um método em relação a outro.

Para isso, foram utilizadas as sondagens apresentadas anteriormente no item 3.2.2.

As configurações de estaca utilizadas foram as seguintes:

- Hélice contínua: diâmetros de 35, 40, 50 e 60 cm;
- Rotativa: diâmetros de 30, 40, 50 e 60 cm;
- Pré-moldada quadrada, lados de 30, 35 e 42 cm;

Para o perfil "SP01" as capacidades de carga calculadas pelo software considerando estaca hélice contínua, rotativa e pré-moldada estão apresentadas nas Tabelas 35, 36 e 37, respectivamente.

Tabela 35 - Capacidade de carga calculada para estaca hélice contínua considerando sondagem "SP01"

H É L I C E C O N T Í N U A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
L (m) = 1							L (m) = 7						
35	11	2	5	5	3	3	35	25	16	16	34	7	16
40	14	3	6	7	4	4	40	33	19	20	44	8	20
50	22	3	10	10	5	6	50	51	24	30	69	10	31
60	31	4	14	15	6	8	60	73	28	40	99	12	44
L (m) = 2							L (m) = 8						
35	4	3	2	9	2	4	35	24	11	14	23	6	11
40	5	4	3	12	2	5	40	31	13	17	30	7	14
50	7	5	4	18	3	8	50	48	16	25	46	9	22
60	10	6	6	25	4	11	60	68	19	34	66	11	30
L (m) = 3							L (m) = 9						
35	5	7	4	17	3	8	35	21	11	12	22	6	11
40	6	8	5	23	4	10	40	28	13	16	29	7	14
50	10	9	7	35	5	16	50	43	16	23	45	8	21
60	14	11	10	50	6	22	60	62	19	32	64	10	29
L (m) = 4							L (m) = 10						
35	6	7	5	16	4	8	35	22	12	13	26	6	12
40	8	8	6	21	5	10	40	29	14	17	34	7	16
50	12	9	8	33	6	15	50	45	17	24	53	9	24
60	17	11	11	47	7	21	60	64	21	34	76	11	34
L (m) = 5							L (m) = 11						
35	16	8	9	16	4	8	35	26	13	15	27	7	13
40	21	9	12	20	5	10	40	34	15	19	35	8	17
50	33	11	17	32	6	15	50	54	19	29	54	11	26
60	47	13	24	45	8	21	60	77	23	40	78	13	36
L (m) = 6							L (m) = 12						

H É L I C E C O N T Í N U A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Veloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Veloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
35	23	13	14	28	6	13	35	26	18	17	37	7	17
40	30	15	18	36	7	17	40	34	20	21	48	8	22
50	46	19	26	56	9	26	50	54	25	31	74	11	34
60	66	23	35	81	11	36	60	77	30	42	107	13	48

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 36 - Capacidade de carga calculada para estaca rotativa considerando sondagem "SP01"

E S T A C A R O T A T I V A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Veloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Veloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
$L (m) = 1$							$L (m) = 7$						
30	13	1	5	7	3	4	30	37	9	18	43	6	19
40	23	1	9	11	4	6	40	65	12	30	76	9	34
50	36	2	15	17	5	8	50	101	15	46	118	11	51
60	51	2	21	25	6	12	60	145	18	65	170	13	73
$L (m) = 2$							$L (m) = 8$						
30	7	2	3	11	2	5	30	34	6	16	29	6	14
40	12	3	6	19	3	8	40	61	8	27	51	8	23
50	19	4	9	30	3	13	50	95	10	42	79	10	35
60	26	5	12	43	4	18	60	136	12	59	114	12	50
$L (m) = 3$							$L (m) = 9$						
30	10	5	6	22	3	10	30	31	6	14	28	5	13
40	17	6	9	38	4	16	40	55	8	25	49	7	22
50	27	8	14	60	5	26	50	86	10	38	76	9	34
60	38	9	18	86	6	36	60	123	12	54	110	11	48
$L (m) = 4$							$L (m) = 10$						
30	12	5	6	20	4	9	30	32	7	15	33	6	15
40	21	6	10	36	5	16	40	57	9	26	58	8	26
50	33	8	16	56	7	25	50	89	11	40	90	10	40
60	47	9	22	80	8	35	60	128	13	56	130	12	56
$L (m) = 5$							$L (m) = 11$						
30	24	4	11	20	4	9	30	39	7	18	34	7	16
40	42	6	19	35	5	16	40	68	10	31	60	9	27
50	65	7	28	54	7	24	50	107	11	47	93	12	42
60	94	9	41	77	8	34	60	153	13	66	134	14	59
$L (m) = 6$							$L (m) = 12$						
30	33	7	16	35	6	16	35	39	10	19	46	7	21
40	59	10	27	62	8	28	40	68	13	32	81	9	36
50	92	12	41	96	10	42	50	107	16	49	127	12	55
60	132	15	58	138	12	60	60	153	20	69	182	14	78

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 37 - Capacidade de carga calculada para estaca pré-moldada considerando sondagem "SP01"

PRÉ MOLDADA QUADRADA													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Veloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Veloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
<i>L (m) = 1</i>						<i>L (m) = 7</i>							
30	13	1	5	7	3	4	30	37	9	18	43	6	19
35	18	1	7	9	3	4	35	50	11	24	58	8	26
42	25	1	10	12	4	6	42	71	13	33	84	9	37
<i>L (m) = 2</i>						<i>L (m) = 8</i>							
30	7	2	3	11	2	5	30	34	6	16	29	6	14
35	9	3	4	15	2	6	35	47	7	21	39	7	18
42	13	3	6	21	3	9	42	67	9	30	56	9	26
<i>L (m) = 3</i>						<i>L (m) = 9</i>							
30	10	5	6	22	3	10	30	31	6	14	28	5	13
35	13	5	7	30	4	13	35	42	7	19	38	6	17
42	19	6	10	42	4	18	42	61	9	28	54	8	24
<i>L (m) = 4</i>						<i>L (m) = 10</i>							
30	12	5	6	20	4	9	30	32	7	15	33	6	15
35	16	5	8	28	4	12	35	44	8	20	44	7	20
42	23	6	11	40	5	18	42	63	9	28	64	8	28
<i>L (m) = 5</i>						<i>L (m) = 11</i>							
30	24	4	11	20	4	9	30	39	7	18	34	7	16
35	32	5	14	27	5	12	35	52	9	24	46	8	21
42	46	6	20	38	6	17	42	75	10	34	66	10	30
<i>L (m) = 6</i>						<i>L (m) = 12</i>							
30	33	7	16	35	6	16	30	39	10	19	46	7	21
35	45	9	21	47	7	21	35	52	11	25	62	8	28
42	65	10	30	68	8	30	42	75	14	35	90	10	40

Fonte: Elaboração própria.

Da mesma forma, para o perfil "SP02" as capacidades de carga calculadas pelo software considerando estaca hélice contínua, rotativa e pré-moldada estão apresentadas nas Tabelas 38, 39 e 40, respectivamente.

Tabela 38 - Capacidade de carga calculada para estaca hélice-contínua considerando sondagem "SP02"

H É L I C E C O N T Í N U A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
<i>L (m) = 1</i>							<i>L (m) = 10</i>						
35	2	2	1	6	1	2	35	9	5	5	9	3	4
40	3	3	2	8	1	3	40	12	6	7	12	3	6
50	4	3	2	12	1	5	50	18	8	10	19	4	9
60	6	4	4	17	2	7	60	26	9	14	27	5	12
<i>L (m) = 2</i>							<i>L (m) = 11</i>						
35	3	3	2	7	1	3	35	13	10	9	18	4	8
40	3	4	2	9	1	4	40	17	11	11	24	5	11
50	5	5	4	14	2	6	50	26	14	16	37	7	17
60	7	6	5	20	2	8	60	38	17	22	53	8	24
<i>L (m) = 3</i>							<i>L (m) = 12</i>						
35	2	2	1	5	1	2	35	21	12	13	24	7	12
40	3	3	2	6	1	2	40	27	14	16	31	9	16
50	4	3	2	10	1	4	50	42	17	23	49	11	24
60	6	4	4	14	2	6	60	60	21	32	70	13	33
<i>L (m) = 4</i>							<i>L (m) = 13</i>						
35	3	2	2	4	1	2	35	50	19	27	95	14	43
40	4	3	2	5	1	2	40	65	21	34	124	17	56
50	6	3	3	8	1	3	50	102	27	51	193	21	85
60	9	4	5	11	1	4	60	146	32	71	278	25	121
<i>L (m) = 5</i>							<i>L (m) = 14</i>						
35	4	3	2	5	1	2	35	58	19	30	97	17	45
40	5	4	3	6	1	2	40	76	21	38	126	19	58
50	8	5	5	10	1	4	50	118	27	58	197	24	88
60	11	6	6	14	2	6	60	170	32	80	283	29	124
<i>L (m) = 6</i>							<i>L (m) = 15</i>						
35	5	3	3	6	1	2	35	58	19	30	97	17	45
40	7	4	4	7	2	3	40	76	21	38	126	19	58
50	10	5	6	11	2	5	50	118	27	58	197	24	88
60	14	6	8	16	3	7	60	170	32	80	283	29	124
<i>L (m) = 7</i>							<i>L (m) = 16</i>						
35	5	3	3	6	1	2	35	58	19	30	97	17	45
40	6	4	4	8	1	3	40	76	21	38	126	19	58
50	9	5	5	13	2	6	50	118	27	58	197	24	88
60	12	6	7	18	2	8	60	170	32	80	283	29	124
<i>L (m) = 8</i>							<i>L (m) = 17</i>						
35	5	3	3	6	1	2	35	58	19	30	97	17	45
40	7	4	4	7	2	3	40	76	21	38	126	19	58
50	10	5	6	11	2	5	50	118	27	58	197	24	88
60	14	6	8	16	3	7	60	170	32	80	283	29	124
<i>L (m) = 9</i>													
35	6	4	4	8	2	4							
40	7	5	4	10	2	4							
50	11	6	6	16	2	7							
60	16	8	9	22	3	10							

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 39 - Capacidade de carga calculada para estaca rotativa considerando sondagem "SP02"

E S T A C A R O T A T I V A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
L (m) = 1							L (m) = 10						
30	4	2	2	8	1	3	30	13	3	6	12	3	6
40	7	2	3	13	1	5	40	23	4	10	20	4	9
50	11	3	5	20	1	8	50	36	5	16	31	5	14
60	15	3	7	29	2	12	60	51	6	22	45	6	20
L (m) = 2							L (m) = 11						
30	5	2	2	9	1	4	30	19	6	10	23	4	10
40	8	3	4	16	1	6	40	34	7	16	40	6	18
50	13	4	6	24	2	10	50	52	9	24	62	7	27
60	18	5	9	34	2	14	60	75	11	34	90	9	39
L (m) = 3							L (m) = 12						
30	4	2	2	6	1	2	30	30	7	14	30	7	14
40	7	2	3	11	1	4	40	53	9	24	53	9	24
50	11	3	5	16	1	6	50	83	11	37	83	12	38
60	15	3	7	23	2	10	60	119	13	52	119	14	53
L (m) = 4							L (m) = 13						
30	5	1	2	5	1	2	30	61	8	27	119	13	52
40	8	2	4	9	1	4	40	109	11	48	212	18	92
50	12	2	5	13	1	5	50	169	13	72	230	23	101
60	17	2	7	19	2	8	60	244	16	104	476	27	201
L (m) = 5							L (m) = 14						
30	6	2	3	6	1	2	30	71	8	31	122	16	55
40	10	2	4	10	1	4	40	126	11	54	216	21	94
50	15	3	7	16	2	7	50	197	13	84	337	26	145
60	21	4	10	25	2	10	60	283	16	119	485	32	206
L (m) = 6							L (m) = 15						
30	7	2	3	7	1	3	30	71	8	31	122	16	55
40	13	2	6	12	2	5	40	126	11	54	216	21	94
50	19	3	8	19	2	8	50	197	13	84	337	26	145
60	28	4	12	27	3	12	60	283	16	119	485	32	206
L (m) = 7							L (m) = 16						
30	6	2	3	8	1	3	30	71	8	31	122	16	55
40	11	2	5	14	1	6	40	126	11	54	216	21	94
50	17	3	8	21	2	9	50	197	13	84	337	26	145
60	24	4	11	30	2	12	60	283	16	119	485	32	206
L (m) = 8							L (m) = 17						
30	7	2	3	7	1	3	30	71	8	31	122	16	55
40	13	2	6	12	2	5	40	126	11	54	216	21	94
50	19	3	8	19	2	8	50	197	13	84	337	26	145
60	28	4	12	27	3	12	60	283	16	119	485	32	206
L (m) = 9													
30	8	2	4	10	1	4							
40	14	3	6	17	2	7							
50	22	4	10	26	3	11							
60	31	5	14	38	3	16							

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 40 - Capacidade de carga calculada para estaca pré-moldada considerando sondagem "SP02"

PRÉ MOLDADA QUADRADA													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
L (m) = 1						L (m) = 10							
30	4	2	2	8	1	3	30	13	3	6	12	3	6
35	5	2	2	10	1	4	35	18	4	8	16	3	7
42	8	2	4	14	1	6	42	25	4	11	22	4	10
L (m) = 2						L (m) = 11							
30	5	2	2	9	1	4	30	19	6	10	23	4	10
35	6	3	3	12	1	5	35	26	6	12	31	5	14
42	9	3	4	17	1	7	42	37	8	18	44	6	20
L (m) = 3						L (m) = 12							
30	4	2	2	6	1	2	30	30	7	14	30	7	14
35	5	2	2	8	1	3	35	41	8	19	41	8	19
42	8	2	4	12	1	5	42	59	9	27	59	10	27
L (m) = 4						L (m) = 13							
30	5	1	2	5	1	2	30	61	8	27	119	13	52
35	6	1	2	7	1	3	35	83	9	36	162	16	71
42	9	2	4	10	1	4	42	120	11	52	233	19	100
L (m) = 5						L (m) = 14							
30	6	2	3	6	1	2	30	71	8	31	122	16	55
35	7	2	3	8	1	3	35	97	9	42	165	18	73
42	10	3	5	11	1	4	42	139	11	60	238	22	104
L (m) = 6						L (m) = 15							
30	7	2	3	7	1	3	30	71	8	31	122	16	55
35	10	2	4	9	1	4	35	97	9	42	165	18	73
42	14	3	6	13	2	6	42	139	11	60	238	22	104
L (m) = 7						L (m) = 16							
30	6	2	3	8	1	3	30	71	8	31	122	16	55
35	9	2	4	11	1	4	35	97	9	42	165	18	73
42	12	3	6	15	2	6	42	139	11	60	238	22	104
L (m) = 8						L (m) = 17							
30	7	2	3	7	1	3	30	71	8	31	122	16	55
35	10	2	4	9	1	4	35	97	9	42	165	18	73
42	14	3	6	13	2	6	42	139	11	60	238	22	104
L (m) = 9													
30	8	2	4	10	1	4							
35	11	3	5	13	2	6							
42	15	3	7	19	2	8							

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, para o perfil "SP03" as capacidades de carga calculadas pelo software considerando estaca hélice contínua, rotativa e pré-moldada estão apresentadas nas Tabelas 41, 42 e 43, respectivamente.

Tabela 41 - Capacidade de carga calculada para estaca hélice contínua considerando sondagem "SP03"

H É L I C E C O N T Í N U A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
<i>L (m) = 1</i>							<i>L (m) = 6</i>						
35	7	5	4	16	4	8	35	37	13	20	64	11	30
40	9	6	6	21	5	10	40	49	15	25	83	12	38
50	14	8	8	33	6	15	50	76	19	38	130	15	58
60	20	9	11	47	7	21	60	109	23	52	187	19	82
<i>L (m) = 2</i>							<i>L (m) = 7</i>						
35	8	9	6	25	5	12	35	43	14	22	72	12	33
40	10	10	8	33	6	15	40	56	16	28	93	14	42
50	16	13	11	51	7	23	50	88	20	43	146	18	65
60	23	15	15	73	9	32	60	126	25	60	210	22	92
<i>L (m) = 3</i>							<i>L (m) = 8</i>						
35	26	9	14	43	7	20	35	50	16	26	111	13	49
40	34	10	17	56	8	25	40	65	19	33	145	15	64
50	52	13	26	87	10	38	50	102	24	50	226	19	98
60	75	15	36	125	13	55	60	146	28	69	325	23	139
<i>L (m) = 4</i>							<i>L (m) = 9</i>						
35	28	10	15	47	8	22	35	50	19	27	129	13	56
40	37	11	19	61	9	28	40	65	21	34	168	15	73
50	57	14	28	95	11	42	50	102	27	51	262	19	112
60	82	17	39	136	14	60	60	146	32	71	377	23	160
<i>L (m) = 5</i>													
35	32	10	16	51	9	24							
40	41	11	20	66	10	30							
50	64	14	31	103	13	46							
60	92	17	43	148	16	65							

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 42 - Capacidade de carga calculada para estaca rotativa considerando sondagem "SP03"

ESTACA ROTATIVA													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
L (m) = 1							L (m) = 6						
30	14	4	7	20	4	9	30	46	6	20	80	10	36
40	25	5	12	36	5	16	40	81	8	35	143	13	62
50	39	6	18	55	7	24	50	126	9	54	223	17	96
60	55	8	25	80	8	35	60	181	11	76	320	20	136
L (m) = 2							L (m) = 7						
30	16	6	8	32	4	14	30	53	6	23	90	11	40
40	29	8	14	56	6	24	40	93	8	40	160	15	70
50	45	10	22	87	8	38	50	146	10	62	250	19	107
60	64	12	30	125	9	53	60	210	12	88	359	23	152
L (m) = 3							L (m) = 8						
30	32	4	14	54	7	24	30	61	7	27	139	12	60
40	56	5	24	95	9	41	40	109	9	47	248	17	106
50	87	6	37	149	11	64	50	169	12	72	386	21	162
60	125	8	53	214	14	91	60	244	14	103	556	25	232
L (m) = 4							L (m) = 9						
30	34	4	15	59	7	26	30	61	8	27	162	12	69
40	61	6	26	104	10	45	40	109	11	48	288	17	122
50	95	7	40	162	12	69	50	169	13	72	449	21	188
60	136	8	57	233	15	99	60	244	16	104	647	25	268
L (m) = 5													
30	39	4	17	64	8	28							
40	68	6	29	113	11	49							
50	107	7	45	176	14	76							
60	153	8	64	253	17	108							

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 43 - Capacidade de carga calculada para estaca pré-moldada considerando sondagem "SP03"

P R É M O L D A D A Q U A D R A D A													
Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso			Estaca (cm)	Décourt-Quaresma			Aoki-Velloso		
	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)		QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)	QP (ton)	QL (ton)	QT (ton)
<i>L (m) = 1</i>							<i>L (m) = 6</i>						
30	14	4	7	20	4	9	30	46	6	20	80	10	36
35	19	4	9	27	5	12	35	62	7	27	109	12	48
42	27	5	12	39	6	18	42	89	8	38	157	14	68
<i>L (m) = 2</i>							<i>L (m) = 7</i>						
30	16	6	8	32	4	14	30	53	6	23	90	11	40
35	22	7	11	43	5	19	35	72	7	31	123	13	54
42	32	8	16	61	6	26	42	103	9	44	176	16	76
<i>L (m) = 3</i>							<i>L (m) = 8</i>						
30	32	4	14	54	7	24	30	61	7	27	139	12	60
35	43	4	18	73	8	32	35	83	8	36	190	15	82
42	61	5	26	105	9	45	42	120	10	52	273	18	116
<i>L (m) = 4</i>							<i>L (m) = 9</i>						
30	34	4	15	59	7	26	30	61	8	27	162	12	69
35	47	5	20	80	9	35	35	83	9	36	220	15	94
42	67	6	29	115	10	50	42	120	11	52	317	18	134
<i>L (m) = 5</i>													
30	39	4	17	64	8	28							
35	52	5	22	86	10	38							
42	75	6	32	124	12	54							

Fonte: Elaboração própria.

5 CONCLUSÕES

5.1 Quanto à eficiência do software desenvolvido

Ao término deste trabalho, pode-se dizer que o objetivo de desenvolver uma ferramenta computacional simples para a realização dos cálculos da capacidade de carga de estacas foi alcançado.

Após realizados seis testes para a validação dos resultados, comparando-se os valores apresentados pela ferramenta computacional e por gabaritos elaborados em planilhas do excel, viu-se que o algoritmo de cálculo foi implementado dentro da linguagem de programação da maneira correta.

Apesar da maioria dos resultados de capacidade de carga da estaca apresentarem-se não exatamente iguais, leva-se em conta os arredondamentos acumulados, principalmente para o método de Decourt-Quaresma, onde, para uma diferença de 0,05 nos coeficientes α ou β , pode surgir uma grande diferença no cálculo da capacidade de carga.

Assim, confirma-se a relevância deste trabalho, que vem ao encontro dos interesses da engenharia civil em elaborar projetos de qualidade.

5.2 Quanto aos testes realizados

Garantida a confiabilidade de seus resultados, fez-se, então, testes para verificar a capacidade de carga de estacas quando analisadas em diferentes solos.

Verificou-se que, para o perfil de sondagem “SP01”, a melhor solução de estaca em termos de capacidade de carga seria estaca do tipo rotativa, por apresentar sempre capacidade de carga total maior do que a pré-moldada e hélice contínua.

Viu-se, para o perfil de sondagem “SP02”, que embora com metodologias de execução bastante diferentes, as estacas hélice contínua e pré-moldada apresentaram capacidade de carga total muito parecidas quando analisadas em solo argiloso. Quando vistas em solo mais resistente, areno-siltoso, entre 12 e 17 metros de profundidade, a estaca pré-moldada apresenta ligeira vantagem, no entanto, a estaca rotativa ainda apresenta valores superiores às outras duas.

Os testes com o perfil “SP03” ratificaram que a estaca rotativa apresenta maiores valores de capacidade de carga em todos os solos analisados.

Pelos valores mostrados nas Tabelas de XX à XX, pode concluir que o método de Aoki-Velloso fornece valores de capacidade de carga total 25% à 60% maiores do que o método de Décourt-Quaresma quando analisa-se solos arenosos e argilosos.

Por outro lado, quando calculada a capacidade de carga das estacas em solos siltosos, o método de Décourt-Quaresma pode apresentar valores superiores na ordem de 15% à 25%. Desse modo, pode-se concluir que, pelo maior número de coeficientes utilizados nos cálculos e pelos resultados gerados, que o método de Décourt-Quaresma apresenta-se menos conservador, mais próximo à economia.

5.3 Sugestões de trabalhos futuros

Para a elaboração de trabalhos futuros sugere-se a implementação do cálculo da capacidade de carga utilizando os coeficientes parciais de resistência de ponta e por atrito lateral. Deste modo, poder-se-á comparar o cálculo da resistência total já implementado, utilizando o fator de segurança global, com a resistência total calculada utilizando os coeficientes parciais.

Também sugere-se que seja elaborado o módulo contábil, com a finalidade de gerar um relatório com estimativas de utilização de material e de custo financeiro. Neste módulo, informar-se-á ao software a carga vertical recebida pelos pilares em análise, e escolher-se-á a solução em estaca conforme cálculos realizados pelo módulo já desenvolvido. Deste modo, o software calcularia a quantidade de estacas necessárias para suportar a carga do pilar, bem como as dimensões mínimas do bloco de fundação, o volume de concreto e o custo total de material e mão de obra.

Por último, indica-se realizar outros testes de validação com outras literaturas ou com outras ferramentas computacionais que possuam a mesma finalidade, para confirmar de vez a sua confiabilidade.

REFERÊNCIAS

AÇÃO ENGENHARIA, **SondGalpao2**. 2011. 1 fotografia, color. 54 cm x 41 cm. Disponível em < <http://www.acaoengenharia.com.br/wp-content/uploads/2011/08/20-SondGalpao2.jpg>>. Acesso em: 06 jan. 2015.

ALONSO, Urbano Rodriguez. Estacas injetadas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 361-372.

ALONSO, Urbano Rodriguez. Estacas premoldadas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 373-399.

ANTUNES, William Roberto; TAROZZO, Hélio. Estacas Tipo Hélice Contínua. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 345-348.

AOKI, N.; VELLOSO, D. **An Approximate method to estimate the bearing capacity of piles**. In: **PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS ENGINEERING**, 5., 1975, Buenos Aires. Proceedings... Buenos Aires: 1975. V.1. p.367-376.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo – Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

BARONI, Magno. **Fundações e estruturas de contenção**. Notas de Aula, 2013, não paginado.

BARROS, Nestor Benedito Fracasse de. **Previsão de recalque e análise de confiabilidade de fundações em estacas hélice contínua**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.

BENAPAR. **Catálogo comercial: túneis, fundações, geotécnica e infraestruturas**. 2ª ed. 2011. 46 p.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; CARVALHO, Luis Fernando Meireles. **Quatro edifícios, cinco locais de implantação, vinte soluções de fundações.** São Paulo: Edgard Bluncher, 2007.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A.R. **Capacidade de carga de estacas a partir de valores SPT.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 6., 1978, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1978. V.1. p.45-54.

DÉCOURT, Luciano; ALBIERO, José Henrique; CINTRA, José Carlos Ângelo, Análise e projeto de fundações profundas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática.** 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 265-301.

DEITEL H. M.; DEITEL, P. J.; tradução: Edson Furmankiewicz. **Java, como programar.** São Paulo; Pearson Prentice Hall. 6ª Ed. 2005.

FALCONI, Frederico F; FILHO, João de Souza; FÍGARO, Nélio Descio. Estacas Escavadas sem Lama Bentonítica. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática.** 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 336-344.

FUNDESP. **Catálogo comercial: Fundações especiais.** 2012. 80 p.

FXSONDAGENS. **Estaca Strauss.** 2012. Não paginado. Disponível em <http://www.fxsondagens.com.br/estaca-strauss.html>>. Acesso em: 09 jan. 2015.

GEOFUND. **Catálogo comercial: Fundações especiais.** 1ª Ed. 2012. 61 p.

GERDAU. **Catálogo comercial: estacas metálicas.** 3ª Ed. 2008. 81 p.

OLIVEIRA, Rosnei Stefani de. **Programa computacional para projeto estrutural de sapatas rígidas isoladas.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/39196>> .Acesso em: 24 nov. 2014.

QUARESMA, Arthur Rodrigues et al. Investigações Geotécnicas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática.** 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 119-162.

REESE, Lymon C.; ISENHOWER, William M.; WANG Shin-Tower. **Analysis and design of shallow and deep foundations**. United States: John Wiley & sons, inc., 2006.

SILVEIRA, Paulo et al.. **Introdução à arquitetura e design de software: uma visão sobre a plataforma Java**. Rio de Janeiro; Elsevier, 2012.

TEIXEIRA, Alberto Henriques; GODOY, Nielson Silveira de. Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: HACHICH, W et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: PINI, 1998. P. 227-264.

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

VELLOSO, Dirceu; LOPES, Francisco de Rezende. Concepção de obras de fundações. In: HACHICH et al (Edit.). **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: PINI, 1998. P. 211-226.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Modelo de relatório fornecido pelo software



Relatório de Capacidade de Carga

Perfil: Modelo

Alternativa: 0

Referência: Modelo

Estaca escolhida: Hélice Contínua (HC)

Profundidade (m)	Nspt
1	5
2	5
3	5
4	5

Solo	De (m)	Até (m)
Areia	0.0	3.0
Silte Arenoso	3.0	4.0

Estaca (cm)	Método Decourt			Método Aoki		
	Op	Qi	Ot	Op	Qi	Ot
<i>L (m) = 1</i>						
70	24	4	11	52	3	22
80	31	5	14	68	3	28
90	39	6	18	85	4	35
100	48	6	21	105	4	43
<i>L (m) = 2</i>						
70	24	4	11	52	3	22
80	31	5	14	68	3	28
90	39	6	18	85	4	35
100	48	6	21	105	4	43
<i>L (m) = 3</i>						
70	24	4	11	52	3	22
80	31	5	14	68	3	28
90	39	6	18	85	4	35
100	48	6	21	105	4	43
<i>L (m) = 4</i>						
70	15	4	7	36	3	15
80	19	5	9	47	4	20
90	24	6	12	59	4	25
100	30	6	14	72	5	30

Wed Jun 24 00:00:00 BRT 2015

© Todos os direitos reservados - Grupo MAEC - Universidade Federal do Pampa

APÊNDICE B – Modelo de planilha utilizada para validação dos resultados (Método de Aoki-Velloso)

VALIDAÇÃO MÉTODO DE AOKI-VELLOSO												
RESPONSÁVEL:		Eduardo da Costa										
Data:		_/_/__										
L (m) =		7										
<i>Diâmetro estaca (m)</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>K (ton/m²)</i>	<i>alfa (%)</i>	<i>Nspt</i>	<i>Nspt médio</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>FS global</i>	<i>QL</i>	<i>QP</i>	<i>QT</i>
0,5	0,200	1,570	70	0,022	20	20	3	4	2,5	12	93	42
0,6	0,280	1,880	70	0,022	20	20	3	4	2,5	14	130	57
0,7	0,380	2,200	70	0,022	20	20	3	4	2,5	16	177	77
0,8	0,500	2,510	70	0,022	20	20	3	4	2,5	19	233	100
										FS GLOBAL		
L (m) =		8										
<i>Diâmetro estaca (m)</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>K (ton/m²)</i>	<i>alfa (%)</i>	<i>Nspt</i>	<i>Nspt médio</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>FS global</i>	<i>QL</i>	<i>QP</i>	<i>QT</i>
0,5	0,200	1,570	70	0,022	25	25	3	4	2,5	15	116	52
0,6	0,280	1,880	70	0,022	25	25	3	4	2,5	18	163	72
0,7	0,380	2,200	70	0,022	25	25	3	4	2,5	21	221	96
0,8	0,500	2,510	70	0,022	25	25	3	4	2,5	24	291	126
										FS GLOBAL		
L (m) =		9										
<i>Diâmetro estaca (m)</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>K (ton/m²)</i>	<i>alfa (%)</i>	<i>Nspt</i>	<i>Nspt médio</i>	<i>F1</i>	<i>F2</i>	<i>FS global</i>	<i>QL</i>	<i>QP</i>	<i>QT</i>
0,5	0,200	1,570	30	0,022	30	30	3	4	2,5	7	60	26
0,6	0,280	1,880	30	0,022	30	30	3	4	2,5	9	84	37
0,7	0,380	2,200	30	0,022	30	30	3	4	2,5	10	114	49
0,8	0,500	2,510	30	0,022	30	30	3	4	2,5	12	150	64
										FS GLOBAL		

APÊNDICE C – Modelo de planilha utilizada para validação dos resultados (Método de Décourt-Quaresma)

VALIDAÇÃO MÉTODO DE DÉCORT - QUARESMA											
RESPONSÁVEL:		Eduardo da Costa									
Data:		_/_/									
7											
<i>L (m) =</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>alfa</i>	<i>beta</i>	<i>Nl (Nspt)</i>	<i>Np (Nspt médio)</i>	<i>C</i>	<i>FS global</i>	QL	QP	QT
0,5	0,200	1,570	1	1	20	20	14	2,5	12	56	27
0,6	0,280	1,880	1	1	20	20	14	2,5	14	78	37
0,7	0,380	2,200	1	1	20	20	14	2,5	17	106	49
0,8	0,500	2,510	1	1	20	20	14	2,5	19	140	63
FS GLOBAL											
8											
<i>L (m) =</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>alfa</i>	<i>beta</i>	<i>Nl (Nspt)</i>	<i>Np (Nspt médio)</i>	<i>C</i>	<i>FS global</i>	QL	QP	QT
0,5	0,200	1,570	1	1	25	25	14	2,5	15	70	33
0,6	0,280	1,880	1	1	25	25	14	2,5	18	98	46
0,7	0,380	2,200	1	1	25	25	14	2,5	21	133	61
0,8	0,500	2,510	1	1	25	25	14	2,5	23	175	79
FS GLOBAL											
9											
<i>L (m) =</i>	<i>Área (m²)</i>	<i>Perímetro (m)</i>	<i>alfa</i>	<i>beta</i>	<i>Nl (Nspt)</i>	<i>Np (Nspt médio)</i>	<i>C</i>	<i>FS global</i>	QL	QP	QT
0,5	0,200	1,570	1	1	30	30	14	2,5	17	84	40
0,6	0,280	1,880	1	1	30	30	14	2,5	21	118	55
0,7	0,380	2,200	1	1	30	30	14	2,5	24	160	73
0,8	0,500	2,510	1	1	30	30	14	2,5	28	210	95
FS GLOBAL											