



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Matheus Macêdo Guimarães Aguiar

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA EM VBA PARA CÁLCULO DA  
CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES POR ESTACAS

Palmas – TO

2018

Matheus Macêdo Guimarães Aguiar

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA EM VBA PARA CÁLCULO DA  
CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES POR ESTACAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc Edivaldo Alves dos Santos.

Palmas – TO

2018

Matheus Macêdo Guimarães Aguiar

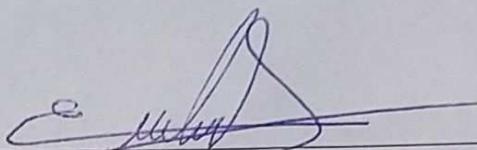
DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA EM VBA PARA CÁLCULO DA  
CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES POR ESTACAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc Edivaldo Alves dos Santos.

Aprovado em: 06 / 11 / 2018

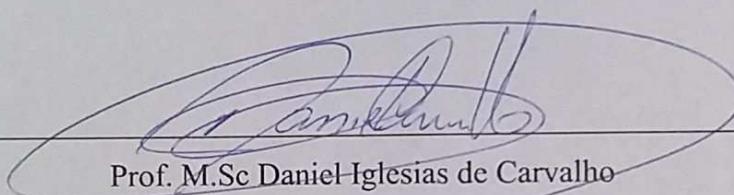
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.Sc Edivaldo Alves dos Santos

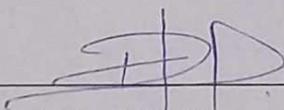
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc Daniel Iglesias de Carvalho

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.Sc Roldão Pimentel de Araújo Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me fortalecido durante este trabalho e por me permitir alcançar esta etapa tão importante da minha vida.

A minha família, em especial minha mãe, irmã e avós, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, pois foram elas que me inspiraram através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades.

Agradeço o meu orientador Professor Edivaldo Alves dos Santos pelos conselhos e ensinamentos transmitidos ao longo deste trabalho.

A Universidade e aos professores quero deixar uma palavra de gratidão, pois me proporcionaram dias de aprendizagem.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram durante esses cinco anos, pois sem elas não teria sido possível.

## RESUMO

Para elaborar um projeto de fundações faz-se necessário realizar um estudo do subsolo subjacente a edificação. Além dos dados do subsolo, o profissional responsável pelo projeto de fundações deve ter posse dos dados da estrutura, tais como dimensões, posição e carga dos elementos estruturais. O profissional responsável pelo projeto da estrutura passa essas informações a partir de uma “planta de cargas”. Com base nos dados do subsolo e da estrutura é determinado o tipo de fundação a ser utilizada, podendo ser fundações rasas ou profundas. Definido o tipo de fundação a ser utilizada, no caso de fundações profundas utilizando estacas, deve-se realizar a previsão da capacidade de carga do solo. Essa previsão pode ser realizada utilizando método semi-empíricos. Além da definição da capacidade de carga do solo, deve-se verificar se o elemento de fundação não irá apresentar recalques excessivos. Essa previsão pode ser realizada utilizando a metodologia proposta por Aoki (CINTRA E AOKI, 2010). A utilização de ferramentas computacionais é essencial para realizar essas atividades, otimizando tempo para a elaboração do projeto. O presente trabalho apresenta uma ferramenta computacional desenvolvida com o objetivo de realizar o dimensionamento geotécnico de fundações por estacas. A ferramenta foi desenvolvida no software Microsoft Excel, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA). A partir da ferramenta desenvolvida pode-se realizar a previsão da capacidade de carga do solo utilizando três métodos semi-empíricos: Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira. Além do cálculo da capacidade de carga do solo pode-se estimar o recalque a partir da metodologia proposta por Aoki. Para avaliar os resultados apresentados pela ferramenta foi realizado um comparativo com dados provenientes de ensaio de prova de carga estática. Os resultados foram satisfatórios, onde os dados estimados pela ferramenta desenvolvida apresentaram valores próximos aos dados da prova de carga estática, mostrando confiabilidade na apresentação dos resultados.

Palavras-chave: Fundações. Estacas. Capacidade de Carga. Recalque.

## **ABSTRACT**

In order to prepare a foundation design, it is necessary to carry out a study of the subsoil underlying the building. In addition to the subsoil data, the professional responsible for the foundation design must have data from the structure, such as dimensions, position and load of the structural elements. The professional responsible for the structural design passes these data in a “loads plant”. According to the subsoil and structural data, the foundation type to be used is defined, either shallow or deep foundation. With the foundation type defined, in the case of deep foundations using piles, it is necessary to evaluate the bearing capacity of the soil. It is possible to do this evaluation using semi-empirical methods. In addition to the definition of the bearing capacity of the soil, it is necessary to analyze if the foundation element will not exhibit excessive settlement. This prediction can be realized using the methodology proposed by Aoki (CINTRA E AOKI, 2010). Using computational tools is necessary to realize these activities, optimizing time during the project design. The work presents a computational tool developed with the purpose of perform the geotechnical dimensioning of pile foundation. The tool was developed in Microsoft Excel software, using the programming language Visual Basic for Applications (VBA). With the developed tool, it is possible to perform the prediction of the bearing capacity of the soil using three semi-empirical methods: Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma and Teixeira. In addition to the bearing capacity of the soil, it is possible to estimate the settlement using the methodology proposed by Aoki. In order to evaluate the results presented by the tool, a study was made comparing with data from static load test. The results were satisfactory, where the data evaluated by the developed tool presented values close to the data from static load test, showing reliability in the presentation of the results.

**Keywords:** Foundations. Piles. Bearing Capacity. Settlement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Equipamento utilizado e etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem; (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT).....	22
Figura 2.2: Fundação superficial (a) e profunda (b).....	23
Figura 2.3: Principais tipos de fundações superficiais. ....	24
Figura 2.4: Tipos de fundações profundas: (a) estaca, (b) tubulão e (c) caixão.....	25
Figura 2.5: Exemplo de planta de cargas.....	26
Figura 2.6: Mobilização progressiva da resistência de um elemento de fundação.....	28
Figura 2.7: Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga do elemento de fundação.....	28
Figura 2.8: Parcelas de recalque da estaca. ....	36
Figura 2.9: Diagrama de esforço normal na estaca. ....	37
Figura 2.10: Recalque do solo. ....	38
Figura 2.11: Propagação de tensões devido à reação de ponta.....	39
Figura 2.12: Propagação de tensões devido às cargas laterais. ....	39
Figura 2.13: Exemplo de curva carga x recalque. ....	41
Figura 2.14: Sistema de medição para prova de carga com compressão. ....	42
Figura 3.1: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 1.....	47
Figura 3.2: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 2.....	48
Figura 3.3: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 3.....	49
Figura 3.4: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 4.....	50
Figura 3.5: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 5.....	51
Figura 3.6: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 6.....	52
Figura 3.7: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 7.....	53
Figura 4.1: Habilitar macros.....	54
Figura 4.2: Tela inicial da planilha.....	54
Figura 4.3: Termo de responsabilidade do usuário.....	55
Figura 4.4: Menu do programa. ....	55
Figura 4.5: Cadastro dos dados da estaca.....	56
Figura 4.6: Tela apresentando os dados das estacas cadastradas. ....	57
Figura 4.7: Alterar dados da estaca. ....	57
Figura 4.8: Tela para cadastro do laudo de sondagem. ....	58
Figura 4.9: Gráfico $N_{spt}$ x Profundidade. ....	59
Figura 4.10: Tela para cálculo da capacidade de carga do solo. ....	59
Figura 4.11: Resultado do cálculo da capacidade de carga do solo para a estaca 1.....	60
Figura 4.12: Gráfico de capacidade de carga x profundidade. ....	61
Figura 4.13: Planilha de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Aoki-Velloso. ....	62
Figura 4.14: Planilha de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Décourt-Quaresma. ....	62
Figura 4.15: Planilha de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Teixeira. ....	63
Figura 4.16: Tela para cadastro da carga estrutural dos pilares.....	64
Figura 4.17: Tela apresentando todos os pilares cadastrados.....	65
Figura 4.18: Tela para alteração de dados do pilar.....	65

Figura 4.19: Tela para cálculo da quantidade de estacas.....	66
Figura 4.20: Tela para cálculo da quantidade de estacas preenchida. ....	67
Figura 4.21: Cálculo da quantidade de estacas necessárias para o pilar 1.....	68
Figura 4.22: Cálculo da quantidade de estacas necessárias para o pilar 1, utilizando à estaca "Estaca 2". ....	69
Figura 4.23: Tela para alteração da quantidade de estacas.....	70
Figura 4.24: Quantidade de estacas e curva Carga-Recalque.....	70
Figura 4.25: Tela resumo com os dados calculados. ....	71
Figura 4.26: Tela do programa para emissão do relatório. ....	72
Figura 4.27: Laudo de Sondagem.....	73
Figura 4.28: Capacidade de carga do solo pelo método Aoki-Velloso, para as três estacas cadastradas.....	74
Figura 4.29: Análise de recalque e resumo de estacas por pilar.....	75
Figura 4.30: Laudo de sondagem utilizado para a elaboração do projeto. ....	76
Figura 4.31: Diâmetros cadastrados para avaliação preliminar.....	77
Figura 4.32: Capacidade de carga do solo para a estaca 1. ....	78
Figura 4.33: Capacidade de carga do solo para a estaca 2. ....	78
Figura 4.34: Capacidade de carga do solo para a estaca 3. ....	79
Figura 4.35: Intervalos de cargas cadastrados na planilha. ....	80
Figura 4.36: Quantidade de estacas necessárias para o intervalo de carga 7.....	80
Figura 4.37: Resultados para o intervalo de cargas 7.....	81
Figura 4.38: Quantidade de estacas por intervalo de carga. ....	82
Figura 4.39: Laudo de sondagem 1. ....	83
Figura 4.40: Laudo de sondagem 2. ....	84
Figura 4.41: Resultado para fase de carregamento EPC1. ....	85
Figura 4.42: Resultado para fase de carregamento EPC2. ....	85
Figura 4.43: Capacidade de carga do solo limitando a resistência de ponta - Laudo 1.....	86
Figura 4.44: Capacidade de carga do solo limitando a resistência de ponta - Laudo 2.....	86
Figura 4.45: Capacidade de carga do solo sem limitar a resistência de ponta - Laudo 1.....	87
Figura 4.46: Capacidade de carga do solo sem limitar a resistência de ponta - Laudo 2.....	87
Figura 4.47: Gráfico de capacidade de carga em função da profundidade para o Laudo 1. ....	89
Figura 4.48: Curva carga-recalque para o laudo 1.....	90
Figura 4.49: Curva carga-recalque para o laudo 2.....	91
Figura 4.50: Gráfico comparativo entre as curvas carga-recalque. ....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Coeficiente K em razão de atrito $\alpha$ .....	31
Tabela 2.2: Fatores de correção F1 e F2 atualizados.....	31
Tabela 2.3: Coeficiente característico do solo C (Estacas Cravadas).....	33
Tabela 2.4: Coeficiente característico do solo C (Estacas Escavadas).....	33
Tabela 2.5: Valores do fator $\alpha$ em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....	33
Tabela 2.6: Valores do fator $\beta$ em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....	33
Tabela 2.7: Valores do parâmetro $\alpha$ .....	34
Tabela 2.8: Valores do parâmetro $\beta$ .....	34
Tabela 2.9: Valores para $E_c$ .....	38

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 4.1: Capacidade de carga do solo. ....	88
Quadro 4.2: Capacidade de carga em relação a prova de carga. ....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	Objetivo Geral .....	17
1.2.2	Objetivos Específicos .....	17
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1	INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA.....	19
2.2	ELEMENTOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS DE PROJETO.....	19
2.3	INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO.....	19
2.3.1	Sondagem de Simplex Reconhecimento a Percussão – SPT .....	20
2.4	DEFINIÇÃO DE FUNDAÇÕES .....	22
2.4.1	Fundações Superficiais (Rasas ou Diretas).....	23
2.4.2	Fundações Profundas .....	24
2.5	PLANTA DE CARGAS .....	25
2.6	CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS.....	26
2.6.1	Métodos Semiempíricos .....	29
2.6.1.1	Método Aoki-Velloso (1975) .....	29
2.6.1.2	Método Décourt-Quaresma (1978).....	31
2.6.1.3	Método Teixeira (1996).....	34
2.7	RECALQUES .....	35
2.7.1	Encurtamento elástico.....	36
2.7.2	Recalque do solo.....	38
2.7.3	Curva carga x recalque .....	40
2.8	ENSAIO DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA .....	41
2.9	PLANILHAS ELETRÔNICAS – MICROSOFT EXCEL .....	42
2.9.1	A linguagem de programação VBA .....	43
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
3.1	DESENHO DO ESTUDO.....	45
3.2	OBJETO DE ESTUDO .....	45
3.3	VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA) .....	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>54</b>
4.1	DADOS DA ESTACA .....	56

4.2	LAUDO DE SONDAGEM .....	58
4.3	CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO .....	59
4.4	CARGA ESTRUTURAL.....	63
4.5	QUANTIDADE DE ESTACAS .....	66
4.6	RELATÓRIO .....	71
4.7	ELABORAÇÃO DO PROJETO .....	76
4.7.1	Laudo de Sondagem .....	76
4.7.2	Definição das estacas.....	77
4.7.3	Capacidade de carga do solo.....	77
4.7.4	Carga estrutural.....	79
4.7.5	Determinação da quantidade de estacas.....	80
4.7.6	Dimensionamento estrutural das estacas .....	82
4.8	CURVA CARGA-RECALQUE ESTIMADA X PROVA DE CARGA .....	83
4.8.1	Laudo de sondagem .....	83
4.8.2	Ensaio de carga estática .....	84
4.8.3	Cálculo da capacidade de carga do solo .....	85
4.8.3.1	Limitando o valor da resistência de ponta em no máximo 20% da resistência total ....	86
4.8.3.2	Sem limitar a resistência de ponta .....	87
4.8.3.3	Análise dos resultados .....	88
4.8.4	Determinação da curva carga-recalque estimada.....	90
4.8.5	Comparação curva carga-recalque estimada x prova de carga.....	91
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>96</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As fundações são os elementos responsáveis por transferir as cargas provenientes da superestrutura para o terreno subjacente, podendo ser diretas (rasas) ou indiretas (profundas). Quando diretas, os esforços são transferidos pela área de contato entre a base do elemento de fundação e o solo. Já as indiretas são quando as cargas são transferidas por atrito lateral entre a fundação e o solo, além de uma parcela de resistência na ponta do elemento. As estacas são classificadas como fundações indiretas.

Para elaborar um projeto de fundações é necessário conhecer o subsolo de onde será realizado a construção. Existem vários métodos de investigação do subsolo, em que o *Standard Penetration Test* (SPT) é o mais utilizado no Brasil. Além das informações relacionadas ao subsolo, o projetista de fundações deve ter posse das informações relacionadas a estrutura.

De acordo com Kimura (2007), os projetos da estrutura e das fundações das edificações, principalmente as de grande porte, são elaborados separadamente, cada um por profissionais especializados nas áreas específicas, onde deve-se ter uma troca de informações entre esses profissionais. O profissional responsável pelo projeto da estrutura passa ao projetista de fundações as informações relacionadas as cargas e dimensões dos elementos estruturais, elaborando um desenho denominado “planta de cargas”.

Conforme avaliação do subsolo e das cargas provenientes da estrutura o projetista de fundações define o tipo de fundação a ser utilizada na obra. Essa decisão é determinada levando em conta vários fatores, tais como o nível do lençol freático, disponibilidade de equipamentos para execução de determinado tipo de estaca, presença de solos colapsíveis ou solos moles, entre outros.

Definido o tipo de fundação a ser utilizado, deve-se elaborar o projeto. Para Bowles (1997), o projeto de fundações deve ser realizado tendo como base parâmetros do solo, com o objetivo de realizar um dimensionamento racional, devendo não ser superdimensionado, para que o projeto seja viável, onde o auxílio dos computadores é fundamental para realizar esta atividade.

A utilização de ferramentas computacionais é essencial para auxílio na elaboração de projetos, automatizando diversos processos, sendo possível avaliar diversas possibilidades para o dimensionamento, otimizando tempo para realizar essas atividades.

Atualmente existem poucas ferramentas computacionais no mercado que realizem todo o processo de cálculo geotécnico para dimensionar fundações por estacas que possam auxiliar no processo de tomada de decisão. As ferramentas disponíveis não realizam uma análise completa. O que se tem são ferramentas para calcular a capacidade de carga e recalque

isoladamente, não simulam opções correlacionando esses dados para que o projetista tenha a oportunidade otimizar a análise, com o objetivo de definir a melhor situação para o projeto.

O desenvolvimento de ferramentas computacionais que realizem essas avaliações entre capacidade de carga e recalque é essencial para análise mais precisa no processo de determinação do tipo e geometria da fundação a ser utilizado.

A linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA) foi desenvolvida pela *Microsoft* e está presente nos softwares desta, incluindo o Excel, que é bastante utilizado por engenheiros e estudantes. A utilização do VBA no Excel permite desenvolver ferramentas para automatizar processos de cálculo, sendo possível elaborar rotinas para analisar uma situação específica.

Nesse contexto, o presente projeto consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional em VBA (*Visual Basic for Applications*) para o cálculo da capacidade de carga do solo em fundações por estacas, além da determinação da curva carga x recalque.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Para dimensionar fundações por estacas, o cálculo da capacidade de carga do solo e o recalque são fatores determinantes para o projeto, em que estes valores devem ser correlacionados para definir a solução ideal. Diante disso, como otimizar o projeto de fundações por estacas, tendo como base a capacidade de carga e o recalque?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta em Excel VBA (*Visual Basic for Applications*) para o cálculo da capacidade de carga em fundações por estacas e determinação da curva carga-recalque.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar a planilha de capacidade de carga do solo, correlacionando métodos semi-empíricos;
- Implementar planilha com avaliação de recalque em estacas, elaborando gráfico de carga-recalque;
- Elaborar projeto piloto para validação da ferramenta;
- Comparar os resultados apresentados pela ferramenta com ensaio de prova de carga;

### 1.3 JUSTIFICATIVA

O projeto de fundações por estacas exige a realização de cálculos de capacidade de carga do solo, recalque, dimensionamento estrutural, sendo estes que demandam considerável esforço e tempo para realizá-los.

Analisar as diferentes possibilidades técnicas para determinar uma solução ideal para um projeto impõe a necessidade de realizar vários cálculos simulando as diversas alternativas possíveis, com base na avaliação da relação carga x recalque. Essas análises são de certa forma repetitivas e demandam tempo para serem definidas. Diante disso, o desenvolvimento de uma ferramenta que otimize os processos de cálculo é importante para auxiliar na avaliação de diferentes possibilidades para o dimensionamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA

O sistema estrutural em edifícios, em geral, é composto pela superestrutura, subestrutura e o maciço de solos, onde se assentam as fundações. O maciço de solos recebe os esforços das fundações, que por sua vez é solicitada pela superestrutura. A interação entre essas partes do sistema gera o mecanismo da interação solo-estrutura (MOTA, 2009).

Projetar uma fundação exige conhecimentos em Geotecnia e Cálculo Estrutural. As fundações são dimensionadas conforme as solicitações da estrutura, as quais são determinadas pelo engenheiro estrutural que propõe que os apoios sejam indeslocáveis. Porém, o solo não é indeformável, apresentando deslocamentos verticais, horizontais e rotações, os quais provocam uma redistribuição dos esforços na estrutura. Portanto, é necessário entender o comportamento do solo, sendo este submetido as solicitações, para que seja possível realizar uma análise da interação solo-estrutura (VELLOSO E LOPES, 2010).

### 2.2 ELEMENTOS NECESSÁRIOS E CRITÉRIOS DE PROJETO

Para Hachich *et al.* (1998), são necessários determinados elementos para o desenvolvimento de um projeto de fundações, sendo estes: topografia da área, dados geológico-geotécnicos, dados da estrutura a construir e dados sobre as construções vizinhas.

As fundações devem apresentar requisitos básicos de desempenho, para tanto, um projeto de fundação deve ser realizado de modo a atender os seguintes critérios: deformações aceitáveis quanto as condições de trabalho, segurança adequada ao colapso do solo de fundação e segurança adequada ao colapso dos elementos estruturais (HACHICH *et al.*, 1998).

Conforme Carvalho e Pinheiro (2009), o projeto de fundações envolve algumas etapas, onde são realizadas as seguintes análises:

- Estudo do subsolo;
- Estudo dos recalques;
- Nível freático;
- Situação geográfica da edificação;
- Escolha do tipo de fundação, profundidade e dimensões;
- Análise das ações;
- Dimensionamento dos elementos;

### 2.3 INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

Para projetar fundações é necessário conhecer a estratificação do solo do local, resultados de ensaio de laboratório das amostras de solo, além de observações feitas durante a

construção de outras estruturas executadas sob condições similares. A exploração adequada do subsolo do local de construção é essencial para que o projeto seja realizado adequadamente (DAS, 2007).

A descrição das condições do subsolo consiste em pré-requisito para projetos geotécnicos. As sondagens de reconhecimento apresentam um custo, no Brasil, entre 0,2% e 0,5% do custo total de obras convencionais. As informações geotécnicas obtidas com métodos de investigação são essenciais à previsão dos custos relacionados ao projeto (SCHNAID E ODEBRECHT, 2012).

Terzaghi, Peck e Mesri (1996) enfatizam que a primeira condição necessária para uma avaliação preliminar a fim de projetar fundações é a representação do perfil do subsolo a partir de uma investigação. O perfil do subsolo fornece informações necessárias para determinar a profundidade ideal para o elemento de fundação.

Segundo Velloso e Lopes (2010), o projetista deve se envolver com o processo de investigação do subsolo desde seu início, definindo as etapas de investigação e os objetivos a serem alcançados, sendo estas etapas: investigação preliminar, investigação complementar ou de projeto, investigação para a fase de execução.

Para projeto de fundações, os principais processos de investigação do subsolo são (VELLOSO E LOPES, 2010):

- Poços;
- Sondagens a trado;
- Sondagens a percussão com SPT;
- Sondagens rotativas;
- Sondagens mistas;
- Ensaio de cone (CPT);
- Ensaio pressiométrico (PMT);

Hachich *et al.* (1998) afirma que o *Standard Penetration Test* (SPT) é o ensaio mais executado no Brasil, portanto, este será o objetivo de estudo mais detalhado.

Os ensaios de campo são importantes para determinar satisfatoriamente a estratigrafia do subsolo e estimar propriedades geotécnicas dos materiais envolvidos. Projetos geotécnicos são realizados com base nestes ensaios (SCHNAID, 2000).

### **2.3.1 Sondagem de Simples Reconhecimento a Percussão – SPT**

A realização de uma investigação geotécnica preliminar é necessária em qualquer edificação a ser construída, com o objetivo de determinar a estratigrafia e classificar os solos.

Esta investigação deve ser constituída de no mínimo por sondagens a percussão (NBR 6122, 2010).

A programação de sondagens deve ser realizada conforme a ABNT NBR 8036/1983, a qual fixa as condições para a programação das sondagens de simples reconhecimento dos solos destinados à elaboração de projetos de edifícios.

Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que o SPT é a ferramenta de investigação geotécnica mais utilizada e econômica em todo o mundo. Este ensaio apresenta indicativos da densidade de solos granulares e consistência de solos coesivos.

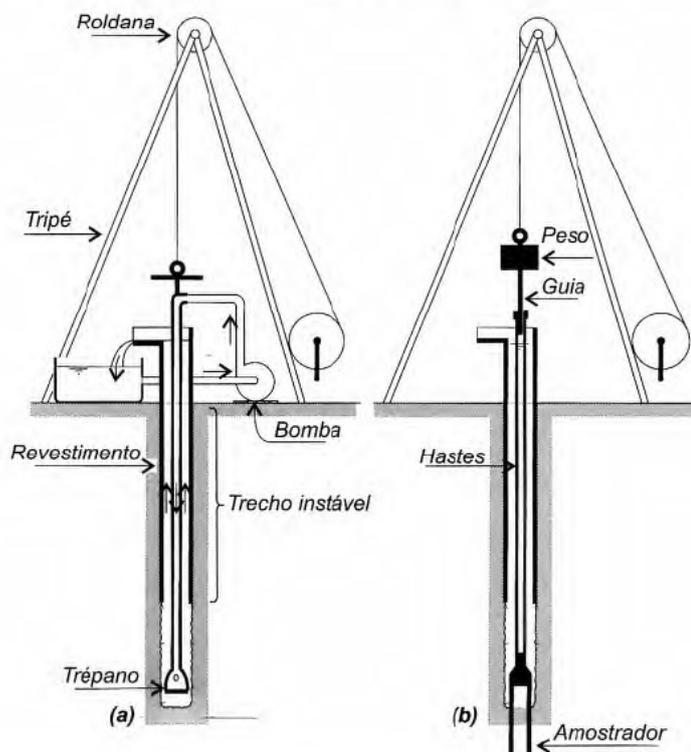
A sondagem a percussão é um ensaio de campo destinado a amostrar o subsolo. O SPT mede o índice de resistência a penetração do solo ao longo da sua profundidade, tendo por objetivos (HACHICH *et al.*, 1998):

- Identificar o tipo de solo a cada metro perfurado, por meio da retirada de uma amostra deformada;
- Determinar, a cada metro perfurado, o índice de resistência à penetração (N) do solo a cada metro;
- Identificar a posição do nível de água, se este for encontrado durante a perfuração;

A NBR 6484/2001 normatiza a realização do ensaio SPT. O ensaio resume-se na cravação de um amostrador padrão (Raymond-Terzaghi), a partir de golpes de um peso de 65 kg caindo a uma altura de 75 cm. O número de golpes necessários para a cravação de 45 cm, divididos em três etapas de 15 cm são anotados. O resultado do ensaio SPT, o índice de resistência à penetração (N) é o número de golpes necessários para cravar os 30 cm finais da amostra (VELLOSO E LOPES, 2010).

A figura 2.1 apresenta o equipamento utilizado para realizar uma sondagem.

Figura 2.1: Equipamento utilizado e etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem; (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT)



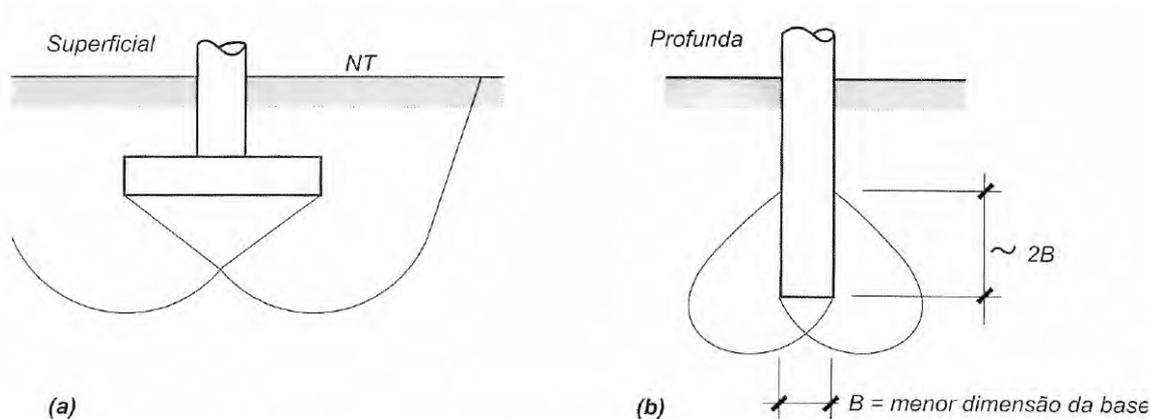
Fonte: VELLOSO E LOPES (2010).

## 2.4 DEFINIÇÃO DE FUNDAÇÕES

As fundações são elementos que transmitem as cargas e o peso próprio da estrutura para o solo. Para Velloso e Lopes (2010), as fundações podem ser divididas em dois grupos: superficiais (rasas ou diretas), ou profundas.

O mecanismo de ruptura da base é o critério (arbitrário) para definir se uma fundação é superficial ou profunda. Nas fundações profundas, o mecanismo de ruptura da base não surge na superfície do terreno, em geral atingem duas vezes sua menor dimensão. Já nas superficiais, o mecanismo de ruptura chega até o nível do terreno. (VELLOSO E LOPES, 2010). A figura 2.2 ilustra o critério adotado.

Figura 2.2: Fundação superficial (a) e profunda (b)



Fonte: VELLOSO E LOPES (2010).

#### 2.4.1 Fundações Superficiais (Rasas ou Diretas)

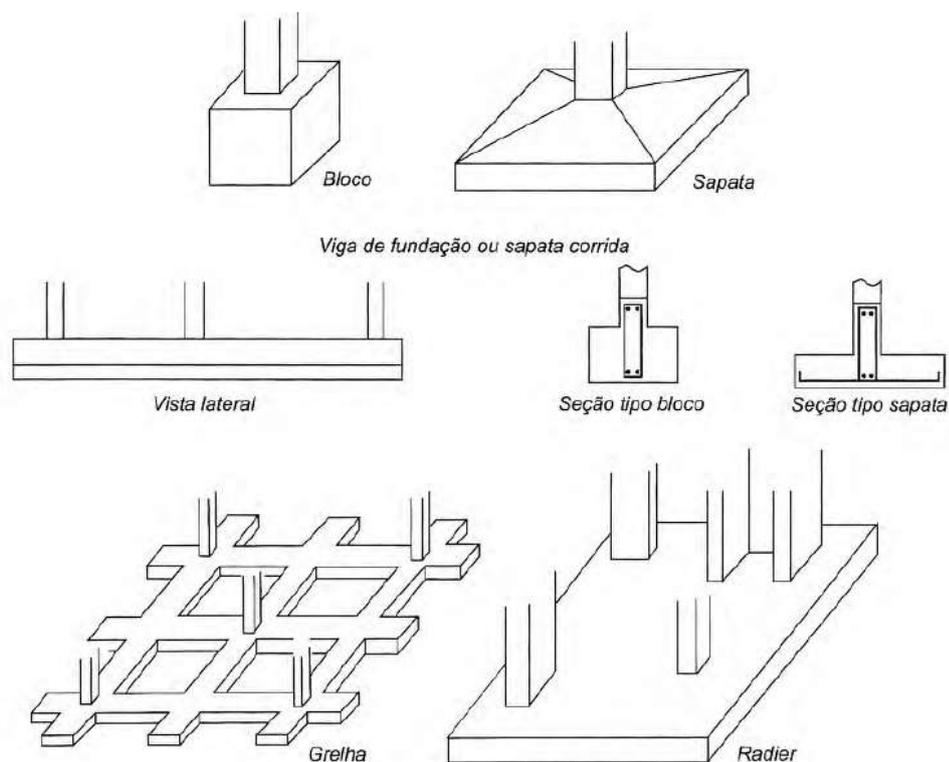
A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 6122, 2010, p. 2) define fundações superficiais como: “elemento de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação”.

Para Alonso (2010), as fundações rasas são os elementos caracterizados pela transmissão da carga ao solo pela distribuição das tensões pela sua base.

De acordo com Velloso e Lopes (2010), as fundações superficiais podem ser de quatro tipos, sendo estes: bloco, sapata, sapata corrida, grelha, sapata associada e radier.

A figura 2.3 apresenta os tipos mais usuais de fundações superficiais.

Figura 2.3: Principais tipos de fundações superficiais.



Fonte: VELLOSO E LOPES (2010).

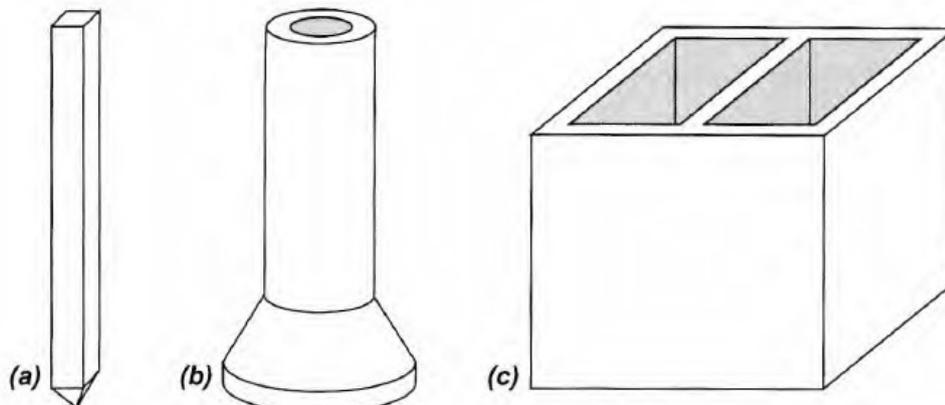
## 2.4.2 Fundações Profundas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 6122, 2010, p. 3) define fundações profundas como:

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m.

Velloso e Lopes (2010) dividem as fundações profundas em três grupos: estaca, tubulão e caixão. A figura 2.4 ilustra os tipos de fundações profundas.

Figura 2.4: Tipos de fundações profundas: (a) estaca, (b) tubulão e (c) caixão.



Fonte: VELLOSO E LOPES (2010).

Para Alonso (2010, p. 41), os tubulões são “elementos estruturais de fundação constituídos concretando-se um poço aberto no terreno, geralmente dotado de uma base alargada”. Os tubulões são executados acima do nível de água natural ou onde seja possível bombear a água sem risco de desmoronamentos.

Os caixões são elementos de fundação profunda, os quais são concretados na superfície do terreno e instalados por escavação interna, sendo estes de forma prismática, podendo ou não ter a base alargada ou utilizar ar comprimido durante o processo de execução (PORTO E FERNANDES, 2015).

As estacas são elementos estruturais que tem por finalidade transferir as cargas para o solo pela resistência ao longo do fuste (atrito lateral) e pela resistência de ponta (ALONSO, 2010).

## 2.5 PLANTA DE CARGAS

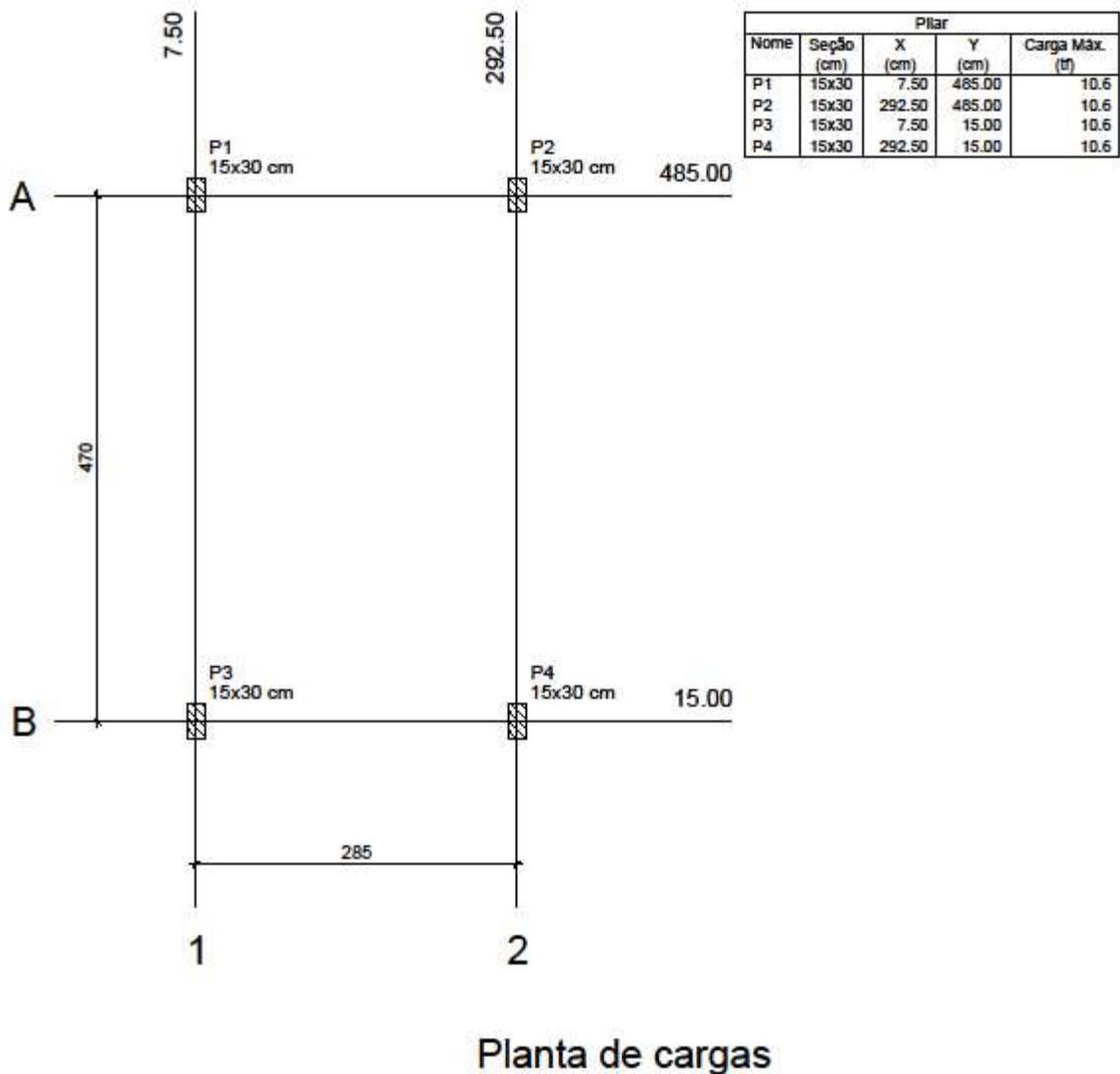
Segundo Kimura (2007), nos projetos de edificações, principalmente nas de maior porte, o projeto da estrutura é realizado separadamente do projeto de fundações, sendo cada um destes elaborados por especialistas nas áreas específicas, onde é necessário a troca de informações entre esses profissionais para que a construção seja viabilizada. Para isso, o projetista da estrutura deve montar um desenho contendo as informações necessárias para a elaboração do projeto de fundações. Esse desenho é denominado de “Planta de Cargas”.

O profissional responsável pela elaboração do projeto da estrutura deve fornecer os dados representados em um desenho, indicando as dimensões e localização dos pilares, além de uma planilha contendo informações sobre as solicitações provenientes da estrutura. A partir desses dados o projetista de fundações, tendo como base as informações sobre o solo do local

e as informações da estrutura, define o tipo de fundação a ser utilizada, bem como sua geometria (CARVALHO E PINHEIRO, 2009).

A figura 2.5 apresenta um exemplo de planta de cargas.

Figura 2.5: Exemplo de planta de cargas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2.6 CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS

O elemento de fundação por estaca deve apresentar capacidade de carga suficiente para transferir as cargas da estrutura para o solo, sem colapsar, com recalques admissíveis, de modo a não provocar danos à estrutura.

Para dimensionar fundações profundas, a capacidade de carga do solo deve ser determinada a partir da utilização de um ou mais dos procedimentos apresentados a seguir, de acordo com a NBR 6122 (2010):

- Provas de carga;
- Métodos estáticos: teóricos ou semi-empíricos;
- Métodos dinâmicos;
- Fórmulas dinâmicas;
- Ensaio de carregamento dinâmico;

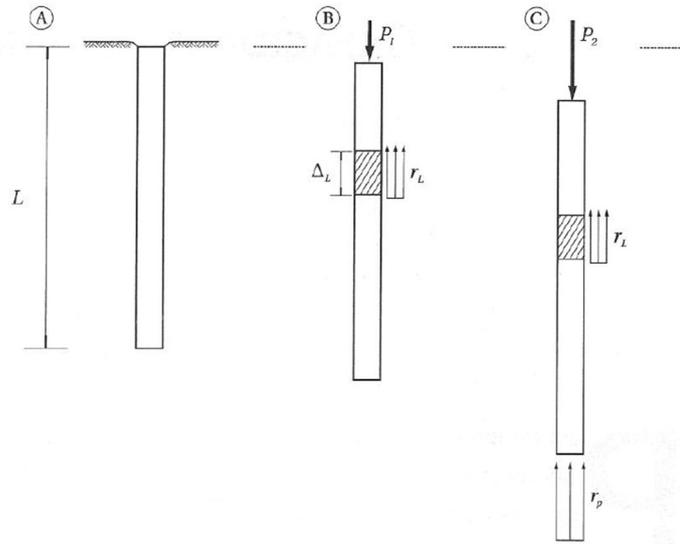
A capacidade de carga, nos métodos “estáticos”, é calculada utilizando fórmulas que analisam a estaca mobilizando toda a resistência ao cisalhamento estática do solo, obtida em ensaios de laboratório ou in situ (VELLOSO E LOPES, 2010). Os métodos estáticos podem ser:

- Racionais ou teóricos: utilizam soluções teóricas da capacidade de carga e parâmetros do solo;
- Semi-empíricos: baseiam-se em ensaios in situ de penetração (CPT e SPT).
- Métodos empíricos: capacidade de carga estimada com base na classificação das camadas atravessadas.

Cintra e Aoki (2010) analisam que, para entender o significado da capacidade de carga de um elemento de fundação por estaca, em termos geotécnicos, deve-se considerar uma estaca qualquer, de comprimento  $L$ , instalada no solo, submetida a uma força vertical  $P$ , de compressão, sendo esta carga aumentada progressivamente para  $P_1$  até atingir o valor de  $P_2$ .

Com a aplicação gradativa dessa carga, tensões resistentes por adesão são mobilizadas, o atrito lateral entre o fuste da estaca e o solo, além de tensões resistentes normais na ponta da estaca. A evolução do carregamento provoca o aumento do recalque da estaca, conforme apresenta a figura 2.6 (CINTRA E AOKI, 2010).

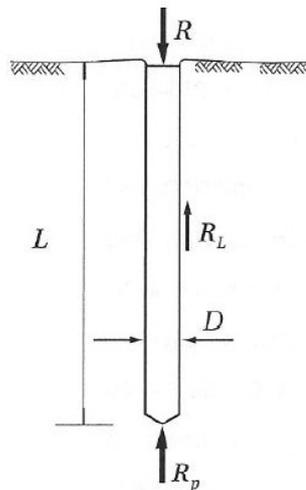
Figura 2.6: Mobilização progressiva da resistência de um elemento de fundação.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Pode-se dividir a capacidade de carga da estaca em duas parcelas, em unidades de força: a resistência por atrito lateral ou simplesmente resistência lateral ( $R_L$ ), e a resistência de ponta ( $R_p$ ), conforme esquematizado pela figura 2.7, onde  $D$  é o diâmetro da estaca (CINTRA E AOKI, 2010).

Figura 2.7: Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga do elemento de fundação.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Portanto, a capacidade de carga é determinada pela seguinte equação matemática:

$$R = R_L + R_p$$

Em que a parcela da ponta ( $R_p$ ) é definida pela relação abaixo:

$$R_p = r_p A_p$$

Onde:

$R_p$  = Resistência da ponta;

$r_p$  = Resistência da ponta, em unidades de tensão;

$A_p$  = Área da seção transversal da ponta da estaca;

Para a parcela de atrito lateral ( $R_L$ ), a resistência é determinada pelo somatório das forças resistentes nos diversos segmentos da estaca. Logo, temos a relação abaixo:

$$R_L = U \sum (r_L \Delta_L)$$

Em que:

$R_L$  = Resistência lateral;

$U$  = Perímetro da estaca;

$r_L$  = Resistência lateral do segmento da estaca, em unidades de tensão;

$\Delta_L$  = Comprimento do segmento da estaca;

### 2.6.1 Métodos Semiempíricos

As fórmulas teóricas para calcular a capacidade de carga de fundações por estacas não são confiáveis (CINTRA E AOKI, 2010).

Correlações entre as tensões limites de ruptura e dados relacionados a resistência à penetração de ensaios *in situ* podem ser estabelecidas de maneira mais simples (HACHICH *et al.*, 1998).

Conforme afirmam Cintra e Aoki (2010), os métodos semiempíricos brasileiros que são frequentemente utilizados por projetistas de fundações são: Aoki-Velloso (1975), Décourt-Quaresma (1978) e Teixeira (1996).

#### 2.6.1.1 Método Aoki-Velloso (1975)

O método Aoki-Velloso (1975) foi desenvolvido realizando uma análise comparativa entre provas de carga em estacas e de SPT. Este método pode ser utilizado com dados de CPT (*Cone Penetration Test*) e SPT (VELLOSO E LOPES, 2010).

A capacidade de carga de uma estaca de diâmetro  $D$ , perímetro  $U$  e área  $A$ , pode ser determinada pela fórmula semiempírica (AOKI E VELLOSO, 1975):

$$R = R_p + R_L$$

Onde:

$R$  = Capacidade de carga do solo;

$R_L$  = Resistência lateral;

$R_p$  = Resistência de ponta;

A parcela da resistência de ponta é dada por:

$$R_p = r_p A_p$$

A parcela da resistência lateral é determinada por:

$$R_L = U \sum (r_L \Delta_L)$$

As variáveis  $r_p$  e  $r_L$  dependem do tipo de solo, podendo ser determinadas a partir de dados de ensaios de penetração, sendo assim, temos que:

$$r_p = K N_{SPT}$$

Onde:

$r_p$  = Resistência da ponta, em unidades de tensão;

$K$  = coeficiente relacionado ao tipo de solo;

$N_{SPT}$  = Índice de resistência a penetração da ponta da estaca;

A parcela  $r_L$  de resistência lateral pode ser determinada pela seguinte relação:

$$r_L = \alpha r_p$$

Logo, temos que:

$$r_L = \alpha K N_{SPT}$$

Em que:

$r_L$  = Resistência lateral do segmento da estaca, em unidades de tensão;

$\alpha$  = Variável dependente do tipo de solo;

$N_{SPT}$  = Índice de resistência a penetração do segmento da estaca;

Os valores de  $r_p$  e  $r_L$  devem ser corrigidos por fatores de escala  $F1$  e  $F2$ , os quais são relacionados a diferença entre a estaca e o cone do CPT (AOKI E VELLOSO, 1975):

$$r_p = \frac{K N_p}{F1}$$

$$r_L = \frac{\alpha K N_L}{F2}$$

Sendo assim, a fórmula para determinar a capacidade de carga  $R$  de um elemento de fundação por estaca é expressa por:

$$R = \frac{K N_p}{F1} A_p + \frac{U}{F2} \sum_1^n (\alpha K N_L \Delta_L)$$

Os autores propõem valores de  $K$  e  $\alpha$ , apresentados na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Coeficiente K em razão de atrito  $\alpha$ .

Solo	K (MPa)	$\alpha$ (%)
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 Argilo-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-Siltoso	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: ALONSO (2010).

Os fatores de escala F1 e F2 são apresentados na tabela 2.2:

Tabela 2.2: Fatores de correção F1 e F2 atualizados.

Estaca	F1	F2
Franki	2,5	2 F1
Metálica	1,75	2 F1
Pré-Moldada	$1 + D/0,80$	2 F1
Escavada	3	2 F1
Raiz, Hélice Contínua e Ômega	2	2 F1

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

#### 2.6.1.2 Método Décourt-Quaresma (1978)

O processo de avaliação da capacidade de carga para estacas proposto por Luciano Décourt e Arthur R. Quaresma (1978), são baseados nos valores N do ensaio SPT. O método foi inicialmente determinado para estacas cravadas, posteriormente fora adaptado aos outros tipos de estacas (HACHICH *et al.*, 1998).

A capacidade de carga do solo de um elemento de fundação é determinada pelas parcelas de resistência lateral e de ponta, conforme abaixo:

$$R_L = U \Sigma (r_L \Delta_L)$$

$$R_p = r_p A_p$$

A tensão de atrito lateral ( $r_L$ ) é estimada com o valor médio do índice de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste ( $N_L$ ), conforme tabela apresentada pelos autores, sem nenhuma diferenciação em relação ao tipo de solo (CINTRA E AOKI, 2010).

No cálculo de  $N_L$ , os autores adotam limites, não adotando valores inferiores a 3 nem superiores a 50 (ALONSO, 2010).

Os valores tabelados foram transformados por Décourt (1982) para a seguinte expressão (CINTRA E AOKI, 2010):

$$r_L = 10 \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right)$$

Os limites de  $N_L$  foram elevados para  $N_L = 50$ , no caso de estacas cravadas e escavadas com bentonita, mantido o valor de  $N_L \leq 15$  para estacas Strauss e tubulões a céu aberto (CINTRA E AOKI, 2010).

A parcela da capacidade de carga na ponta da estaca ( $r_p$ ) é determinada pela equação abaixo:

$$r_p = C N_p$$

Onde:

$N_p$  = média do índice de resistência à penetração na ponta da estaca, determinado pelos valores correspondentes ao nível da ponta, o imediatamente anterior e o imediatamente posterior.

$C$  = coeficiente característico do solo.

As tabelas 2.3 e 2.4 apresentam os valores para o coeficiente  $C$ .

Tabela 2.3: Coeficiente característico do solo C (Estacas Cravadas).

Tipo de Solo	C (kPa)
Argila	120
Silte argiloso	200
Silte arenoso	250
Areia	400

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Tabela 2.4: Coeficiente característico do solo C (Estacas Escavadas).

Tipo de Solo	C (kPa)
Argila	100
Silte argiloso	120
Silte arenoso	140
Areia	200

Fonte: VELLOSO E LOPES (2010).

Em 1996, Décourt introduz os fatores  $\alpha$  e  $\beta$  nas parcelas de resistência de ponta e lateral, respectivamente. Sendo assim, a capacidade de carga resulta em (CINTRA E AOKI, 2010):

$$R = \alpha C N_p A_p + \beta 10 \left( \frac{N_L}{3} + 1 \right) U L$$

Os fatores  $\alpha$  e  $\beta$  são apresentados nas tabelas 2.5 e 2.6:

Tabela 2.5: Valores do fator  $\alpha$  em função do tipo de estaca e do tipo de solo.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetadas sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Solos intermediários	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Areias	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Tabela 2.6: Valores do fator  $\beta$  em função do tipo de estaca e do tipo de solo.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetadas sob altas pressões
Argilas	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Solos intermediários	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Areias	0,50	0,60	1,00	1,50	3,00

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

### 2.6.1.3 Método Teixeira (1996)

O método proposto por Teixeira (1996) determina a capacidade de carga em função de dois parâmetros,  $\alpha$  e  $\beta$  (CINTRA E AOKI, 2010):

$$R = R_p + R_L = \alpha N_p A_p + \beta N_L U L$$

Onde:

$N_p$  = média do índice de resistência à penetração medido no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca e 1 diâmetro abaixo.

$N_L$  = média do índice de resistência à penetração ao longo do fuste da estaca.

A tabela 2.7 apresenta os valores para o parâmetro  $\alpha$ , relacionado à resistência de ponta, em função do solo e do tipo de estaca.

Tabela 2.7: Valores do parâmetro  $\alpha$ .

Solo (4 < NSPT < 40)	Tipo de estaca - $\alpha$ (kPa)			
	Pré-moldada e perfil metálico	Franki	Escavada a céu aberto	Raiz
Argila siltosa	110	100	100	100
Silte argiloso	160	120	110	110
Argila arenosa	210	160	130	140
Silte arenoso	260	210	160	160
Areia argilosa	300	240	200	190
Areia siltosa	360	300	240	220
Areia	400	340	270	260
Areia com pedregulhos	440	380	310	290

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

A seguir, na tabela 2.8, temos os valores do parâmetro  $\beta$ , relacionado à resistência de atrito lateral, apresentados em função do tipo de estaca.

Tabela 2.8: Valores do parâmetro  $\beta$ .

Tipo de estaca	$\beta$ (kPa)
Pré-moldada e Perfil metálico	4
Franki	5
Escavada a céu aberto	4
Raiz	6

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Conforme Velloso e Lopes (2010), o método não é utilizável para calcular o atrito lateral de estacas pré-moldadas de concreto cravadas em argilas moles sensíveis, com  $N_{SPT}$  geralmente inferior a 3. Nesses casos, os valores indicados são os seguintes:

- a) Argilas fluviolagunares e de baías holocênicas (SFL) – camadas de coloração cinza-escuro, ligeiramente sobreadensadas, com  $N < 3$ :  $r_L = 20$  a 30 kPa.
- b) Argilas transicionais, pleistocênicas – camadas profundas, às vezes de coloração cinza-claro, pressões de pré-adensamento maiores do que aquelas do SFL, com  $N$  de 4 a 8:  $r_L = 60$  a 80 kPa.

## 2.7 RECALQUES

Quando o solo é submetido à cargas, este deforma-se. Essa deformação é denominada de recalque, e provoca movimentação na fundação, os quais podem ocasionar problemas à superestrutura (REBELLO, 2008).

Para Milititsky, Consoli e Schnaid (2008), uma fundação ideal deve apresentar segurança à ruptura e recalques admissíveis conforme o funcionamento do elemento suportado.

Os solos são materiais indeformáveis, logo, todas as fundações apresentam recalques. Definir o comportamento da fundação durante o processo de projeto, por meio das previsões de deslocamentos, não é uma tarefa simples de se realizar (MILITITSKY, CONSOLI E SCHNAID, 2008).

De acordo com Das (2007, p. 244), o recalque do solo pode ser dividido em três categorias:

1. Recalque elástico (ou recalque imediato): causado pela deformação elástica do solo seco e de solos úmidos e saturados sem qualquer alteração no teor de umidade.
2. Recalque por adensamento primário: resultado de uma alteração volumétrica em solos coesivos saturados por causa da expulsão da água que ocupa os espaços vazios.
3. Recalque por compressão secundária, observado em solos coesivos saturados e resultado do ajuste plástico do tecido do solo. É uma forma adicional de compressão que ocorre sob tensão efetiva constante.

Existem diferentes metodologias para prever os recalques. Os métodos para previsão de recalques podem ser separados em (VELLOSO E LOPES, 2010):

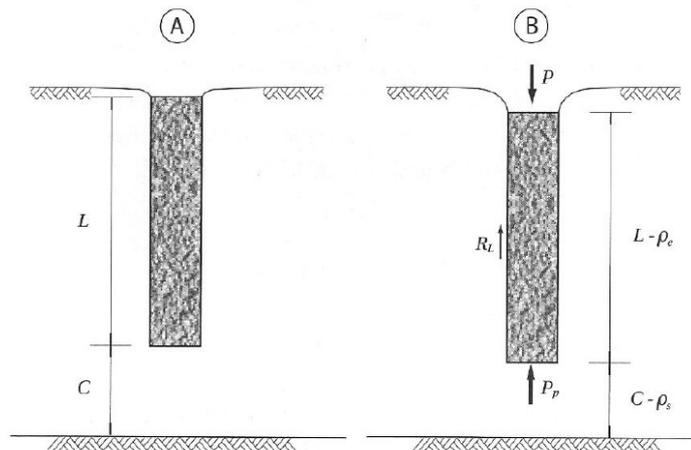
- Métodos baseados na Teoria da Elasticidade;
- Métodos numéricos;
- Métodos semiempíricos;

Cintra e Aoki (2010) consideram uma estaca qualquer de comprimento  $L$ , em que a ponta está a uma distância  $C$  da superfície indeslocável, submetida a uma carga  $P$ , apresenta dois tipos de deformações:

1. Encurtamento elástico da própria estaca, elemento estrutural submetido a compressão, apresentando recalque na cabeça da estaca ( $\rho_e$ ), onde a base é considerada fixa.
2. Deformações verticais de compressão dos estratos de solo subjacentes à ponta da estaca, até a superfície indeslocável, resultando em um recalque ( $\rho_s$ ) da base.

A figura 2.8 ilustra as parcelas de recalque da estaca.

Figura 2.8: Parcelas de recalque da estaca.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Sendo assim, o comprimento L da estaca será reduzido para:

$$L - \rho_e$$

A distância C será de:

$$C - \rho_s$$

Logo, conforme Cintra e Aoki (2010), o recalque ( $\rho$ ) de uma estaca é igual a soma do encurtamento elástico ( $\rho_e$ ) e do recalque do solo ( $\rho_s$ ):

$$\rho = \rho_e + \rho_s$$

### 2.7.1 Encurtamento elástico

Conforme Cintra e Aoki (2010), para determinar o encurtamento elástico, é necessário construir o diagrama de esforço normal ao longo da estaca, utilizando uma metodologia adaptada de Aoki (1979). Considera-se uma estaca cilíndrica, maciça e de concreto, a qual atravessa diferentes camadas de solo, em que a capacidade de carga ( $R$ ) é conhecida:

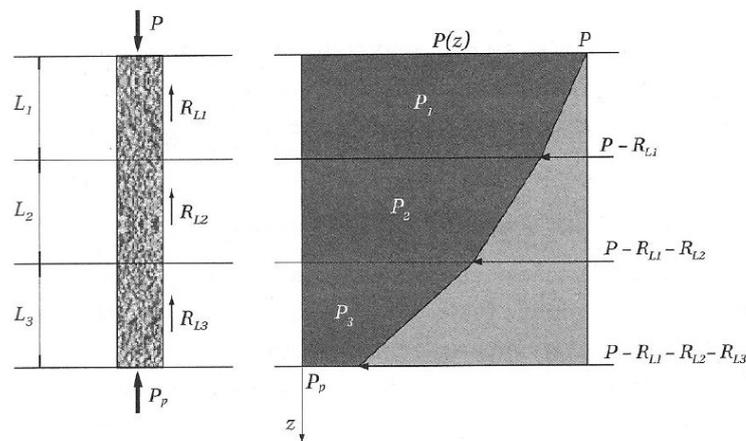
$$R = R_p + R_L = R_p + (R_{L1} + R_{L2} + R_{L3})$$

Com a carga vertical P aplicada na cabeça da estaca, analisando-a ao longo da profundidade ( $z$ ), pode-se observar a redução do esforço normal  $P(z)$ , do valor máximo P na

cabeça da estaca, até o valor mínimo  $P_p$  na base da estaca. Essa redução deve-se a transferência de carga da estaca para o solo, devido à resistência lateral oferecida pelo solo. Impondo uma variação linear de  $P(z)$  em cada segmento da estaca o qual corresponde a uma camada de solo, é possível esboçar um diagrama, de forma simplificada, para o esforço normal da estaca, conforme ilustra a figura 2.9, onde  $P_1$ ,  $P_2$  e  $P_3$  representam valores médios do esforço normal nos segmentos da estaca, de comprimentos  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ , respectivamente, de cima para baixo (CINTRA E AOKI, 2010).

O diagrama de esforço normal na estaca é ilustrado pela figura 2.9.

Figura 2.9: Diagrama de esforço normal na estaca.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Analisando a figura, temos que:

$$P_1 = P - \frac{R_{L1}}{2}$$

$$P_2 = P - R_{L1} - \frac{R_{L2}}{2}$$

$$P_3 = P - R_{L1} - R_{L2} - \frac{R_{L3}}{2}$$

Para obter o encurtamento elástico da estaca, deve-se aplicar a lei de Hooke (CINTRA E AOKI, 2010):

$$\rho_e = \frac{1}{A E_c} \sum (P_i L_i)$$

Onde:

$A$  = seção transversal do fuste da estaca.

$E_c$  = módulo de elasticidade do concreto, supondo constante.

Os valores abaixo são sugeridos por Cintra e Aoki (2010):

Tabela 2.9: Valores para  $E_c$ .

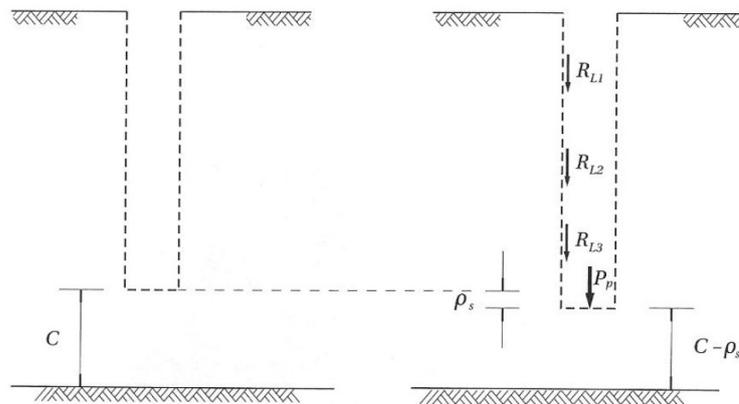
Tipo de Estaca	$E_c$ (GPa)
Pré-moldada	28 - 30
Hélice Contínua	21
Franki	21
Estacão	21
Strauss	18
Escavada a seco	18
Metálica	210
Madeira	10

Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

### 2.7.2 Recalque do solo

Segundo Cintra e Aoki (2010), as cargas aplicadas ao solo são transferidas ao longo do fuste da estaca. A carga  $P_p$  é transmitida ao solo pela base. Esses carregamentos provocam deformações entre a base da estaca e a superfície do indelocável, resultando no recalque ( $\rho_s$ ) do solo, conforme apresenta a figura 2.10.

Figura 2.10: Recalque do solo.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Sendo assim, o deslocamento ( $\rho_s$ ) pode ser dividido em duas parcelas:

$$\rho_s = \rho_{s,p} + \rho_{s,L}$$

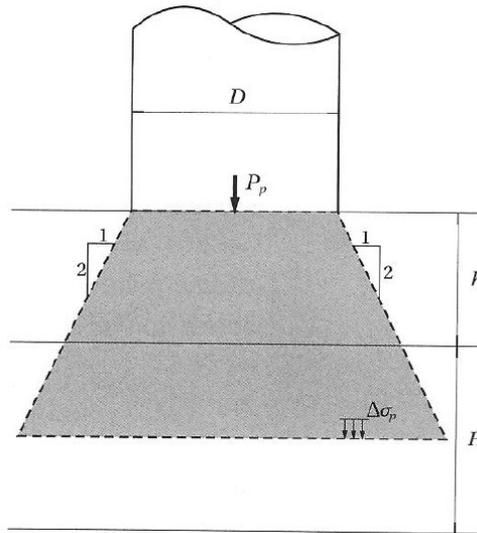
Onde:

$\rho_{s,p}$  = recalque devido à reação de ponta.

$\rho_{s,L}$  = parcela relativa à reação às cargas laterais.

A expressão que estima o recalque ( $\rho_s$ ) é deduzida seguindo a metodologia proposta por Aoki (1984), considerando que a força  $P_p$  provoca um acréscimo de tensões numa camada subjacente, com espessura  $H$ , onde  $h$  é a distância vertical do ponto de aplicação da força ao topo da camada, conforme ilustra a figura 2.11 (CINTRA E AOKI, 2010).

Figura 2.11: Propagação de tensões devido à reação de ponta.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

A expressão que determina o acréscimo de tensões na linha média da camada é apresentada a seguir:

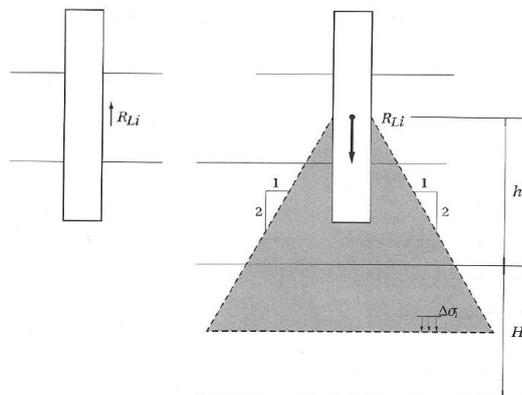
$$\Delta\sigma_p = \frac{4P_p}{\pi \left( D + h + \frac{H}{2} \right)^2}$$

Onde:

D = diâmetro da base da estaca.

Para determinar as reações relativas às parcelas de resistência lateral, consideramos que estas são constituídas por forças aplicadas pela estaca ao solo, verticais para baixo, provocando acréscimo de tensões na mesma camada. A figura 2.12 representa essa condição, considerando o centroide do segmento para o ponto de aplicação da força  $R_{Li}$  (CINTRA E AOKI, 2010).

Figura 2.12: Propagação de tensões devido às cargas laterais.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

Sendo assim, temos que a expressão que determina o acréscimo de tensões é (CINTRA E AOKI, 2010):

$$\Delta\sigma_i = \frac{4R_{Li}}{\pi \left(D + h + \frac{H}{2}\right)^2}$$

Onde:

D = diâmetro da base da estaca (seção circular).

A determinação do acréscimo total de tensões ( $\Delta\sigma$ ) é dado levando em conta a soma de todas as parcelas  $R_{Li}$  mais a força  $P_p$  (CINTRA E AOKI, 2010):

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_p + \sum \Delta\sigma_i$$

O procedimento deve ser repetido para cada camada que deseja-se analisar, partindo da base da estaca até o indeslocável. O recalque de solo ( $\rho_s$ ) é estimado pela Teoria da Elasticidade Linear (CINTRA E AOKI, 2010):

$$\rho_s = \sum \left( \frac{\Delta\sigma}{E_s} H \right)$$

Onde:

$E_s$  = módulo de deformabilidade da camada de solo, onde o valor pode ser determinado pela expressão abaixo (CINTRA E AOKI, 2010):

$$E_s = E_0 \left( \frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right)^n$$

Em que:

$E_0$  = módulo de deformabilidade do solo antes da execução da estaca.

$\sigma_0$  = tensão geostática no centro da camada.

N = expoente que depende da natureza do solo: 0,5 para materiais granulares e n = 0 para argilas duras e rijas,

Para determinar  $E_0$  podemos considerar (CINTRA E AOKI, 2010):

$E_0 = 6 K N_{SPT}$  Para estacas cravadas

$E_0 = 4 K N_{SPT}$  Para estacas hélice contínua

$E_0 = 3 K N_{SPT}$  Para estacas escavadas

### 2.7.3 Curva carga x recalque

Com o cálculo da capacidade de carga da estaca e da previsão do recalque para a carga de trabalho, é possível prever o comportamento carga x recalque, traçando-se uma curva a qual passe pelo ponto de carga de trabalho. A curva de Van der Veen (1953) é utilizada na

extrapolação da curva carga x recalque. Essa curva é utilizada para realizar uma previsão do comportamento carga x recalque de estacas (VELLOSO E LOPES, 2010).

A partir de um ponto conhecido da curva carga x recalque, a expressão de Van der Veen (1953) é aplicável (CINTRA E AOKI, 2010):

$$P = R(1 - e^{-\alpha\rho})$$

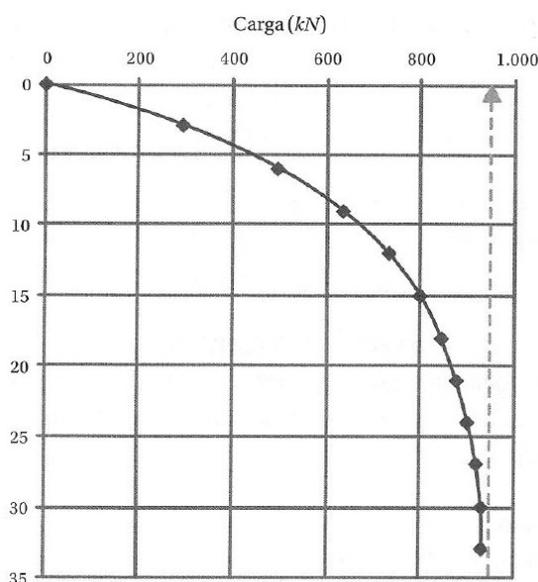
Onde o parâmetro  $\alpha$  define a forma da curva.

Sendo assim, com a capacidade de carga (R) calculada e a estimativa do recalque ( $\rho$ ), para uma carga (P), sendo esta entre  $R_L$  e  $R/2$ , o parâmetro  $\alpha$  pode ser determinado pela equação abaixo (CINTRA E AOKI, 2010):

$$\alpha = -\ln \frac{\left(1 - \frac{P}{R}\right)}{\rho}$$

Logo, temos a expressão matemática da curva carga x recalque, a qual é ilustrada pela figura 2.13.

Figura 2.13: Exemplo de curva carga x recalque.



Fonte: CINTRA E AOKI (2010).

## 2.8 ENSAIO DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 12131, 2006, p. 1) define que “a prova de carga consiste, basicamente, em aplicar esforços estáticos à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes”.

As provas de carga estáticas são realizadas em estacas tendo como os seguintes objetivos (VELLOSO E LOPES, 2010):

- Verificar o comportamento real da estaca em relação ao previsto em projeto;

- Definir a carga de serviço quando não se consegue realizar a previsão do comportamento da estaca;

O ensaio de prova de carga pode ser dos seguintes tipos (NBR 6122, 2010):

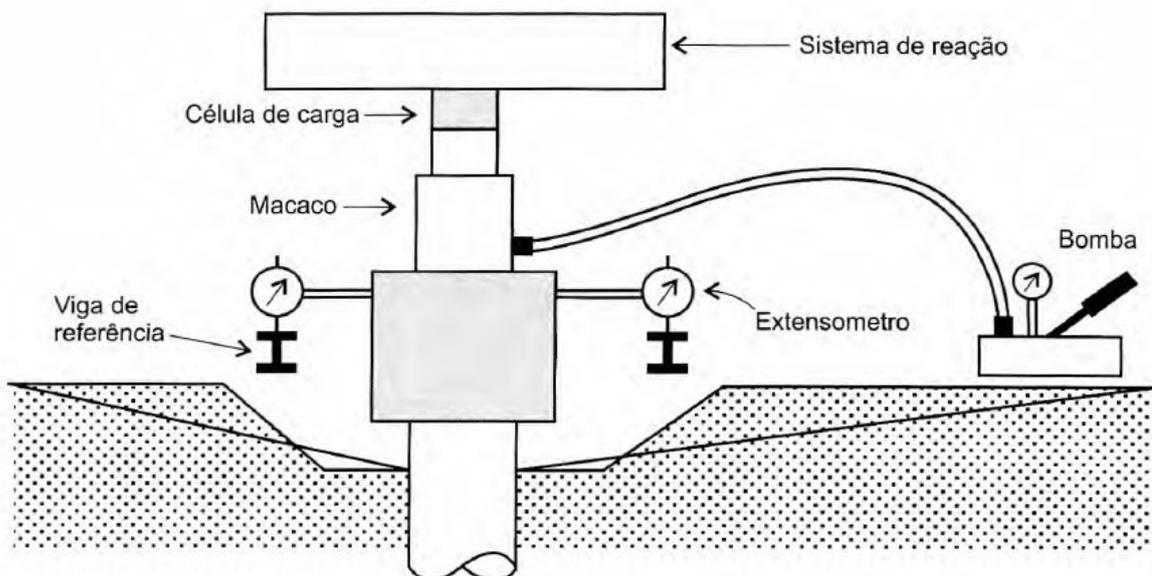
- Com carregamento lento;
- Com carregamento rápido;
- Com carregamento misto;
- Com carregamento cíclico;

De acordo com Velloso e Lopes (2010), o fuste da estaca deve ser instrumentado, de modo analisar o modo de transferência de carga, os seguintes sistemas:

- Defômetros colados na face da estaca ou em barras de armadura;
- Defômetros de contato removíveis, instalados em furos na estaca;
- Extensômetros de haste;
- Células de carga;

O carregamento utilizado nas provas de carga a compressão são feitos por um macaco hidráulico o qual reage com um sistema de reação, conforme ilustra a figura 2.14 (VELLOSO E LOPES, 2010).

Figura 2.14: Sistema de medição para prova de carga com compressão.



Fonte: VELLOSO E LOPES (2010).

## 2.9 PLANILHAS ELETRÔNICAS – MICROSOFT EXCEL

O Excel é um programa de planilhas, desenvolvido pela *Microsoft*, sendo este software de planilhas mais utilizado no mundo, o qual possui fórmulas e funções onde é possível realizar

cálculos de dados numéricos, em que o usuário pode informar os dados, as funções e fórmulas para que o programa calcule os dados automaticamente, sendo possível também a representação gráfica de dados (BUCKI *et al.*, 2013).

Moura (2007) cita as seguintes vantagens como sendo as principais para a utilização do Excel:

- Disponibilidade;
- Facilidade de uso;
- Variáveis nomeadas;
- Biblioteca de funções;
- Portabilidade;
- Integração;
- Expansibilidade;
- Abrangência;
- Simplicidade;

Bucki *et al.* (2013) afirmam que o software permite que o usuário insira suas próprias fórmulas, e além disso, é possível utilizar funções pré-definidas para realizar cálculos mais complexos. O usuário também pode facilmente formatar a forma de apresentação dos dados.

Jelen e Syrstad (2009) afirmam que o *Visual Basic For Applications* (VBA), combinado com o *Microsoft Excel*, é a ferramenta mais poderosa disponível para os usuários, sendo que o Excel é utilizado por mais de 500 milhões de usuários.

### **2.9.1 A linguagem de programação VBA**

*Visual Basic for Applications* ou VBA, é uma linguagem de programação desenvolvida pela *Microsoft*, sendo esta uma ferramenta ao qual é possível desenvolver programas para controlar o Excel. Além de uma linguagem de programação, VBA serve como uma linguagem de macro, pois o Excel se refere a procedimentos VBA como sendo macros, sendo possível escrever uma macro para automatizar processos (WALKENBACH, 2013).

A programação em VBA permite ao usuário o desenvolvimento de diversas aplicações, seja qual for a finalidade, pois o VBA é uma linguagem de programação para o usuário, ou seja, este pode utilizar de funções e opções pré-definidas para desenvolver as rotinas necessárias para uma aplicação.

Walkenbach (2013) enfatiza que a utilização de VBA permite automatizar diversas atividades a serem realizadas no Excel, como: inserir grupo de texto, automatizar tarefas

executadas com frequência, automatizar operações repetitivas, criar um botão personalizado, desenvolver novas funções de planilha, criar aplicativos completos, entre outras opções.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 DESENHO DO ESTUDO

O projeto tem como finalidade metodológica a pesquisa aplicada, onde as metodologias para cálculo da capacidade de carga do solo e de recalque foram aplicadas para desenvolver uma ferramenta computacional. A forma de abordagem da pesquisa é qualitativa, pois o objetivo principal foi desenvolver uma ferramenta computacional para obtenção de parâmetros geotécnicos para projetar fundações por estacas.

Quanto ao objetivo metodológico a pesquisa é exploratória. O procedimento metodológico é de pesquisa bibliográfica, em que os dados foram processados a partir da implementação de métodos semi-empíricos.

#### 3.2 OBJETO DE ESTUDO

O projeto consiste no desenvolvimento de uma ferramenta computacional com a finalidade de determinar a capacidade de carga do solo em fundações por estacas, bem como a curva carga x recalque.

Para determinar a capacidade de carga do solo, a NBR 6122/2010 permite a utilização de métodos semi-empíricos. Sendo assim, os seguintes métodos semi-empíricos foram implementados no cálculo da capacidade de carga do solo:

- Método Aoki-Velloso;
- Método Décourt-Quaresma;
- Método Teixeira;

Na determinação do recalque foi implementado a metodologia proposta por Aoki, onde deve-se determinar o recalque por encurtamento elástico e o recalque de solo. Com o recalque calculado, pode-se determinar os parâmetros necessários para elaborar a equação da curva carga-recalque utilizando a equação de Van Der Veen, bem como sua representação gráfica, metodologia esta apresentada por Cintra e Aoki (2010).

Para a elaboração do projeto de modo a avaliar o desempenho e funcionalidades da ferramenta desenvolvida, os seguintes dados foram utilizados:

- Laudo de sondagem: no laudo de sondagem foram obtidas as informações relacionadas ao subsolo;
- Planta de cargas: a partir da planta de cargas foram obtidos os dados necessários quanto as cargas dos elementos estruturais;

Na realização do comparativo entre os resultados apresentados pela ferramenta desenvolvida e dados provenientes de prova de carga estática, foram utilizados laudos de

sondagem e as informações oriundas de ensaios de prova de carga estática, dados esses apresentados por Rego (2018). A partir desses dados, utilizando a planilha, foi realizado o dimensionamento geotécnico das estacas utilizadas nos ensaios de prova de carga. Em seguida os resultados apresentados pela planilha foram comparados aos resultados do ensaio de prova de carga estática.

### 3.3 *VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA)*

A ferramenta foi desenvolvida na plataforma *Microsoft Windows*, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications (VBA)*, a qual já vem incorporada aos softwares da *Microsoft*, tais como *Excel, Word, PowerPoint, Access*, entre outros.

As figuras 3.1 a 3.7 apresentam o principal código do programa responsável pelo cálculo da capacidade de carga do solo, nesse caso, pelo método Aoki-Velloso.

Figura 3.1: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 1

```

Private Sub btCalcular_Click()

On Error GoTo Erro_Calculo

Application.ScreenUpdating = False

'Sai do procedimento caso a estaca não seja informada
If frmCapCarga.cmbNumeroEstaca.Text = "" Then
    MsgBox ("Estaca não informada!"), vbCritical 'Exibe mensagem avisando que a estaca
    não foi informada
    Exit Sub
End If

'Verifica se o usuário informou os dados de sondagem
Set W = Sheets("Sondagem")
W.Select 'Seleciona a planilha dos dados de sondagem
W.Range("A2").Select

If ActiveCell.Offset(0, 1).Value = "" And ActiveCell.Offset(1, 1).Value = "" And
ActiveCell.Offset(2, 1).Value = "" Then
    MsgBox ("Dados de sondagem não informados!"), vbCritical, "Verificar sondagem"
'Exibe mensagem avisando que os dados de sondagem não foram informados
    Exit Sub
End If

'Captura os dados da estaca
Dim vNumeroEstaca As String

vNumeroEstaca = frmCapCarga.cmbNumeroEstaca.Value 'Captura o número da estaca
selecionada pelo usuário

Set W = Sheets("Estacas")
W.Select 'Seleciona a planilha de dados das estacas

W.Range("A2").Select

Do Until ActiveCell.Value = vNumeroEstaca

    If ActiveCell.Value = vNumeroEstaca Then Exit Do

    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop

'Captura os dados relacionados a estaca selecionada pelo usuário
vMoldagem = ActiveCell.Offset(0, 1).Text
vTipoEstaca = ActiveCell.Offset(0, 2).Text
vDiametro = ActiveCell.Offset(0, 3).Value

```

Figura 3.2: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 2

```

vCargaCatalogo = ActiveCell.Offset(0, 4).Value

'CALCULA A CAPACIDADE DE CARGA PELO MÉTODO AOKI-VELLOSO

If vMoldagem = "" Then
    MsgBox "Moldagem não inserido!" 'Exibe aviso ao usuário caso a moldagem não tenha
    sido inserida
    Exit Sub
ElseIf vTipoEstaca = "" Then
    MsgBox "Tipo de estaca não inserido!" 'Exibe aviso ao usuário caso o tipo da estaca não
    tenha sido inserido
    Exit Sub
ElseIf vDiametro = 0 Then
    MsgBox "Diâmetro da estaca não inserido!" 'Exibe aviso ao usuário caso o diâmetro da
    estaca não tenha sido inserido
    Exit Sub
End If

'Determina as seguintes variáveis
vPi = 3.14159265358979
vArea = (vPi * (vDiametro / 100) ^ 2) / 4
vPerimetro = vPi * (vDiametro / 100)

'Seleciona a planilha de acordo com a estaca selecionada
If vNumeroEstaca = 1 Then
    Set W = Sheets("Aoki-Velloso") 'Seleciona a planilha de dados para a estaca 1
ElseIf vNumeroEstaca = 2 Then
    Set W = Sheets("2Aoki-Velloso") 'Seleciona a planilha de dados para a estaca 2
ElseIf vNumeroEstaca = 3 Then
    Set W = Sheets("3Aoki-Velloso") 'Seleciona a planilha de dados para a estaca 3
End If

'Seleciona a planilha de acordo com a estaca selecionada pelo usuário
W.Select

'Apaga os registros anteriores
W.Range("A2:O41").ClearContents

'Captura para a planilha do método os valores do Nsp
Sheets("Sondagem").Range("B2:B41").Copy
W.Activate
Range("B2").Select
ActiveSheet.Paste

'Captura para a planilha do método o tipo de solo

```

Figura 3.3: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 3

```

Sheets("Sondagem").Range("C2:C41").Copy
W.Activate
Range("C2").Select
ActiveSheet.Paste

'Preenche a planilha
W.Range("C2").Select
Do While ActiveCell.Text <> ""

    'Preenche os campos do coeficiente K e alfa em relação ao tipo de solo
    If ActiveCell.Text = "Areia" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 1000
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.014
    ElseIf ActiveCell.Text = "Areia Siltosa" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 800
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.02
    ElseIf ActiveCell.Text = "Areia Silto-Argilosa" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 700
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.024
    ElseIf ActiveCell.Text = "Areia Argilosa" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 600
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.03
    ElseIf ActiveCell.Text = "Areia Argilo-Siltosa" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 500
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.028
    ElseIf ActiveCell.Text = "Silte" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 400
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.03
    ElseIf ActiveCell.Text = "Silte Arenoso" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 550
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.022
    ElseIf ActiveCell.Text = "Silte Areno-Argiloso" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 450
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.028
    ElseIf ActiveCell.Text = "Silte Argiloso" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 230
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.034
    ElseIf ActiveCell.Text = "Silte Argilo-Arenoso" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 250
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.03
    ElseIf ActiveCell.Text = "Argila" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 200
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.06
    ElseIf ActiveCell.Text = "Argila Arenosa" Then
        ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 350
        ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.024
    ElseIf ActiveCell.Text = "Argila Areno-Siltosa" Then

```

Figura 3.4: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 4

```

ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 300
ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.028
ElseIf ActiveCell.Text = "Argila Siltosa" Then
ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 220
ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.04
ElseIf ActiveCell.Text = "Argila Silto-Arenosa" Then
ActiveCell.Offset(0, 1).Value = 330
ActiveCell.Offset(0, 2).Value = 0.03
End If

'Preenche os fatores F1 e F2 de acordo com o tipo de estaca
If vTipoEstaca = "Franki" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = 2.5
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = 2.5 * 2
ElseIf vTipoEstaca = "Metálica" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = 1.75
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = 1.75 * 2
ElseIf vTipoEstaca = "Pré-Moldada" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = (1 + ((vDiametro) / 100) / 0.8)
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = (1 + ((vDiametro) / 100) / 0.8) * 2
ElseIf vTipoEstaca = "Escavada" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = 3#
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = 3# * 2
ElseIf vTipoEstaca = "Raiz" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = 2#
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = 2# * 2
ElseIf vTipoEstaca = "Hélice Contínua" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = 2#
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = 2# * 2
ElseIf vTipoEstaca = "Ômega" Then
ActiveCell.Offset(0, 3).Value = 2#
ActiveCell.Offset(0, 4).Value = 2# * 2
End If

ActiveCell.Offset(1, 0).Select

Loop

'Captura os valores dos fatores de segurança informados pelo usuário
vFsp = txtFsP.Value
vFsl = txtFsL.Value

'Captura os percentuais informados pelo usuário referentes a mobilizacao da resistência de
ponta e lateral
vMobilizacaoLateral = (txtPercentualLateral.Value) / 100
vMobilizacaoPonta = (txtPercentualPonta.Value) / 100

```

Figura 3.5: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 5

```

'Faz o preenchimento das células da resistência de ponta
W.Range("C2").Select
Do While ActiveCell.Text <> "" And ActiveCell.Offset(1, 0).Text <> ""

    vK = ActiveCell.Offset(1, 1).Value 'Captura o valor do coeficiente K da camada
    vNspt = ActiveCell.Offset(1, -1).Value 'Captura o valor do Nspt da camada
    vF1 = ActiveCell.Offset(1, 3).Value 'Captura o valor do coeficiente F1

    If ActiveCell.Offset(0, -1).Value = 0 Then
        ActiveCell.Offset(0, 5).Value = 0
        ActiveCell.Offset(0, 6).Value = vFsp
        ActiveCell.Offset(0, 7).Value = 0
    Else
        ActiveCell.Offset(0, 5).Value = (vK * vNspt * vArea) / vF1 'Calcula e preenche a
resistência de ponta da camada
        ActiveCell.Offset(0, 6).Value = vFsp 'Preenche o valor do fator de segurança de ponta
        ActiveCell.Offset(0, 7).Value = (((vK * vNspt * vArea) / vF1) / vFsp) *
vMobilizacaoPonta 'Calcula e preenche a resistência de ponta admissível da camada
    End If
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop

'Faz o preenchimento das células da resistência lateral
W.Range("C2").Select
Do While ActiveCell.Text <> "" And ActiveCell.Offset(1, 0).Text <> ""

    vK = ActiveCell.Offset(0, 1).Value 'Captura o valor do coeficiente K da camada
    vNspt = ActiveCell.Offset(0, -1).Value 'Captura o valor do Nspt da camada
    vAlfa = ActiveCell.Offset(0, 2).Value 'Captura o valor do coeficiente alfa da camada
    vF2 = ActiveCell.Offset(0, 4).Value 'Captura o valor do coeficiente F2

    ActiveCell.Offset(0, 8).Value = ((vAlfa * vK * vNspt) * (vPerimetro / vF2)) 'Calcula e
preenche a resistência lateral da camada
    ActiveCell.Offset(0, 9).Value = vFsl 'Preenche o valor do fator de segurança lateral
    ActiveCell.Offset(0, 10).Value = (((vAlfa * vK * vNspt) * (vPerimetro / vF2)) / vFsl) *
vMobilizacaoLateral 'Calcula e preenche a resistência lateral admissível da camada

    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop

'Faz o preenchimento da resistência lateral admissível acumulada
W.Range("C2").Select
vQlInicial = ActiveCell.Offset(0, 10).Value
ActiveCell.Offset(0, 11).Value = vQlInicial

W.Range("C3").Select

```

Figura 3.6: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 6

```

Do While ActiveCell.Text <> "" And ActiveCell.Offset(1, 0).Text <> ""

    vQlAdm = ActiveCell.Offset(0, 10).Value
    VQlAdmAcumulada = ActiveCell.Offset(-1, 11).Value

    ActiveCell.Offset(0, 11).Value = vQlAdm + VQlAdmAcumulada 'Preenche o valor da
    resistência lateral acumulada

    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop

'Faz o preenchimento da resistência total
If CheckBoxLimitar.Value = True Then
    vLimitar = 1
Else
    vLimitar = 0
End If

If vLimitar = 1 Then 'Caso o usuário selecione a opção, limita a resistência de ponta em 20%
da resistência total

    'Limita a resistencia da ponta em 20% da resistencia total admissivel
    W.Range("C2").Select
    Do While ActiveCell.Text <> "" And ActiveCell.Offset(1, 0).Text <> ""

        If (ActiveCell.Offset(0, 7).Value / (ActiveCell.Offset(0, 11).Value +
        ActiveCell.Offset(0, 7).Value)) > 0.2 Then 'Caso a resistência de ponta da camda seja
        superior a 20% da total, calcula a resistência de ponta equivalente a 20% da total

            ActiveCell.Offset(0, 7).Value = 0.25 * ActiveCell.Offset(0, 11).Value
            ActiveCell.Offset(0, 12).Value = 0.25 * ActiveCell.Offset(0, 11).Value +
            ActiveCell.Offset(0, 11).Value

            ActiveCell.Offset(1, 0).Select

        Else 'Caso a resistência de ponta da camada não seja superior a 20% da total, a
        resistência de ponta utilizada é igual a calculada

            ActiveCell.Offset(0, 12).Value = ActiveCell.Offset(0, 11).Value +
            ActiveCell.Offset(0, 7).Value

            ActiveCell.Offset(1, 0).Select

        End If
    Loop

```

Figura 3.7: Cálculo da Capacidade de Carga do Solo (Método Aoki-Velloso) - Parte 7

```

Else 'Caso o usuário não selecione a opção, não limita a resistência de ponta em 20% da
resistência total, utilizando o valor calculado

    W.Range("C2").Select
    Do While ActiveCell.Text <> "" And ActiveCell.Offset(1, 0).Text <> ""

        ActiveCell.Offset(0, 12).Value = ActiveCell.Offset(0, 11).Value + ActiveCell.Offset(0,
7).Value

        ActiveCell.Offset(1, 0).Select
    Loop

End If

'Preenche na planilha de dados os valores da profundidade
W.Range("C2").Select
vProfundidadeInicial = 1
ActiveCell.Offset(0, -2).Value = vProfundidadeInicial

W.Range("C3").Select
Do While ActiveCell.Text <> ""

    ActiveCell.Offset(0, -2).Value = ActiveCell.Offset(-1, -2).Value + 1

    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Loop

'TERMINA O CALCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO PELO MÉTODO
AOKI-VELLOSO

```

Fonte: Autor.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme metodologia proposta, a ferramenta foi desenvolvida no software Microsoft Excel, utilizando a linguagem de programação VBA. Com a planilha desenvolvida, pode-se efetuar o cálculo da capacidade de carga do solo utilizando três métodos semi-empíricos, bem como verificar o recalque, elaborando a curva carga-recalque.

Ao iniciar a planilha, deve-se habilitar a execução das macros selecionando a opção “Habilitar Conteúdo”, conforme apresenta a figura 4.1.

Figura 4.1: Habilitar macros.



Fonte: Autor.

Após habilitar a execução das macros é apresentado uma tela inicial, onde é necessário selecionar o campo “Entrar”, de acordo com a figura 4.2.

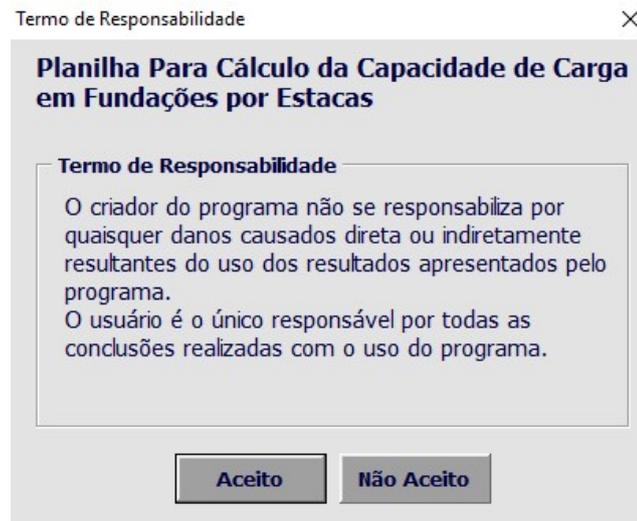
Figura 4.2: Tela inicial da planilha.



Fonte: Autor.

Ao entrar no programa, é apresentado o termo de responsabilidade, em que o usuário deverá aceitar os termos. A figura 4.3 apresenta o termo de responsabilidade.

Figura 4.3: Termo de responsabilidade do usuário.



Fonte: Autor.

Sendo o termo de responsabilidade aceito pelo usuário, a tela inicial de Menu do programa é apresentada, conforme figura 4.4.

Figura 4.4: Menu do programa.



Fonte: Autor.

O menu do programa apresenta as seguintes opções:

- Dados da Estaca
- Laudo de Sondagem
- Capacidade de Carga do Solo
- Carga Estrutural
- Quantidade de Estacas

- Relatório

Para correta execução do algoritmo, o usuário deverá seguir rigorosamente a ordem apresentada a seguir:

1. Cadastrar os dados da estaca, limitado a três estacas;
2. Cadastrar no programa os dados disponíveis no laudo de sondagem;
3. Calcular a capacidade de carga do solo;
4. Cadastrar os dados dos pilares, tais como carga e momentos;
5. Calcular a quantidade de estacas necessárias para a carga do pilar selecionado;
6. Gerar uma planilha de relatório, caso desejado pelo usuário;

#### 4.1 DADOS DA ESTACA

Ao selecionar a opção “Dados da Estaca”, o usuário será redirecionado para a tela de cadastro de estacas, onde é possível realizar o cadastro de até três estacas (deve-se numerar as estacas cadastradas com os seguintes números: 1, 2 e 3), onde deve-se informar os itens disponíveis, conforme figura 4.5.

Figura 4.5: Cadastro dos dados da estaca.

Dados da Estaca

Cadastrar Estacas | Estacas

**DADOS DA ESTACA**

Número da Estaca

Moldagem

Estaca

Diâmetro (cm)

Carga de Catálogo (tf)

Cadastrar Voltar

Fonte: Autor.

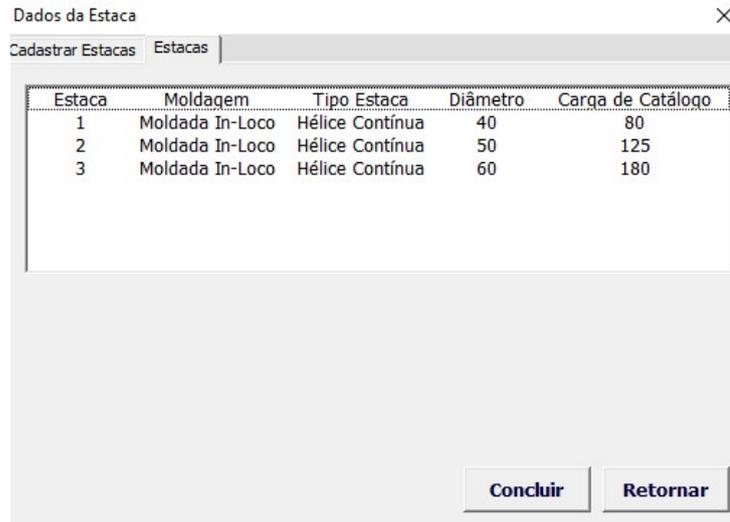
As opções disponíveis na tela de cadastro das estacas são as seguintes:

1. Número da estaca: campo para informar o número da estaca, sendo possível realizar o cadastro de até três estacas, devendo-as numerar como 1, 2 ou 3.
2. Moldagem: informar se a estaca é moldada in-loco ou pré-moldada.
3. Estaca: informar o tipo de estaca, Hélice Contínua, Pré-moldada, Escavada, etc.
4. Diâmetro: informar o diâmetro da estaca em centímetros.

5. Carga de catálogo: informar a carga estrutural máxima da estaca, considerando-a como elemento estrutural.

Ao realizar o cadastro das estacas, é apresentado uma tela informando ao usuário todas as estacas cadastradas, bem como seus respectivos dados, conforme figura 4.6.

Figura 4.6: Tela apresentando os dados das estacas cadastradas.



The screenshot shows a window titled 'Dados da Estaca' with a close button (X) in the top right corner. Below the title bar are two tabs: 'Cadastrar Estacas' and 'Estacas'. The 'Estacas' tab is active, displaying a table with the following data:

Estaca	Moldagem	Tipo Estaca	Diâmetro	Carga de Catálogo
1	Moldada In-Loco	Hélice Contínua	40	80
2	Moldada In-Loco	Hélice Contínua	50	125
3	Moldada In-Loco	Hélice Contínua	60	180

At the bottom of the window, there are two buttons: 'Concluir' and 'Retornar'.

Fonte: Autor.

Para concluir o cadastro das estacas deve-se selecionar a opção “Concluir”. Caso seja necessário alterar algum dado da estaca, ou excluí-la, basta selecionar à estaca desejada, conforme figura 4.7.

Figura 4.7: Alterar dados da estaca.



The screenshot shows the same 'Dados da Estaca' window, but now displaying the 'DADOS DA ESTACA' form. The form contains the following fields:

- Número da Estaca:** A dropdown menu with the value '2' selected.
- Moldagem:** A dropdown menu with the value 'Moldada In-Loco' selected.
- Estaca:** A dropdown menu with the value 'Hélice Contínua' selected.
- Diâmetro (cm):** A text input field containing the value '50'.
- Carga de Catálogo (tf):** A text input field containing the value '125'.

At the bottom of the form, there are three buttons: 'Alterar', 'Excluir', and 'Voltar'.

Fonte: Autor.

Para retornar ao Menu, basta selecionar a opção “Voltar”.

## 4.2 LAUDO DE SONDAGEM

Para informar os dados disponíveis no laudo de sondagem, deve-se selecionar a opção “Laudo de Sondagem”, disponível no Menu. Ao selecionar a opção, a tela de cadastro das informações disponíveis no laudo de sondagem é apresentada, sendo limitado a 40 camadas. A figura 4.8 apresenta a tela para cadastro dos dados disponíveis no laudo de sondagem.

Figura 4.8: Tela para cadastro do laudo de sondagem.

Dados de Sondagem ×

**Laudo de Sondagem**

Cota	Nspt	Solo	Cota	Nspt	Solo
1	7	Silte Areno-Argiloso	21		
2	5	Silte Areno-Argiloso	22		
3	7	Silte Areno-Argiloso	23		
4	8	Silte Areno-Argiloso	24		
5	8	Silte Areno-Argiloso	25		
6	7	Silte Areno-Argiloso	26		
7	9	Silte Argiloso	27		
8	8	Silte Argiloso	28		
9	9	Silte Argiloso	29		
10	6	Silte Areno-Argiloso	30		
11	4	Silte Areno-Argiloso	31		
12	3	Silte Areno-Argiloso	32		
13	3	Silte Areno-Argiloso	33		
14	3	Silte Areno-Argiloso	34		
15	5	Silte Areno-Argiloso	35		
16			36		
17			37		
18			38		
19			39		
20			40		

N.A.

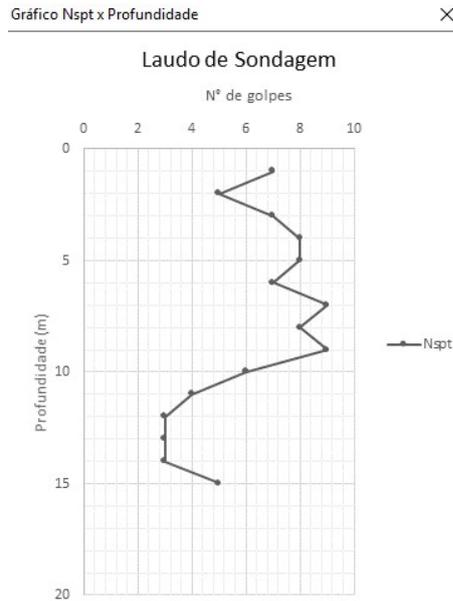
Fonte: Autor.

O usuário deverá informar o Nspt de cada camada, bem como o respectivo tipo de solo, além do nível de água.

**Observação:** Deve-se informar apenas camadas que possuem dados. Na maioria dos laudos de sondagem, a primeira camada é desprezada, logo, o Nspt é igual a zero. Ao cadastrar o laudo de sondagem essa camada deve ser desprezada, onde deve-se informar somente as camadas que possuem dados, ou seja, apenas as camadas onde há a interação solo-estaca.

Selecionando a opção “Gráfico” será apresentado um gráfico do Nspt em função da profundidade, conforme apresenta a figura 4.9.

Figura 4.9: Gráfico Nspt x Profundidade.



Fonte: Autor.

Para confirmar as informações do laudo de sondagem, o usuário deve selecionar a opção “Concluir”.

#### 4.3 CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO

Para realizar o cálculo da capacidade de carga do solo, deve-se selecionar a opção “Capacidade de Carga do Solo”, disponível no Menu. A figura 4.10 apresenta a tela do cálculo da capacidade de carga do solo.

Figura 4.10: Tela para cálculo da capacidade de carga do solo.

Capacidade de Carga do Solo

ESTACA

PARÂMETROS

Fator de Segurança

Ponta

Lateral

Mobilização Resistência

% Ponta

% Lateral

Limitar Rp em 20%

Calcular

Voltar

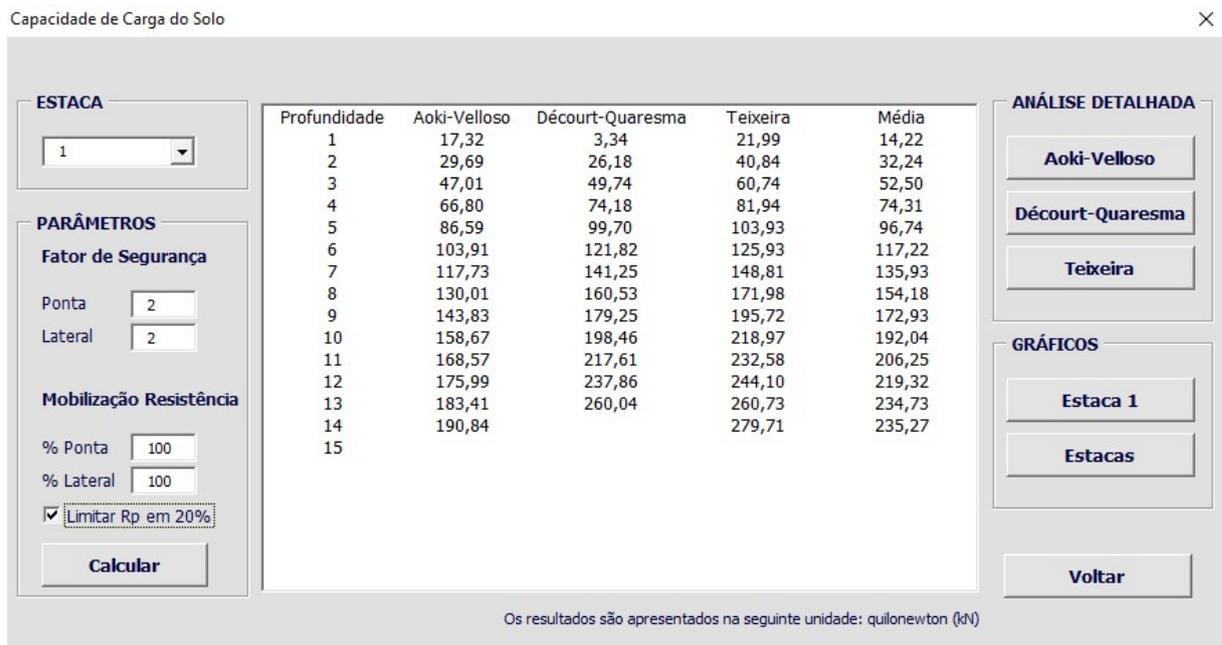
Fonte: Autor.

As opções disponíveis na tela de cálculo da capacidade de carga do solo são as seguintes:

1. Estaca: deve-se selecionar à estaca a ser calculada a capacidade de carga do solo.
2. Fator de segurança (Ponta e Lateral): os fatores de segurança referentes a resistência de ponta e resistência lateral devem ser informados.
3. Mobilização resistência (% Ponta e % Lateral): deve-se informar o percentual da resistência de ponta e resistência lateral ao qual deseja-se mobilizar.
4. Limitar  $R_p$  em 20%: Limita resistência da ponta em no máximo 20% da resistência admissível. Conforme item 8.2.1.2 da NBR 6122/2010, para estacas escavadas, no máximo 20% da carga admissível pode ser suportada pela ponta da estaca (caso processo executivo de limpeza da ponta não seja realizado).

Deve-se realizar o cálculo da capacidade de carga do solo para cada estaca cadastrada, selecionando à estaca no campo “Estaca”, definindo os fatores de segurança de ponta e lateral, além de informar o percentual da mobilização da resistência de ponta e lateral. Caso necessário, selecionar o campo limitador da resistência de ponta em 20% da resistência admissível. Após informar todos os campos, deve-se selecionar a opção “Calcular”. A figura 4.11 apresenta a tela com o resultado do cálculo da capacidade de carga do solo.

Figura 4.11: Resultado do cálculo da capacidade de carga do solo para a estaca 1.



Fonte: Autor.

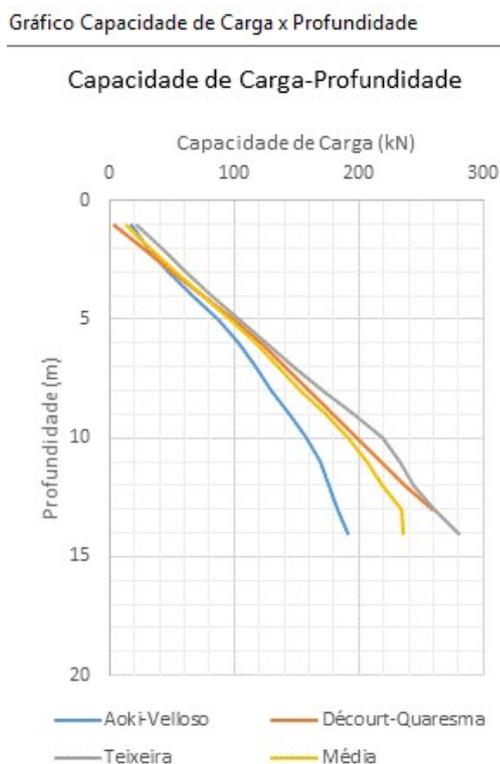
A tela apresentada na figura acima apresenta o resultado da capacidade de carga do solo para o horizonte disponível no laudo de sondagem. Os métodos implementados são os seguintes:

- Método Aoki-Velloso;
- Método Décourt-Quaresma;
- Método Teixeira;

As metodologias implementadas para cada método no cálculo da capacidade de carga do solo foram apresentadas no item 2.6.1.

O programa apresenta a resistência admissível calculada para os três métodos, bem como a média entre eles. Caso o usuário deseje, é possível gerar gráficos ilustrando a resistência admissível calculada, selecionando a opção disponível em Gráficos “Estaca” conforme apresenta a figura 4.12.

Figura 4.12: Gráfico de capacidade de carga x profundidade.



Fonte: Autor.

A figura acima apresenta o gráfico da capacidade de carga do solo de acordo de acordo com cada método, bem como ilustra a média entre eles.

Nas opções de análise detalhada, o usuário pode verificar a planilha detalhada do cálculo da capacidade de carga do solo, selecionando o método desejado, de acordo com a figura 4.13.

Figura 4.13: Planilha de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Aoki-Velloso.

Capacidade de Carga do Solo - Método Aoki-Velloso

Profundidade	Nspt	Solo	K (kPa)	$\alpha$	F1	F2	Rp (kN)	FSp	Rp adm	RI (kN)	FSl	RI adm	$\Sigma$ RI adm	R adm (kN)
1	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	141,37	2	3,46	27,71	2	13,85	13,85	17,32
2	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	197,92	2	5,94	19,79	2	9,90	23,75	29,69
3	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	226,19	2	9,40	27,71	2	13,85	37,60	47,01
4	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	226,19	2	13,36	31,67	2	15,83	53,44	66,80
5	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	197,92	2	17,32	31,67	2	15,83	69,27	86,59
6	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	130,06	2	20,78	27,71	2	13,85	83,13	103,91
7	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	115,61	2	23,55	22,11	2	11,06	94,18	117,73
8	8	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	130,06	2	26,00	19,65	2	9,83	104,01	130,01
9	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	169,65	2	28,77	22,11	2	11,06	115,06	143,83
10	6	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	113,10	2	31,73	23,75	2	11,88	126,94	158,67
11	4	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	84,82	2	33,71	15,83	2	7,92	134,86	168,57
12	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	84,82	2	35,20	11,88	2	5,94	140,79	175,99
13	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	84,82	2	36,68	11,88	2	5,94	146,73	183,41
14	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	141,37	2	38,17	11,88	2	5,94	152,67	190,84
15	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0								

Voltar

Fonte: Autor.

A figura 4.13 apresenta a planilha detalhada de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Aoki-Velloso.

No caso do método Aoki-Velloso, a última camada não apresenta valor, pois o Nspt de ponta a ser considerado é o da camada da ponta, ou seja, simulando à estaca na profundidade 15 m, não há outra camada abaixo que contenha dados suficientes para calcular a resistência de ponta, logo, o algoritmo não calcula a resistência para essa camada.

A figura 4.14 apresenta a planilha detalhada de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Décourt-Quaresma.

Figura 4.14: Planilha de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Décourt-Quaresma.

Capacidade de Carga do Solo - Método Décourt-Quaresma

Profundidade	NI	Solo	K (kPa)	$\alpha$	$\beta$	Np	Rp (kN)	FSp	Rp adm	RI (kN)	FSl	RI adm	$\Sigma$ RI adm	R adm (kN)
1	7,00	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	6,33	33,43	2	3,34	41,89	2	20,94	0,00	3,34
2	6,00	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	6,67	35,19	2	5,24	37,70	2	18,85	20,94	26,18
3	6,33	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	7,67	40,46	2	9,95	39,10	2	19,55	39,79	49,74
4	6,75	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	7,67	40,46	2	14,84	40,84	2	20,42	59,34	74,18
5	7,00	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	8,00	42,22	2	19,94	41,89	2	20,94	79,76	99,70
6	7,00	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	8,00	42,22	2	21,11	41,89	2	20,94	100,71	121,82
7	7,29	Silte Argiloso	120	0,30	1,00	8,67	39,21	2	19,60	43,08	2	21,54	121,65	141,25
8	7,38	Silte Argiloso	120	0,30	1,00	7,67	34,68	2	17,34	43,46	2	21,73	143,19	160,53
9	7,56	Silte Argiloso	120	0,30	1,00	6,33	28,65	2	14,33	44,22	2	22,11	164,92	179,25
10	7,40	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	4,33	22,87	2	11,44	43,56	2	21,78	187,03	198,46
11	7,09	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	3,33	17,59	2	8,80	42,27	2	21,13	208,81	217,61
12	6,75	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	3,00	15,83	2	7,92	40,84	2	20,42	229,94	237,86
13	6,46	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00	3,67	19,35	2	9,68	39,63	2	19,82	250,37	260,04
14	6,21	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00									
15	6,13	Silte Areno-Argiloso	140	0,30	1,00									

Voltar

Fonte: Autor.

Para o método Décourt-Quaresma, o  $N_{spt}$  de ponta a ser calculado corresponde ao  $N_{spt}$  médio entre a camada da ponta da estaca, uma camada abaixo e outra acima. Sendo assim, não há dados suficientes para calcular a resistência de ponta para as duas últimas camadas, pois, simulando à estaca na profundidade 14 m, é necessário realizar uma média entre o  $N_{spt}$  da camada da ponta (15), uma abaixo (16) e uma acima (14), porém, não há dados para a profundidade 16 m, logo, o algoritmo não calcula a resistência para as duas últimas camadas.

No método Décourt-Quaresma, os autores indicam a não utilizar os valores de  $N_{spt}$  utilizados na resistência de ponta para calcular a resistência lateral, logo, o algoritmo não utiliza a resistência lateral calculada na camada da ponta, ou seja, simulando à estaca na profundidade de 10 m, a resistência lateral acumulada só é utilizada até a profundidade de 9 m.

A figura 4.15 apresenta a planilha detalhada de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Teixeira.

Figura 4.15: Planilha de cálculo da capacidade de carga do solo pelo método Teixeira.

Capacidade de Carga do Solo - Método Teixeira

Profundidade	Nl	Solo	$N_p$	$\alpha$	$\beta$	$R_p$ (kN)	FSp	$R_p$ adm	Rl (kN)	FSl	Rl adm	$\Sigma R_l$ adm	R adm (kN)
1	7,00	Silte Areno-Argiloso	6,00	135	4	101,79	2	4,40	35,19	2	17,59	17,59	21,99
2	6,00	Silte Areno-Argiloso	6,33	135	4	107,44	2	8,17	30,16	2	15,08	32,67	40,84
3	6,33	Silte Areno-Argiloso	6,67	135	4	113,10	2	12,15	31,83	2	15,92	48,59	60,74
4	6,75	Silte Areno-Argiloso	7,67	135	4	130,06	2	16,39	33,93	2	16,96	65,55	81,94
5	7,00	Silte Areno-Argiloso	7,67	135	4	130,06	2	20,79	35,19	2	17,59	83,15	103,93
6	7,00	Silte Areno-Argiloso	8,00	135	4	135,72	2	25,19	35,19	2	17,59	100,74	125,93
7	7,29	Silte Argiloso	8,00	110	4	110,58	2	29,76	36,62	2	18,31	119,05	148,81
8	7,38	Silte Argiloso	8,67	110	4	119,80	2	34,40	37,07	2	18,54	137,59	171,98
9	7,56	Silte Argiloso	7,67	110	4	105,98	2	39,14	37,98	2	18,99	156,58	195,72
10	7,40	Silte Areno-Argiloso	6,33	135	4	107,44	2	43,79	37,20	2	18,60	175,17	218,97
11	7,09	Silte Areno-Argiloso	4,67	135	4	79,17	2	39,58	35,64	2	17,82	193,00	232,58
12	6,83	Silte Areno-Argiloso	4,00	135	4	67,86	2	33,93	34,35	2	17,17	210,17	244,10
13	6,62	Silte Areno-Argiloso	4,00	135	4	67,86	2	33,93	33,25	2	16,63	226,80	260,73
14	6,43	Silte Areno-Argiloso	4,33	135	4	73,51	2	36,76	32,31	2	16,16	242,95	279,71
15	6,33	Silte Areno-Argiloso											

Voltar

Fonte: Autor.

No caso do método Teixeira, o  $N_{spt}$  a ser considerado na ponta é a média entre o  $N_{spt}$  de uma vez o diâmetro da ponta e quatro vezes o diâmetro acima da ponta. Caso não haja dados suficientes para calcular o  $N_{spt}$  da ponta, o algoritmo não realiza o cálculo da resistência para a camada. Além disso, caso não haja camadas suficientes para quatro vezes o diâmetro acima da ponta, o algoritmo utiliza o máximo de camadas disponíveis para calcular o  $N_{spt}$  da ponta.

#### 4.4 CARGA ESTRUTURAL

Para realizar o cadastro da carga estrutural dos pilares, é necessário selecionar a opção “Carga Estrutural”, disponível na tela de Menu. A figura 4.16 apresenta a tela de cadastro da carga estrutural dos pilares.

Figura 4.16: Tela para cadastro da carga estrutural dos pilares.

Fonte: Autor.

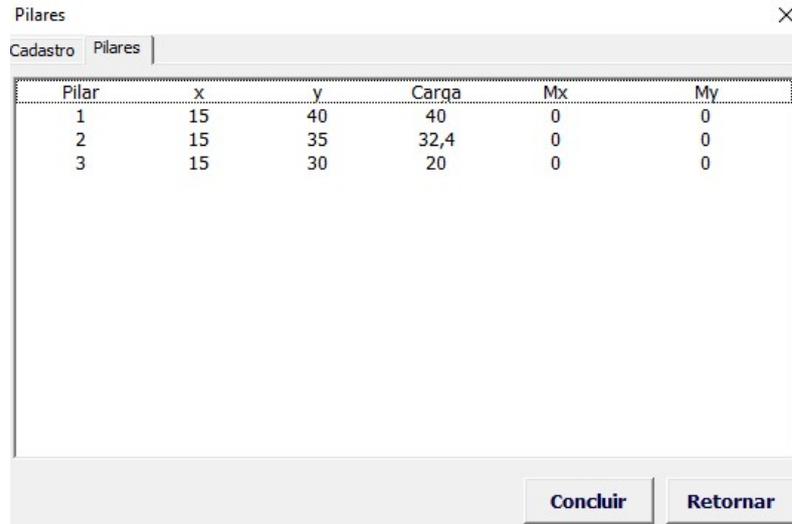
As opções disponíveis na tela de cadastro dos pilares são as seguintes:

1. Pilar: deve-se informar o número do pilar a ser cadastrado.
2. x (cm): a dimensão “x” do pilar deve ser informada, conforme ilustrado pela figura.
3. y (cm): a dimensão “y” do pilar deve ser informada, conforme ilustrado pela figura.
4. Carga (tf): deve-se informar a carga do pilar.
5. Mx (kgf.m): Caso haja momento na direção x, esse deve ser informado.
6. My (kgf.m): Caso haja momento na direção y, esse deve ser informado.

**Observação:** Visando futura implementação da avaliação das reações nas estacas em função dos momentos  $M_x$  e  $M_y$ , bem como dimensionamento estrutural do bloco de coroamento, os campos acima (2, 3, 5 e 6) devem ser informados apenas para cadastro, pois os mesmos não serão utilizados nos demais cálculos efetuados pelo programa.

Após realizar o cadastro dos pilares, selecionando a opção “Pilares”, é apresentado uma tela com todos os pilares cadastrados, conforme ilustra a figura 4.17.

Figura 4.17: Tela apresentando todos os pilares cadastrados.



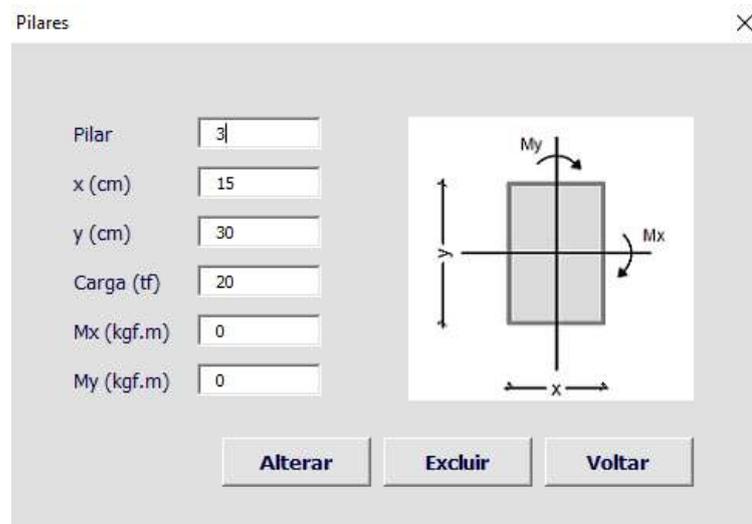
Pilar	x	y	Carga	Mx	My
1	15	40	40	0	0
2	15	35	32,4	0	0
3	15	30	20	0	0

Fonte: Autor.

**Observação:** Caso o software *Microsoft Excel* esteja com o separador decimal como ponto, utilizar o ponto ao informar algum dado. Caso seja o separador decimal a vírgula, utilizar a vírgula ao informar algum dado.

Para concluir o cadastro basta selecionar a opção “Concluir”. Se necessário realizar alguma alteração de dados dos pilares, ou excluí-los, basta clicar duas vezes sobre a linha do pilar desejado, logo, é apresentada uma tela para edição dos dados do pilar, conforme figura 4.18.

Figura 4.18: Tela para alteração de dados do pilar.



Fonte: Autor.

#### 4.5 QUANTIDADE DE ESTACAS

Após realizar o cadastro das estacas, laudo de sondagem, pilares e o cálculo da capacidade de carga do solo, pode-se proceder para o cálculo da quantidade de estacas necessárias por pilar. Para abrir a tela do cálculo da quantidade de estacas deve-se selecionar a opção “Quantidade de Estacas”, disponível na tela de Menu. A figura 4.19 apresenta a tela inicial do cálculo da quantidade de estacas.

Figura 4.19: Tela para cálculo da quantidade de estacas.

Fonte: Autor.

As opções disponíveis na tela de cálculo da quantidade de estacas são as seguintes:

1. Pilar: deve-se selecionar o pilar ao qual deseja-se calcular a quantidade de estacas.
2. Carga (tf): campo correspondente a carga proveniente do pilar selecionado no campo “Pilar” (o usuário não pode editar esse valor).
3. Coef. de Majoração: corresponde ao coeficiente de majoração da carga do pilar para o cálculo da quantidade de estacas necessárias.
4. Status: refere-se ao status do pilar, se já foi calculado ou se ainda falta realizar o cálculo da quantidade de estacas para o pilar selecionado no campo “Pilar”.
5. Estacas: deve-se selecionar à estaca ao qual deseja-se utilizar para calcular a quantidade de estacas, onde a opção “Todas” só está disponível caso o usuário cadastre três estacas. A opção “Todas” retornará uma estimativa da quantidade de estacas necessárias, simulando à estaca apoiada a cada metro, para cada uma das três estacas cadastradas.

6. Capacidade de Carga do Solo: o usuário deverá selecionar o método de cálculo da capacidade de carga do solo ao qual deseja utilizar.

A figura 4.20 apresenta a tela de cálculo da capacidade de carga preenchida.

Figura 4.20: Tela para cálculo da quantidade de estacas preenchida.

Quantidade de Estacas

Calcular Quantidade de Estacas | Pilares | Pilares - Resumo

**CARGA ESTRUTURAL**

Pilar: 1

Carga (tf): 40

Coef. de Majoração: 1.1

Status: Não calculado

**ESTACAS**

E1  E2  E3  Todas

**CAPACIDADE DE CARGA DO SOLO**

Método de Análise: Aoki-Velloso

Calcular Voltar

Fonte: Autor.

O cálculo da quantidade de estacas necessárias realizado pelo algoritmo implementado correlaciona a capacidade de carga do solo e o recalque calculado.

Na figura 4.20, observa-se que foi selecionado o pilar 1, o qual possui uma carga de 40 tf. O coeficiente de majoração da carga é de 1.1. No campo “Status”, percebe-se que a quantidade de estacas para o pilar 1 ainda não foi calculada. Nas opções de “Estacas”, foi selecionado a opção “Todas”, de modo a visualizar a quantidade de estacas necessárias simulando as três estacas. No método de análise da capacidade de carga do solo, foi utilizado o método “Aoki-Velloso”. Para a determinação da quantidade de estacas necessárias, deve-se selecionar a opção “Calcular”.

A figura 4.21 apresenta o resultado do cálculo da quantidade de estacas necessárias para o pilar 1, para as três estacas cadastradas.

Figura 4.21: Cálculo da quantidade de estacas necessárias para o pilar 1.

Recalque de Todas as Estacas

Profundidade	Estaca 1 - Ø 40 cm			Estaca 2 - Ø 50 cm			Estaca 3 - Ø 60 cm		
	Nº Estacas	Recalque	Prof. Dissipação	Nº Estacas	Recalque	Prof. Dissipação	Nº Estacas	Recalque	Prof. Dissipação
1									
2									
3									
4	7	3,624	10	6	4,305	10	5	4,925	10
5	6	3,989	10	5	4,754	10	4	5,459	10
6	5	5,044	12	4	6,535	13	3	7,556	13
7	4	7,068	13	3	8,252	13	3	9,278	13
8	4	6,675	14	3	7,890	14	3	8,963	14
9	4	6,468	15	3	7,711	15	3	8,823	15
10	3	8,817	15	3	10,214	15	2	11,533	15
11	3	7,907	15	3	9,200	15	2	10,431	15
12	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
13	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
14	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
15									

Voltar

Fonte: Autor.

Caso a opção de Estacas “Todas” seja selecionada, o algoritmo irá simular a estaca apoiando em cada profundidade, calculando a quantidade de estacas necessárias utilizando menor entre a capacidade de carga do solo e a carga de catálogo. Além disso, é realizado o cálculo do recalque, de acordo com a metodologia proposta por Aoki, apresentada no item 2.7.

No exemplo apresentado na figura 4.21, percebe-se que caso a estaca esteja apoiada na profundidade de 7 m, tem-se a quantidade de estacas necessárias para as estacas as seguintes:

- Estaca 1: 4 estacas, recalque: 7,068 mm;
- Estaca 2: 3 estacas; recalque: 8,252 mm
- Estaca 3: 3 estacas; recalque: 9,278 mm

O algoritmo realiza o cálculo do recalque (mm) e a profundidade de dissipação das tensões, a qual corresponde a profundidade em que o recalque de solo calculado na camada em análise seja menor ou igual a 10% do recalque de solo acumulado nas camadas analisadas, de acordo com a metodologia apresentada no item 2.7.

Conforme a figura 4.21, simulando a estaca apoiando na profundidade 12 m, o algoritmo realiza o cálculo da quantidade de estacas necessárias, porém, não apresenta o recalque e a profundidade de dissipação das tensões, mostrando apenas a mensagem “Dados Insuficientes”. Isso ocorre porque na análise de recalque não foi possível chegar a uma relação menor ou igual a 10% entre o recalque de solo calculado na última camada e o recalque de solo acumulado. Quando isso ocorre, é apresentado apenas a mensagem “Dados Insuficientes”.

Com o cálculo da quantidade de estacas necessárias simulando a utilização das três estacas cadastradas, o usuário deve realizar uma análise e definir qual estaca utilizar, bem como a profundidade de apoio da estaca. No caso apresentado na figura 4.21, a estaca utilizada será a “Estaca 2”, com a profundidade de apoio igual a 7 m.

Após realizar essa definição, o usuário deve realizar o cálculo novamente, dessa vez somente para a estaca desejada, selecionando a opção “Voltar”, em que o programa volta para a tela inicial do cálculo da quantidade de estacas. Após isso, deve-se selecionar a estaca desejada no campo “Estaca” e clicar na opção “Calcular”. A imagem 4.22 apresenta o cálculo da quantidade de estacas para o pilar 1, utilizando a “Estaca 2”.

Figura 4.22: Cálculo da quantidade de estacas necessárias para o pilar 1, utilizando a estaca "Estaca 2".

Recalque Estaca E2 ×

Profundidade	Nspt	Solo	QR (kN)	Nº De Estacas	Carga Efetiva (kN)	Recalque (mm)	Prof. De Dissipação (m)
1	7	Silte Areno-Argiloso	21,65				
2	5	Silte Areno-Argiloso	37,11				
3	7	Silte Areno-Argiloso	58,76				
4	8	Silte Areno-Argiloso	83,50	6	73,33	4,305	10
5	8	Silte Areno-Argiloso	108,24	5	88,00	4,754	10
6	7	Silte Areno-Argiloso	129,89	4	110,00	6,535	13
7	9	Silte Argiloso	147,16	3	146,67	8,252	13
8	8	Silte Argiloso	162,51	3	146,67	7,890	14
9	9	Silte Argiloso	179,79	3	146,67	7,711	15
10	6	Silte Areno-Argiloso	198,34	3	146,67	10,214	15
11	4	Silte Areno-Argiloso	210,71	3	146,67	9,200	15
12	3	Silte Areno-Argiloso	219,99	3	146,67	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
13	3	Silte Areno-Argiloso	229,27	2	220,00	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
14	3	Silte Areno-Argiloso	238,55	2	220,00	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
15	5	Silte Areno-Argiloso					

Pilar  Profundidade de Apoio

Fonte: Autor.

A figura 4.22 apresenta o cálculo detalhado da quantidade de estacas, em que é apresentado, por camada, a quantidade de estacas necessárias, o Nspt da camada, o tipo de solo, carga resistente (menor entre a capacidade de carga do solo e a carga de catálogo da estaca), a carga efetiva na estaca, o recalque calculado e a profundidade de dissipação das tensões.

Caso o usuário deseje adicionar mais estacas a uma determinada profundidade, deve-se realizar um duplo clique sobre a linha da profundidade desejada para que o programa apresente uma tela onde é possível adicionar mais estacas, conforme apresenta figura 4.23.

Figura 4.23: Tela para alteração da quantidade de estacas.

Recalque ×

Pilar	1	Estaca	2
Cota de Apoio	7	Carga (tf)	40
QR (kN)	147,16	Coef. de Majoração	1.1
Nº de Estacas	3	Moldagem	Moldada In-Loce
Carga Efetiva (kN)	146,67	Tipo	Hélice Contínua
Recalque (mm)	8,253	Diâmetro Estaca (cm)	50
Prof. Dissipação	13	Carga de Catálogo (tf)	125

Fonte: Autor.

Se necessário alterar a quantidade de estacas, deve-se alterar o campo “Nº de estacas” e realizar o cálculo selecionando a opção “Calcular”. Para retornar a tela anterior basta selecionar a opção “Voltar”.

Após realizar as devidas análises, o usuário deve indicar a profundidade de apoio da estaca na opção “Profundidade de Apoio” e em seguida selecionar a opção “Confirmar”. Ao realizar essa operação, é apresentado a seguinte tela ao usuário, conforme figura 4.24.

Figura 4.24: Quantidade de estacas e curva Carga-Recalque.



Fonte: Autor.

A tela apresentada na figura 4.24 apresenta o pilar selecionado, bem como o status de “Calculado” ou “Não Calculado” e a carga do pilar. Além disso, apresenta os seguintes dados:

- Profundidade de apoio da estaca;

- Estaca utilizada;
- Carga resistente (menor entre a capacidade de carga do solo e a carga de catálogo da estaca);
- Número de estacas necessárias;
- Carga efetiva na estaca;
- Recalque por encurtamento elástico;
- Recalque de solo;
- Recalque total;
- Profundidade de dissipação das tensões;

A curva carga-recalque é apresentado ao usuário, sendo este elaborado conforme metodologia apresentada no item 2.7.3.

Após verificar os resultados apresentados, o usuário pode realizar o cálculo da quantidade de estacas necessárias para os demais pilares, selecionando a opção “Calcular Quantidade de Estacas”.

Sendo realizado o cálculo da quantidade de estacas necessárias para todos os pilares, o usuário pode visualizar uma tela resumo com todas as informações calculadas, conforme apresenta a figura 4.25.

Figura 4.25: Tela resumo com os dados calculados.

Quantidade de Estacas ×

Calcular Quantidade de Estacas | Pilares | Pilares - Resumo

Pilar	Carga	Prof. Apoio	Qef (kN)	QR (kN)	Qtd. Estacas	Enc. Elastico	Recalque de Solo	Recalque Total	Prof. de Dissipacao	Estaca
1	40	7	146,67	147,16	3	0,075	8,177	8,252	13	E2 - Ø50 cm
2	32,4	7	118,80	147,16	3	0,049	8,177	8,226	13	E2 - Ø50 cm
3	20	7	110,00	117,73	2	0,083	6,985	7,068	13	E1 - Ø40 cm

Fonte: Autor.

Para finalizar o cálculo da quantidade de estacas deve-se selecionar a opção “Concluir”.

#### 4.6 RELATÓRIO

O usuário pode emitir um relatório após realizar os seguintes procedimentos:

1. Cadastrar as estacas;
2. Informar os dados do laudo de sondagem;
3. Calcular a capacidade de carga do solo;
4. Cadastrar os pilares;
5. Calcular a quantidade de estacas por pilar;

A figura 4.26 apresenta a tela para emissão do relatório:

Figura 4.26: Tela do programa para emissão do relatório.

Relatório

SELECIONE OS ITENS A ADICIONAR NO RELATÓRIO

Laudo de Sondagem

Capacidade de Carga do Solo

Aoki-Velloso

Décourt-Quaresma

Teixeira

Análise de Recalque

Resumo Estacas

Gerar Voltar

Fonte: Autor.

As figuras 4.27, 4.28 e 4.29 apresentam o relatório gerado com as seguintes opções selecionadas:

- Laudo de Sondagem;
- Aoki-Velloso;
- Análise de Recalque;
- Resumo Estacas;

Figura 4.27: Laudo de Sondagem.

Laudo de Sondagem			
Cota	Nspt	Solo	Nível Água
1	7	Silte Areno-Argiloso	10
2	5	Silte Areno-Argiloso	
3	7	Silte Areno-Argiloso	
4	8	Silte Areno-Argiloso	
5	8	Silte Areno-Argiloso	
6	7	Silte Areno-Argiloso	
7	9	Silte Argiloso	
8	8	Silte Argiloso	
9	9	Silte Argiloso	
10	6	Silte Areno-Argiloso	
11	4	Silte Areno-Argiloso	
12	3	Silte Areno-Argiloso	
13	3	Silte Areno-Argiloso	
14	3	Silte Areno-Argiloso	
15	5	Silte Areno-Argiloso	

Fonte: Autor.

Figura 4.28: Capacidade de carga do solo pelo método Aoki-Velloso, para as três estacas cadastradas.

Capacidade de Carga do Solo - Método Aoki-Velloso - Estaca 1 (Hélice Contínua) - Diâmetro: 40 cm										
Profundidade	Nspt	Solo	K (kPa)	$\alpha$	F1	F2	Rp adm	Rl adm	$\Sigma Rl adm$	Radm (kN)
1	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	3,46	13,85	13,85	17,32
2	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	5,94	9,90	23,75	29,69
3	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	9,40	13,85	37,60	47,01
4	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	13,36	15,83	53,44	66,80
5	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	17,32	15,83	69,27	86,59
6	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	20,78	13,85	83,13	103,91
7	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	23,55	11,06	94,18	117,73
8	8	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	26,00	9,83	104,01	130,01
9	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	28,77	11,06	115,06	143,83
10	6	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	31,73	11,88	126,94	158,67
11	4	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	33,71	7,92	134,86	168,57
12	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	35,20	5,94	140,79	175,99
13	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	36,68	5,94	146,73	183,41
14	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	38,17	5,94	152,67	190,84
15	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0				
Capacidade de Carga do Solo - Método Aoki-Velloso - Estaca 2 (Hélice Contínua) - Diâmetro: 50 cm										
Profundidade	Nspt	Solo	K (kPa)	$\alpha$	F1	F2	Rp adm	Rl adm	$\Sigma Rl adm$	Radm (kN)
1	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	4,33	17,32	17,32	21,65
2	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	7,42	12,37	29,69	37,11
3	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	11,75	17,32	47,01	58,76
4	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	16,70	19,79	66,80	83,50
5	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	21,65	19,79	86,59	108,24
6	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	25,98	17,32	103,91	129,89
7	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	29,43	13,82	117,73	147,16
8	8	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	32,50	12,28	130,01	162,51
9	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	35,96	13,82	143,83	179,79
10	6	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	39,67	14,84	158,67	198,34
11	4	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	42,14	9,90	168,57	210,71
12	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	44,00	7,42	175,99	219,99
13	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	45,85	7,42	183,41	229,27
14	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	47,71	7,42	190,84	238,55
15	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0				
Capacidade de Carga do Solo - Método Aoki-Velloso - Estaca 3 (Hélice Contínua) - Diâmetro: 60 cm										
Profundidade	Nspt	Solo	K (kPa)	$\alpha$	F1	F2	Rp adm	Rl adm	$\Sigma Rl adm$	Radm (kN)
1	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	5,20	20,78	20,78	25,98
2	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	8,91	14,84	35,63	44,53
3	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	14,10	20,78	56,41	70,51
4	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	20,04	23,75	80,16	100,20
5	8	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	25,98	23,75	103,91	129,89
6	7	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	31,17	20,78	124,69	155,86
7	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	35,32	16,58	141,27	176,59
8	8	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	39,00	14,74	156,01	195,02
9	9	Silte Argiloso	230	0,034	2,0	4,0	43,15	16,58	172,60	215,74
10	6	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	47,60	17,81	190,41	238,01
11	4	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	50,57	11,88	202,28	252,86
12	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	52,80	8,91	211,19	263,99
13	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	55,02	8,91	220,10	275,12
14	3	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0	57,25	8,91	229,00	286,25
15	5	Silte Areno-Argiloso	450	0,028	2,0	4,0				

Fonte: Autor.

Figura 4.29: Análise de recalque e resumo de estacas por pilar.

Pilar 1					
Dados Gerais		Capacidade de Carga		Análise de Recalque	
Carga (tf)	40	Estaca	E2 - Ø50 cm	Encurtamento Elástico*	0,075
Seção x (cm)	15	Prof. de Apoio (m)	7	Recalque de Solo*	8,177
Seção y (cm)	40	Carga Admissível (kN)	147,159	Recalque Total*	8,252
Mx (kgf.m)	0	Quantidade de Estacas	3	Profundidade de dissipação das tensões	13
My (kgf.m)	0	Carga Efetiva (kN)	146,667	* Unidade: mm	
Pilar 2					
Dados Gerais		Capacidade de Carga		Análise de Recalque	
Carga (tf)	32,4	Estaca	E2 - Ø50 cm	Encurtamento Elástico*	0,049
Seção x (cm)	15	Prof. de Apoio (m)	7	Recalque de Solo*	8,177
Seção y (cm)	35	Carga Admissível (kN)	147,159	Recalque Total*	8,226
Mx (kgf.m)	0	Quantidade de Estacas	3	Profundidade de dissipação das tensões	13
My (kgf.m)	0	Carga Efetiva (kN)	118,8	* Unidade: mm	
Pilar 3					
Dados Gerais		Capacidade de Carga		Análise de Recalque	
Carga (tf)	20	Estaca	E1 - Ø40 cm	Encurtamento Elástico*	0,083
Seção x (cm)	15	Prof. de Apoio (m)	7	Recalque de Solo*	6,985
Seção y (cm)	30	Carga Admissível (kN)	117,727	Recalque Total*	7,068
Mx (kgf.m)	0	Quantidade de Estacas	2	Profundidade de dissipação das tensões	13
My (kgf.m)	0	Carga Efetiva (kN)	110	* Unidade: mm	
Estacas por pilar - Resumo					
Pilar	Carga (tf)	Estaca	N° Estacas	Prof. Apoio	Carga Efetiva (kN)
1	40	E2 - Ø50 cm	3	7	146,67
2	32,4	E2 - Ø50 cm	3	7	118,8
3	20	E1 - Ø40 cm	2	7	110

Fonte: Autor.

#### 4.7 ELABORAÇÃO DO PROJETO

Para a elaboração do projeto de fundações deve-se ter os seguintes itens:

- Laudo de sondagem;
- Planta de cargas da estrutura (Anexo A);

##### 4.7.1 Laudo de Sondagem

O laudo de sondagem tipo SPT utilizado para o desenvolvimento do projeto é apresentado na figura 4.30.

Figura 4.30: Laudo de sondagem utilizado para a elaboração do projeto.

-1,00	01									Site arenoso de cor variegada com presença de material orgânico.
-2,00	02	9	7						média*	Site areno-argiloso de cor vermelha.
-3,00	03	6	5						mole*	
-4,00	04	6	7						média*	
-5,00	05	8	8						média*	Site areno-argiloso de cor vermelha com traços de amarelo.
-6,00	06	6	8						média*	
-7,00	07	7	7						média*	
-8,00	08	8	9						média*	Site argiloso de cor amarela com traços de vermelho.
-9,00	09	7	9						mole*	
-10,00	10	8	9						média*	
-11,00	11	6	6						média*	Site areno-argiloso de cor amarela.
-12,00	12	3	4						mole*	
-13,00	13	4	3						mole*	
-14,00	14	2	3						mole*	
-15,00	15	3	3						mole*	
-16,00	16	4	5						mole*	
-17,00	17									
-18,00	18									
-19,00	19									
-20,00	20									

Fonte: Autor.

No laudo de sondagem disponível na figura 4.30, percebe-se que o índice que mede a resistência a penetração do solo apresenta um decréscimo a partir da profundidade -11 m. Na profundidade -11 m foi determinado o nível de água. A partir da profundidade -12 m o solo é

do tipo Silte Areno-argiloso de consistência mole, apresentando valores de  $N_{spt}$  baixos, inferiores a 6.

#### 4.7.2 Definição das estacas

De modo a evitar problemas de recalque por adensamento, o projeto foi elaborado tendo como limite de profundidade para a estaca na cota -10 m. As estacas utilizadas são do tipo Hélice Contínua. Para uma avaliação preliminar, foram cadastrados três diâmetros, 35 cm, 40 cm e 50 cm, conforme apresenta figura 4.31.

Figura 4.31: Diâmetros cadastrados para avaliação preliminar.



Estaca	Moldagem	Tipo Estaca	Diâmetro	Carça de Catálogo
1	Moldada In-Loco	Hélice Contínua	35	60
2	Moldada In-Loco	Hélice Contínua	40	80
3	Moldada In-Loco	Hélice Contínua	50	125

Fonte: Autor.

#### 4.7.3 Capacidade de carga do solo

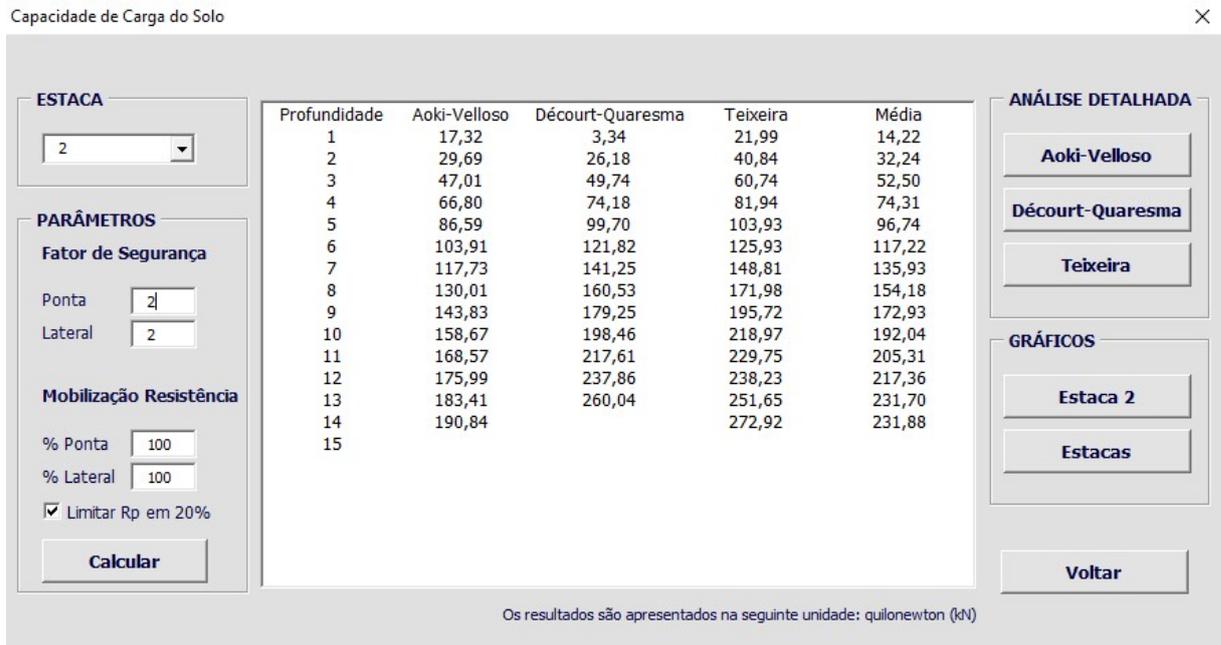
A capacidade de carga do solo para o horizonte disponível no laudo de sondagem foi determinada utilizando a planilha desenvolvida, conforme apresentam as figuras 4.32, 4.33 e 4.34.

Figura 4.32: Capacidade de carga do solo para a estaca 1.



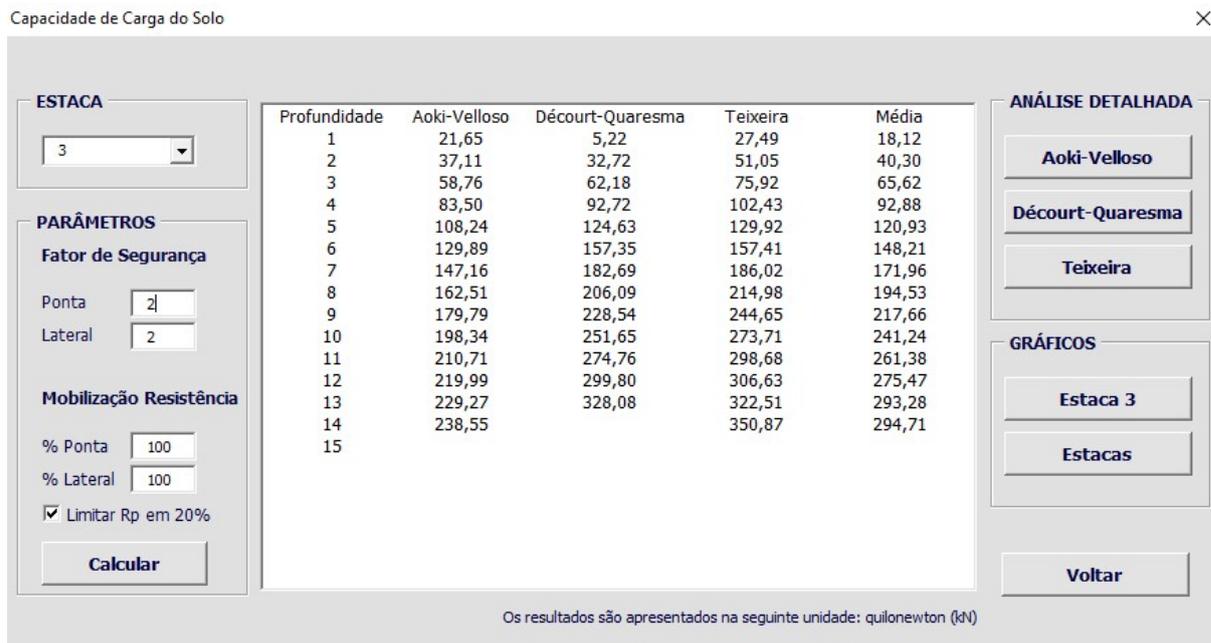
Fonte: Autor.

Figura 4.33: Capacidade de carga do solo para a estaca 2.



Fonte: Autor.

Figura 4.34: Capacidade de carga do solo para a estaca 3.



Fonte: Autor.

Conforme observação apresentada no item 4.2, na utilização da planilha deve-se utilizar apenas as camadas em que se tem a interação solo-estaca. Logo, as profundidades apresentadas na planilha devem ser acrescidas de 1 m para a determinação da cota em relação ao nível do terreno.

No cálculo da capacidade de carga do solo a resistência de ponta foi limitada no máximo 20% da resistência total da estaca, conforme recomendação apresentada no item 8.2.1.2 da NBR 6122/2010.

Os métodos implementados foram os seguintes: Aoki-Velloso, Décourt-Quaresma e Teixeira. Percebe-se que os três métodos não apresentam grandes variações nos resultados, onde o método Décourt-Quaresma é o que mais se aproxima da média entre os três. Para a elaboração do projeto, a capacidade de carga do solo a ser considerada é a calculada pelo método Décourt-Quaresma.

#### 4.7.4 Carga estrutural

A planta de cargas da estrutura é apresentada no Anexo A. A edificação possui 45 pilares, em que a carga máxima é de 44,4 tf (Pilar 12). Para a elaboração do projeto foi delimitado 7 intervalos de cargas. Sendo assim, foram cadastrados na planilha 7 pilares “fictícios” com os limites de cargas definidos. A figura 4.35 apresenta os intervalos de cargas lançados na planilha, em que a carga é apresentada na unidade tonelada-força.

Figura 4.35: Intervalos de cargas cadastrados na planilha.

Pilar	x	y	Carga	Mx	My
1	0	0	9,171	0	0
2	0	0	15,043	0	0
3	0	0	20,914	0	0
4	0	0	26,786	0	0
5	0	0	32,657	0	0
6	0	0	38,529	0	0
7	0	0	44,4	0	0

Fonte: Autor.

#### 4.7.5 Determinação da quantidade de estacas

Para a determinação da quantidade de estacas foi utilizado o método Décourt-Quaresma para a capacidade de carga do solo.

Foram determinadas as quantidades de estacas necessárias para cada intervalo de carga, bem como a profundidade de apoio. A figura 4.36 apresenta a quantidade de estacas necessárias para o intervalo de carga 7 (38,530 - 44,4 tf) comparando as três estacas cadastradas.

Figura 4.36: Quantidade de estacas necessárias para o intervalo de carga 7.

Profundidade	Estaca 1 - Ø 35 cm			Estaca 2 - Ø 40 cm			Estaca 3 - Ø 50 cm		
	Nº Estacas	Recalque	Prof. Dissipação	Nº Estacas	Recalque	Prof. Dissipação	Nº Estacas	Recalque	Prof. Dissipação
1									
2									
3									
4	8	4,840	10	7	5,391	10	6	6,412	10
5	6	5,187	10	5	5,790	10	4	6,908	10
6	5	6,584	12	5	7,348	12	4	9,536	13
7	5	10,063	12	4	11,048	12	3	13,816	13
8	4	10,857	14	4	11,999	14	3	14,150	14
9	4	10,631	15	3	11,868	15	3	14,072	15
10	3	14,525	15	3	15,933	15	2	18,608	15
11	3	14,321	15	3	15,748	15	2	18,460	15
12	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
13	3	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes	2	Dados Insuficientes	Dados Insuficientes
14									
15									

Fonte: Autor.

Com os dados disponíveis na figura 4.36 pode-se realizar um comparativo da quantidade de estacas necessárias simulando à estaca apoiada em cada profundidade, correlacionando com

o valor do recalque estimado. Com isso pode-se determinar o tipo ou diâmetro da estaca a ser utilizado, bem como a profundidade de apoio. Para o intervalo de cargas 7 (38,530 - 44,4 tf) foi utilizado à estaca 2 (Hélice Contínua de 40 cm) de comprimento 9 m (como na planilha é considerado apenas camadas de interação solo-estaca, a cota de apoio é de 10 m). A figura 4.37 apresenta os resultados para o intervalo de cargas 7.

Figura 4.37: Resultados para o intervalo de cargas 7.



Fonte: Autor.

Para a carga máxima de 44,4 tf são necessárias três estacas de 40 cm de diâmetro, de comprimento 9m. A carga efetiva em cada estaca é de 162,8 kN, provocando um recalque estimado em 11,87 mm. A curva carga-recalque apresenta a estimativa do recalque em função da carga efetiva aplicada na estaca. Analisando esta pode-se verificar que as cargas do intervalo 7 (38,530 - 44,4 tf) provocam cargas efetivas na estaca inferiores a 162,8 kN, logo, o recalque é inferior ao de 11,87 mm.

A seguir, na figura 4.38, é apresentado a quantidade de estacas por intervalo de carga (pilares fictícios), estaca utilizada, profundidade de apoio (deve ser acrescida de 1 m para a cota de apoio em relação ao nível do terreno) e a carga efetiva na estaca.

Figura 4.38: Quantidade de estacas por intervalo de carga.

Estacas por pilar - Resumo					
Pilar	Carga (tf)	Estaca	Nº Estacas	Prof. Apoio	Carga Efetiva (kN)
1	9,171	E1 - Ø35 cm	1	7	100,88
2	15,043	E1 - Ø35 cm	2	7	82,74
3	20,914	E1 - Ø35 cm	2	7	115,03
4	26,786	E1 - Ø35 cm	2	9	147,32
5	32,657	E1 - Ø35 cm	3	7	119,74
6	38,529	E1 - Ø35 cm	3	9	141,27
7	44,4	E2 - Ø40 cm	3	9	162,8

Fonte: Autor.

Com os diâmetros e profundidade de apoio das estacas determinados, foi realizado a elaboração da peça gráfica detalhando o projeto, o qual é apresentado no Apêndice A.

#### 4.7.6 Dimensionamento estrutural das estacas

Conforme apresentado no item 8.3.6 da ABNT NBR 6122/2010, para estacas hélice contínua quando solicitadas a carga de compressão que resulte numa tensão inferior a 6,0 MPa, não há a necessidade de serem executadas em concreto armado, exceto na ligação com o bloco de coroamento. Nesse caso, a norma recomenda a utilização de uma armadura de comprimento mínimo de 4,0 m, com uma taxa de aço de 0,5% da área da seção da estaca.

As tensões resultantes nas estacas do projeto são inferiores a 6,0 MPa, logo, a taxa de aço a ser utilizada será de 0,5% da área da seção da estaca. Para as estacas de diâmetro 35 cm e 40 cm, tem-se as seguintes taxas de aço, respectivamente:

$$As. \text{ min. } 35 = \frac{0,5}{100} \times 962,11 \text{ cm}^2 = 4,81 \text{ cm}^2$$

$$As. \text{ min. } 40 = \frac{0,5}{100} \times 1256,60 \text{ cm}^2 = 6,28 \text{ cm}^2$$

Utilizando barras de 12,5 mm, tem-se 4 barras para as estacas de 35 cm de diâmetro e 6 barras para as estacas de 40 cm de diâmetro. O comprimento das armaduras das estacas foi admitido como 6,0 m. De modo a facilitar a execução e a colocação das armaduras nas estacas, foi considerado cobrimento de 7 cm.

O detalhamento estrutural das estacas é apresentado no Apêndice B.

#### 4.8 CURVA CARGA-RECALQUE ESTIMADA X PROVA DE CARGA

A curva carga-recalque elaborada com base na equação de Van Der Veen apresentada no item 2.7.3 é uma estimativa do recalque da estaca submetida ao carregamento. Já a prova de carga apresenta o comportamento real da estaca quando submetida ao carregamento.

A seguir será apresentado um comparativo entre a curva carga-recalque estimada pela equação de Van Der Veen e dois ensaios de prova de carga estática realizadas em duas estacas tipo Hélice Contínua de diâmetro 70 cm. Os ensaios foram realizados em uma edificação da cidade de Palmas – TO. Os dados relacionados a estudo do subsolo e prova de carga foram apresentados por Rego (2018) em seu Trabalho de Conclusão de Curso.

##### 4.8.1 Laudo de sondagem

Foram realizados dois furos de sondagem no terreno onde a edificação está localizada. Os laudos de sondagem são apresentados nas figuras 4.39 e 4.40.

Figura 4.39: Laudo de sondagem 1.

Profundidade	Nº da Amostra	N.A.	1ª e 2ª		1ª e 2ª penetração			2ª e 3ª penetração			Nº Frag.	(%) Recup.	(%) RCID	*Consistência/ **Compactação	Descrição do Solo
			15	15	10	20	30	40	50						
-1,00	0														Argila arenosa marrom.
-2,00	1		2	2										muito mole*	Idem vermelha.
-3,00	2		2	3										mole*	
-4,00	2		3	5										mole*	
-5,00	3		10	14										mediamente compacta**	Areia média variegado.
-6,00	4		19	21										compacta**	
-7,00	4		21	28										compacta**	Idem com pedregulho médio de quartzo.
-8,00	5		23	31										compacta**	Silte variegado.
-9,00	6		36	34/19										muito compacta**	
-10,00	7		50/22	22/07										muito compacta**	
-11,00	8		50/20	23/05										muito compacta**	
-12,00	9		50/21	25/06										muito compacta**	
-13,00	10		50/23	26/08										muito compacta**	
-14,00	11		50/19	13/04										muito compacta**	
-15,00	12		50/15											muito compacta**	
-16,00	13		50/17	08/02										muito compacta**	
-17,00	14		50/13											muito compacta**	
-18,00	15		50/10											muito compacta**	Alteração de argilito cinza.
-19,00	16		50/09											muito compacta**	Amostra não recuperada.
-20,00	17		50/08											muito compacta**	
-21,00	18		50/05											muito compacta**	
-22,00	19		50/06											muito compacta**	Argilito cinza.
-23,00	20		50/04											muito compacta**	
-24,00	21		50/05											muito compacta**	
-24,00	21		50/05											muito compacta**	
-25,00	22		50/06											muito compacta**	

Fonte: REGO (2018).

Figura 4.40: Laudo de sondagem 2.

Profundidade	Nº da Amostra	N.A. 24 h	1ª-2ª	2ª-3ª	1ª e 2ª penetração / 2ª e 3ª penetração					Nº Fmg.	(%) Recup.	(%) RQD	*Consistência/ **Compressão	Descrição do Solo
					10	20	30	40	50					
-1,00	0													Areia fina marrom.
-2,00	1		2	2									fofa**	Idem avermelhada.
-3,00	2		7	8									pouco compacta**	
-4,00	3		13	16									medianamente compacta**	
-5,00	4		8	7									pouco compacta**	
-6,00	5		7	8									pouco compacta**	Areia fina variegado.
-7,00	6		10	14									medianamente compacta**	
-8,00	7		15	18									medianamente compacta**	Areia grossa variegado com pedregulho médio de quartzo.
-9,00	8		16	23									compacta**	
-10,00	9		27	38/19									muito compacta**	Silte variegado.
-11,00	10		45	35/17									muito compacta**	
-12,00	11		51	42/18									muito compacta**	
-13,00	12		50/24	30/00									muito compacta**	
-14,00	13		50/15										muito compacta**	
-15,00	14		50/15										muito compacta**	Silte cinza.
-16,00	15		50/20	20/05									muito compacta**	
-17,00	16		50/26	27/11									muito compacta**	
-18,00	17		50/17	10/02									muito compacta**	
-19,00	18		50/08										dura*	Argilite cinza.
-20,00	19		50/07										dura*	
-21,00	20		50/05										dura*	Argilite cinza.
-22,00	21		50/08										dura*	
-23,00	22		50/04										dura*	
-24,00	23		50/05										dura*	
-25,00	24		50/07										dura*	
-25,05	25		50/05										dura*	

Fonte: REGO (2018).

#### 4.8.2 Ensaio de carga estática

Foram realizados dois ensaios de carga estática em duas estacas nomeadas EPC1 e EPC2. As estacas são do tipo hélice contínua de diâmetro 70 cm e profundidade de 15 m. O ensaio foi realizado conforme recomendação normativa da NBR 6122/2010, a qual determina que deve ser ensaiada até que a solicitação seja 1,6 vezes a carga admissível do projeto. A carga máxima aplicada nos ensaios foi de 350 tf (REGO, 2018).

Os resultados das provas de carga são apresentados nas figuras 4.41 e 4.42.

Figura 4.41: Resultado para fase de carregamento EPC1.

Fase	Carregamento				
	Recalque (mm)				
	EXT 01	EXT 02	EXT 03	EXT 04	Média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35,00	-0,28	-0,17	-0,28	-0,09	-0,21
70,00	-0,46	-0,32	-0,49	-0,32	-0,40
105,00	-1,26	-0,86	-1,30	-0,68	-1,03
140,00	-2,84	-1,34	-2,85	-1,05	-2,02
175,00	-3,45	-1,93	-3,58	-1,57	-2,63
210,00	-5,90	-2,85	-4,52	-2,51	-3,95
245,00	-7,27	-3,79	-5,91	-4,62	-5,40
280,00	-8,88	-5,17	-8,28	-6,73	-7,27
315,00	-11,19	-8,96	-12,68	-8,86	-10,42
350,00	-12,85	-11,60	-13,09	-10,85	-12,10

Fonte: REGO (2018).

De acordo com a figura 4.41 percebe-se que para uma carga de 350 tf tem-se um recalque de -12,10 mm ao final da fase de carregamento.

Figura 4.42: Resultado para fase de carregamento EPC2.

Fase	Carregamento				
	Recalque (mm)				
	EXT 01	EXT 02	EXT 03	EXT 04	Média
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
35,00	-0,04	-0,12	-0,04	-0,05	-0,06
70,00	-0,45	-0,80	-0,54	-0,79	-0,65
105,00	-1,10	-1,67	-1,41	-1,79	-1,49
140,00	-2,56	-3,44	-3,18	-2,22	-2,85
175,00	-5,18	-5,99	-4,12	-3,13	-4,61
210,00	-6,27	-7,43	-5,07	-5,18	-5,99
245,00	-7,22	-9,37	-6,37	-7,20	-7,54
280,00	-8,19	-11,18	-7,18	-8,18	-8,68
315,00	-9,39	-12,27	-8,17	-10,52	-10,09
350,00	-10,30	-15,28	-11,22	-13,71	-12,63

Fonte: REGO (2018).

Analisando a figura 4.42, para uma carga de 350 tf à estaca apresentou recalque de -12,63 mm ao final da fase de carregamento.

### 4.8.3 Cálculo da capacidade de carga do solo

O cálculo da capacidade de carga do solo foi realizado utilizando a planilha desenvolvida. Os cálculos foram realizados considerando duas situações:

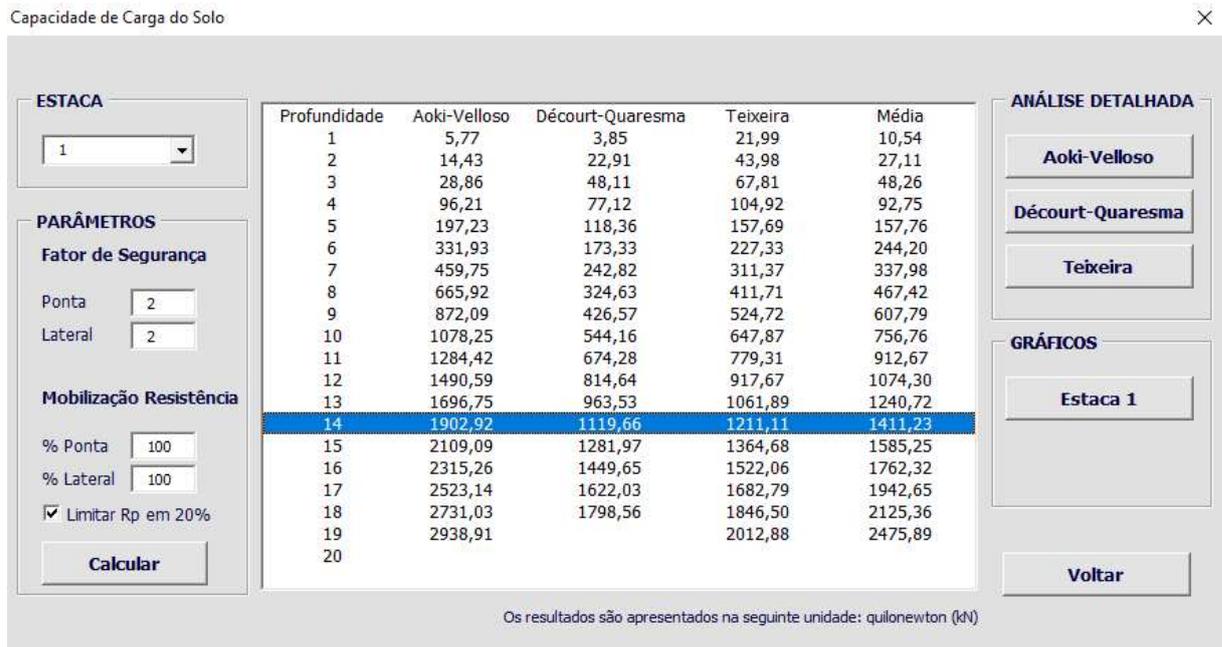
1. Limitando o valor da resistência de ponta em no máximo 20% da resistência total, conforme item 8.2.1.2 da NBR 6122/2010.

## 2. Sem limitar o valor da resistência de ponta.

### 4.8.3.1 Limitando o valor da resistência de ponta em no máximo 20% da resistência total

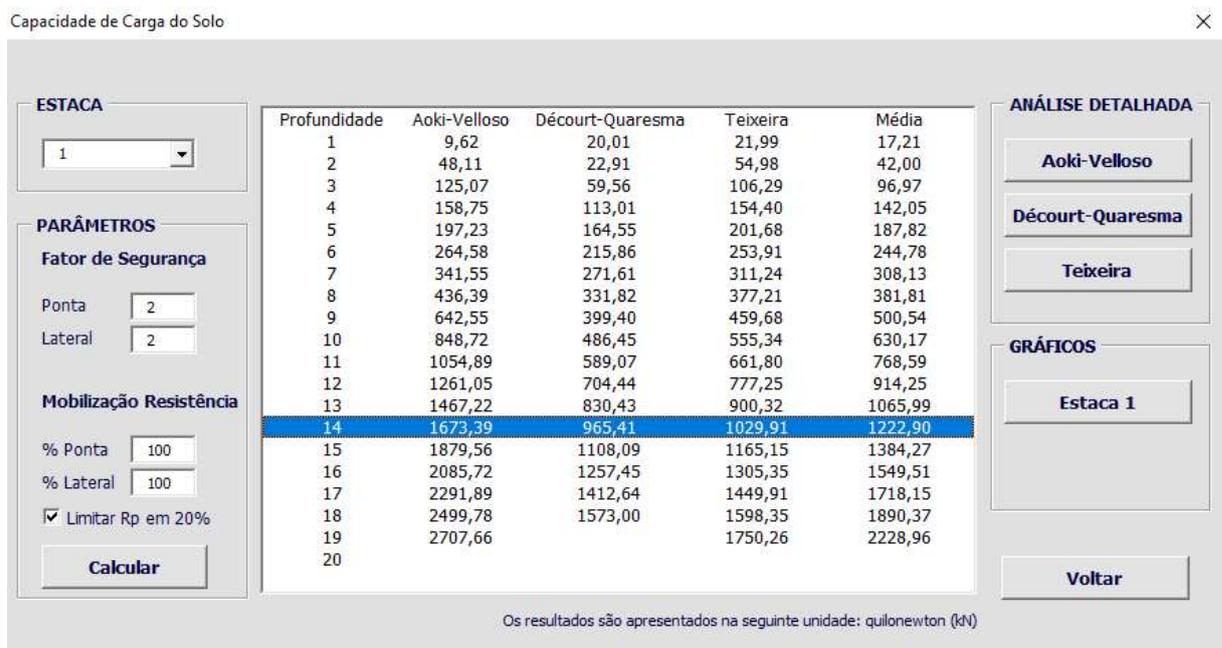
As figuras 4.43 e 4.44 apresentam os resultados do cálculo da capacidade de carga do solo para os dois laudos de sondagem disponíveis, 1 e 2, respectivamente, limitando a resistência de ponta em no máximo 20% da resistência total.

Figura 4.43: Capacidade de carga do solo limitando a resistência de ponta - Laudo 1.



Fonte: Autor.

Figura 4.44: Capacidade de carga do solo limitando a resistência de ponta - Laudo 2.

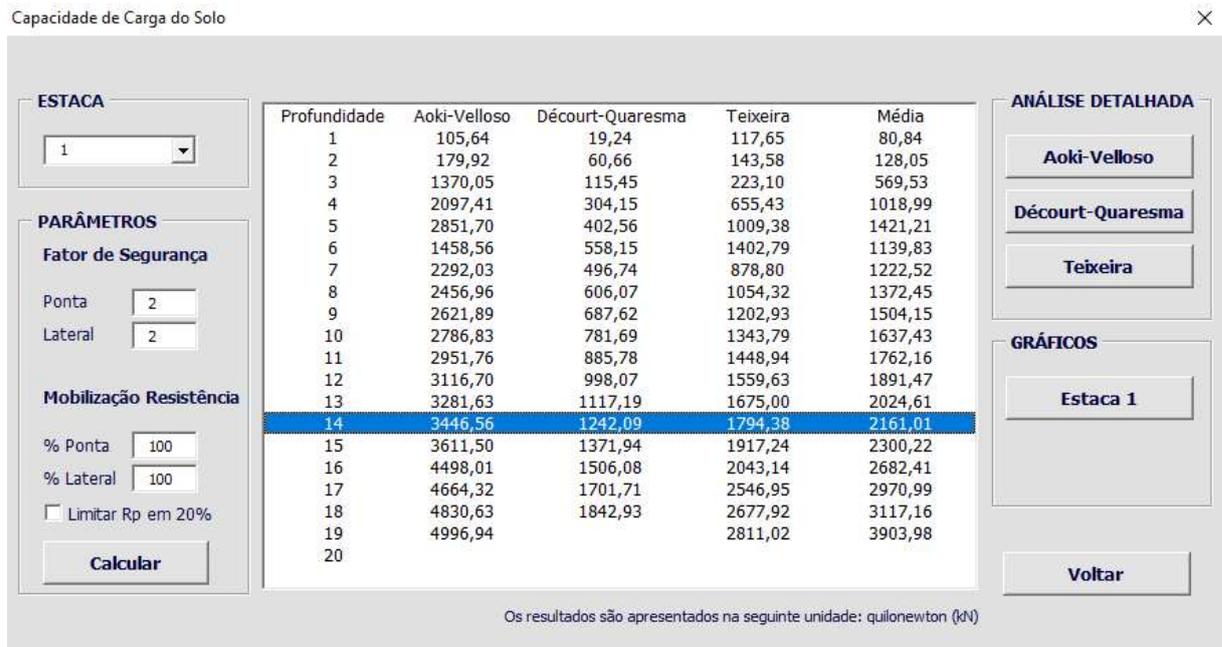


Fonte: Autor.

#### 4.8.3.2 Sem limitar a resistência de ponta

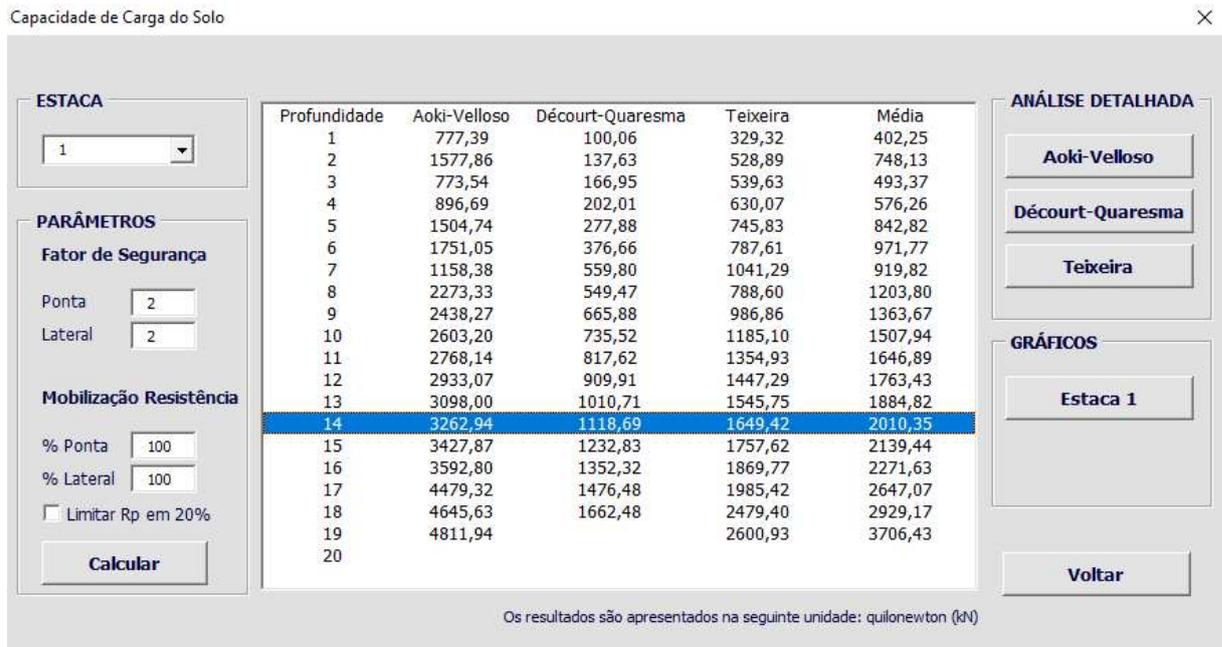
As figuras 4.45 e 4.46 apresentam os resultados do cálculo da capacidade de carga do solo para os dois laudos de sondagem disponíveis, sem limitar a resistência de ponta.

Figura 4.45: Capacidade de carga do solo sem limitar a resistência de ponta - Laudo 1.



Fonte: Autor.

Figura 4.46: Capacidade de carga do solo sem limitar a resistência de ponta - Laudo 2.



Fonte: Autor.

#### 4.8.3.3 Análise dos resultados

As estacas foram executadas na cota de -15 m. Como na planilha deve-se informar apenas as camadas de interação solo-estaca, a primeira camada deve ser desprezada. Logo, na planilha, a profundidade 14 m corresponde à estaca apoiada na cota -15 m.

O quadro 4.1 apresenta os resultados para a capacidade de carga do solo para a estaca.

Quadro 4.1: Capacidade de carga do solo.

Laudo	Caso	Resistência Total (kN)		
		Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira
Laudo 1	Limitando Rp em 20%	1902,92	1119,66	1211,11
	Sem limitar Rp	3446,56	1242,09	1794,38
Laudo 2	Limitando Rp em 20%	1673,39	965,41	1029,91
	Sem limitar Rp	3262,94	1118,69	1649,42

Fonte: Autor.

A seguir temos o percentual da capacidade de carga do solo calculada e a carga de 350 tf aplicada na prova de carga.

Quadro 4.2: Capacidade de carga em relação a prova de carga.

Laudo	Caso	Percentual em relação a prova de carga		
		Aoki-Velloso	Décourt-Quaresma	Teixeira
Laudo 1	Limitando Rp em 20%	54,37%	31,99%	34,60%
	Sem limitar Rp	98,47%	35,49%	51,27%
Laudo 2	Limitando Rp em 20%	47,81%	27,58%	29,43%
	Sem limitar Rp	93,23%	31,96%	47,13%

Fonte: Autor.

Analisando os resultados apresentados no quadro 4.2, o método Aoki-Velloso é o que mais se aproxima da carga aplicada no ensaio.

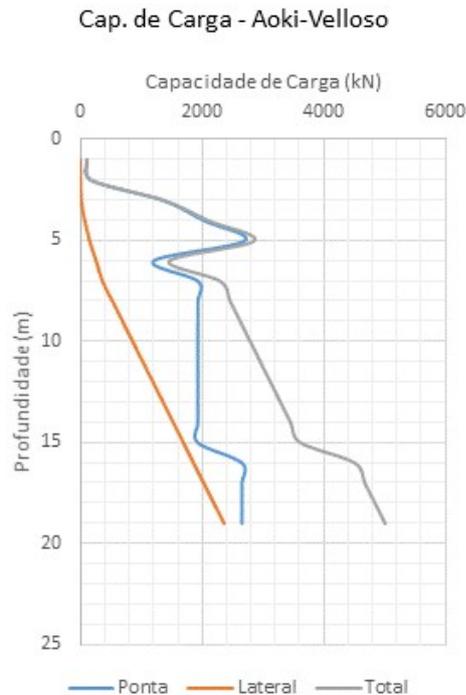
Para o laudo 1, considerando a limitação na resistência de ponta, tem-se que o valor estimado pelo método Aoki-Velloso apresenta um percentual de 54,37% em relação a prova de carga. Já sem considerar a limitação da resistência de ponta, tem-se um percentual de 98,47%.

Já para o laudo 2 os percentuais em relação a prova de carga, para o método Aoki-Velloso são de 47,81% limitando a resistência de ponta, 93,23% sem limitar a resistência de ponta.

Comparado aos outros métodos, o método Aoki-Velloso apresenta maior variação quando considerado ou não a recomendação do item 8.2.1.2 da NBR 6122/2010 para limitar a resistência de ponta em no máximo 20% da resistência total. Em virtude disso, percebe-se que o método Aoki-Velloso faz uma consideração maior da contribuição da resistência de ponta na

determinação da capacidade de carga do solo. O gráfico apresentado na figura 4.47 evidencia esse fato, em que é apresentado a capacidade de carga do solo para o laudo 1 de acordo com a profundidade, para o método Aoki-Velloso.

Figura 4.47: Gráfico de capacidade de carga em função da profundidade para o Laudo 1.



Fonte: Autor.

O gráfico apresentado na figura 4.47 ilustra a distribuição da capacidade de carga do solo de acordo com a profundidade. Pode-se perceber que a parcela de atrito lateral aumenta em uma proporção quase constante conforme aumenta a profundidade. Já a parcela da resistência de ponta varia a cada camada, devido a mudanças no tipo de solo da ponta da estaca e do valor do  $N_{spt}$ . O gráfico acima evidencia que o método Aoki-Velloso faz uma consideração maior da resistência de ponta, em que nesse caso a resistência de ponta é superior a parcela de atrito lateral.

Os laudos de sondagem indicam um crescimento no  $N_{spt}$  ao longo da profundidade do terreno. Como o método Aoki-Velloso considera o valor do  $N_{spt}$  da camada na determinação da capacidade de carga do solo, de acordo com valores estimados e o valor da prova de carga, apresenta dados mais precisos em relação aos demais métodos. Isso pode ser evidenciado pelo fato de os métodos Décourt-Quaresma e Teixeira utilizarem a média do  $N_{spt}$  ao longo das camadas para determinar a parcela da resistência lateral.

Sendo assim, para analisar a curva carga-recalque estimada e a determinada pela prova de carga, será considerado a capacidade de carga do solo estimada pelo método Aoki-Velloso sem a limitação da resistência de ponta em 20%.

#### 4.8.4 Determinação da curva carga-recalque estimada

Para determinar a curva carga-recalque utilizando a planilha desenvolvida foram cadastrados pilares “fictícios” com carga igual a capacidade de carga do solo na profundidade da estaca.

As figuras 4.48 e 4.49 apresentam o resultado para a curva carga-recalque estimada para os laudos 1 e 2, respectivamente.

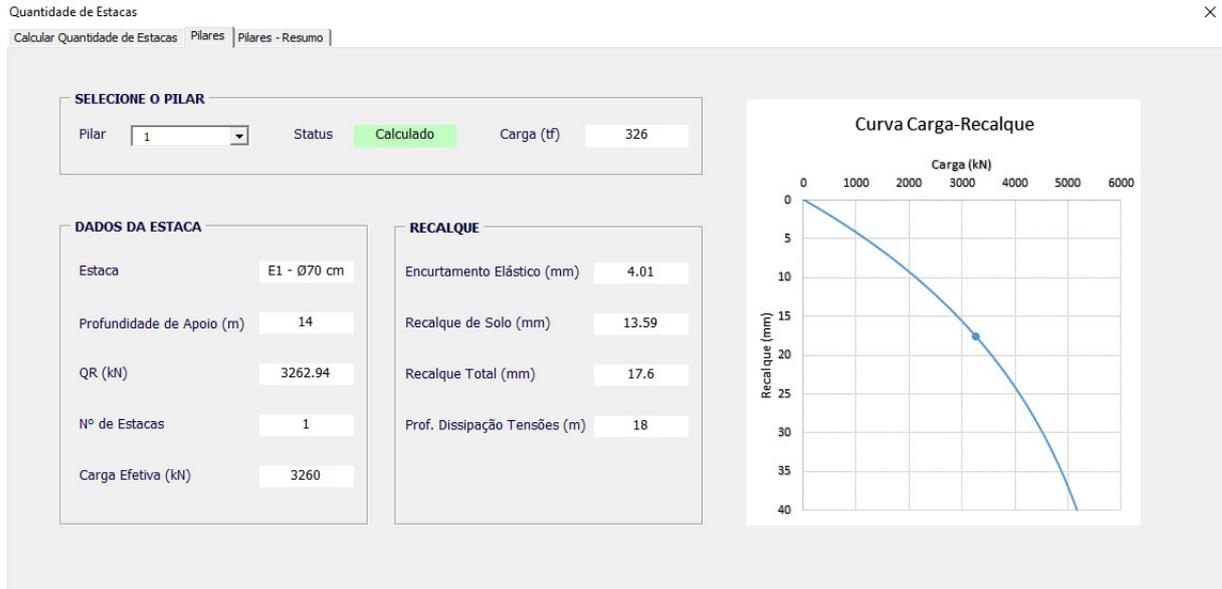
Figura 4.48: Curva carga-recalque para o laudo 1.



Fonte: Autor.

A figura 4.48 apresenta a curva carga-recalque estimada gerada pela planilha desenvolvida. Para uma carga efetiva de 3440 kN, tem-se um recalque estimado de 14,16 mm.

Figura 4.49: Curva carga-recalque para o laudo 2.



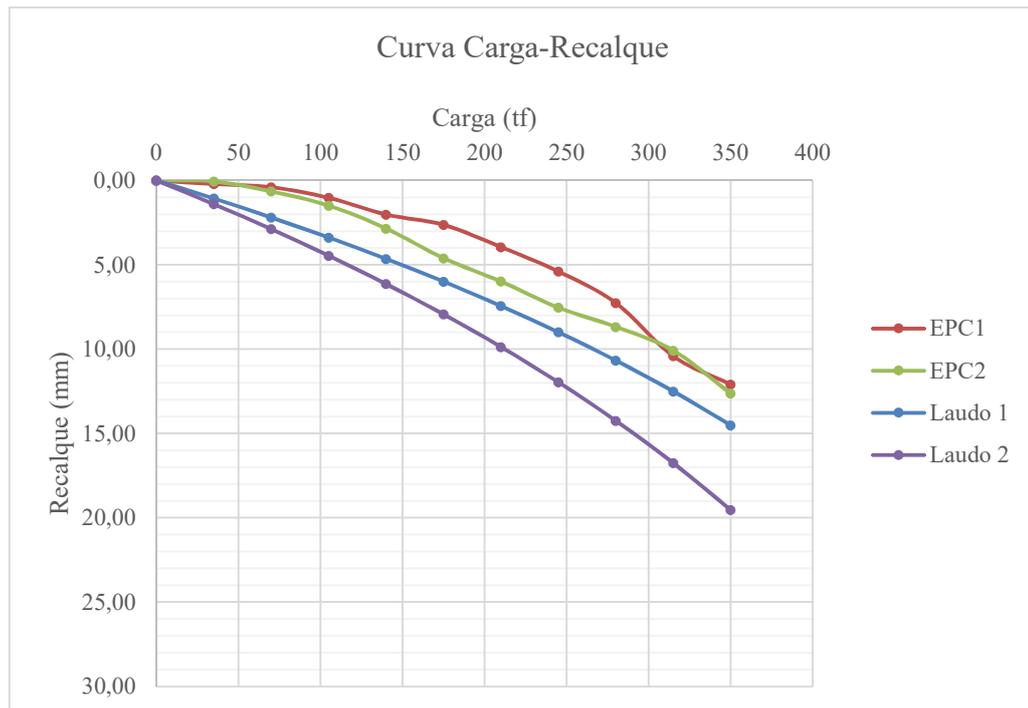
Fonte: Autor.

Analisando a figura 4.49 verifica-se que para o laudo 2, com uma carga efetiva de 3260 kN tem-se um recalque estimado em 17,6 mm.

#### 4.8.5 Comparação curva carga-recalque estimada x prova de carga

A seguir é apresentado o gráfico contendo as curvas carga-recalque para as provas de carga 1 e 2, bem como as estimadas para os laudos 1 e 2.

Figura 4.50: Gráfico comparativo entre as curvas carga-recalque.



Fonte: Autor.

Analisando os resultados apresentados na figura 4.50, a curva carga-recalque estimada para o laudo 1 apresenta um comportamento similar a curva carga-recalque da prova de carga 2. Diante disso, pode-se dizer que os recalques estimados para a área de influência do laudo de sondagem 1 apresentam resultados coerentes com os obtidos pelas provas de carga.

Já a curva carga recalque estimada para o laudo 2 apresenta uma maior variação em relação as curvas para as provas de carga, porém, ainda assim apresenta resultados coerentes em relação aos dados das provas de carga.

Como não há a informação da localização exata dos furos de sondagem, com base nos valores obtidos pela correlação entre a curva carga-recalque estimada e a determinada a partir da prova de carga, é provável que os ensaios tenham sido realizados na área de influência do laudo 1, o qual apresentou capacidade de carga do solo e recalque estimado próximo aos obtidos pelos ensaios.

## 5 CONCLUSÃO

A planilha elaborada permite realizar a análise da capacidade de carga do solo utilizando três métodos semi-empíricos, onde o projetista pode rapidamente analisar e comparar os resultados apresentados pelos três métodos e definir o qual irá utilizar. A partir daí, pode-se definir a quantidade de estacas necessárias para a carga estrutural definida, realizando a verificação do recalque estimado ao mesmo tempo, sem a necessidade de realizar esse cálculo posteriormente.

Com a elaboração de um projeto foi possível avaliar o desempenho da planilha, em que os dados de sondagem, cargas provenientes da estrutura, bem como as estacas a serem avaliadas foram cadastradas. Utilizando a ferramenta desenvolvida, os cálculos dos parâmetros geotécnicos foram realizados de maneira satisfatória, apresentando várias possibilidades para o projeto, onde foi possível otimizar tempo na tomada de decisão de quais estacas utilizar, além de determinar a profundidade dos elementos.

A comparação entre a capacidade de carga estimada por métodos semi-empíricos com dados de prova de carga é essencial para avaliar qual método é o mais indicado para cada caso específico. Por meio dessa análise foi possível verificar que o método Aoki-Velloso foi o que mais se aproximou dos dados obtidos pelos ensaios de prova de carga. A curva carga-recalque estimada apresentou resultados ligeiramente superiores aos valores reais, evidenciando que a metodologia implementada apresenta resultados satisfatórios.

De acordo com a comparação entre os resultados apresentados pela prova de carga e a ferramenta desenvolvida, foi possível validar a planilha, a qual apresentou confiabilidade para a qual foi proposta.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a avaliação das reações nas estacas em virtude dos momentos fletores dos pilares, bem como a implementação de uma rotina para realizar o dimensionamento estrutural dos blocos de coroamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Exercícios de fundações**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 206 p.

AOKI, Nelson; VELLOSO, Dirceu de Alencar (1975). An approximate method to estimate the bearing capacity of piles, **Proceedings, 5th Pan American CSMFE**, Buenos Aires, v. 1, pp. 367-376.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 12131**: Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

BOWLES, Joseph E.. **Foundation analysis and design**. 5. ed. Singapore: Mcgraw-hill, 1997.

BUCKI, Lisa A. et al. **Microsoft Office 2013 Bible**. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2013. 1479 p.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: volume 2. São Paulo: Pini, 2009. 589 p.

CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson. **Fundações por estacas**: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 96 p.

DAS, Braja M.. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 559 p.

HACHICH, Waldemar et al. **Fundações**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. 751 p.

JELLEN, Bill; SYRSTAD, Tracy. **VBA e Macros para o Microsoft Office Excel 2007**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

KIMURA, Alio Ernesto. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**: cálculos de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: Pini, 2007.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 207 p.

MOTA, Magnólia Maria Campêlo. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda**: método numérico e resultados observados no campo. 2009. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MOURA, Luiz Fernando de. **Excel para engenharia**: Formas simples para resolver problemas complexos. São Carlos: Edufscar, 2007.

PORTO, Thiago Bomjardim. **Curso básico de concreto armado:** conforme NBR 6116/2014. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 208 p.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações:** guia prático de projeto, execução e dimensionamento. São Paulo: Zigurate Editora, 2008. 238 p.

REGO, Wesley Lima. **Comparação dos métodos semiempíricos para obtenção da capacidade de carga do solo de acordo com ensaio de carga estática.** 2018. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2018.

SCHNAID, Fernando. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

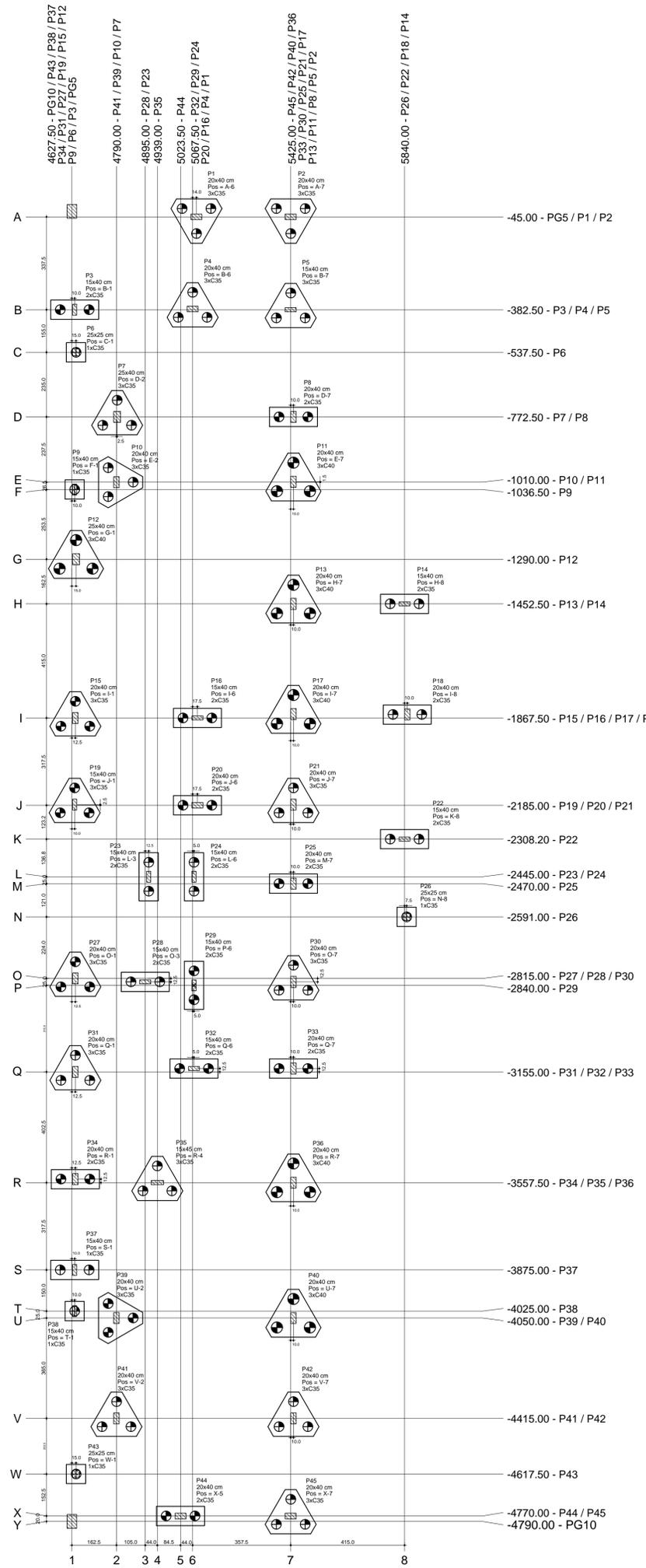
SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

TERZAGUI, Karl; PECK, Ralph B.; MESRI, Gholamreza. **Soil Mechanics in Engineering Practice.** 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 512 p.

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. 568 p.

WALKENBACH, John. **Programando Excel VBA para leigos.** Rio de Janeiro: Alta Books, 2012. 408 p.

**APÊNDICES**

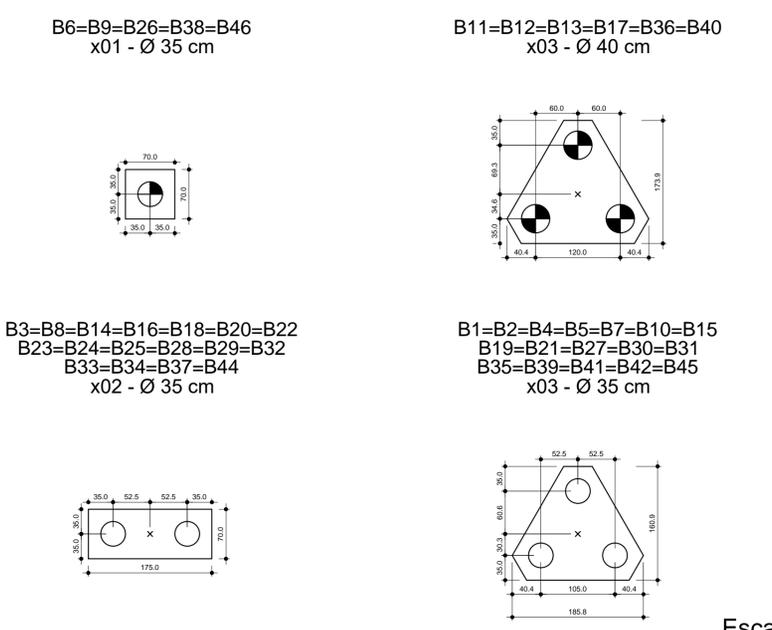


Pilar	Coordenadas (cm)		Carga (tf)	BLOCOS DE COROAMENTO			
	x	y		Bloco	Lado 1 (cm)	Lado 2 (cm)	Diâmetro (cm)
1	5081,50	-45,00	27,8	1	185,8	160,9	35
2	5425,00	-45,00	27,9	2	185,8	160,9	35
3	4637,50	-382,50	22,8	3	175,0	70,0	35
4	5067,50	-380,00	30,5	4	185,8	160,9	35
5	5425,00	-382,50	27,0	5	185,8	160,9	35
6	4642,50	-537,50	7,8	6	70,0	70,0	35
7	4792,50	-772,50	28,2	7	185,8	160,9	35
8	5435,00	-772,50	23,8	8	175,0	70,0	35
9	4637,50	-1036,50	5,6	9	70,0	70,0	35
10	4790,00	-1010,00	30,5	10	185,8	160,9	35
11	5435,00	-1008,50	38,7	11	200,8	173,9	40
12	4642,50	-1290,00	44,4	12	200,8	173,9	40
13	5435,00	-1452,50	40,0	13	200,8	173,9	40
14	5840,00	-1452,50	10,7	14	175,0	70,0	35
15	4640,00	-1867,50	37,8	15	185,8	160,9	35
16	5085,00	-1867,50	24,6	16	175,0	70,0	35
17	5435,00	-1853,50	39,4	17	200,8	173,9	40
18	5850,00	-1855,00	18,9	18	175,0	70,0	35
19	4637,50	-2182,50	34,2	19	185,8	160,9	35
20	5085,00	-2185,00	24,2	20	175,0	70,0	35
21	5435,00	-2182,50	28,7	21	185,8	160,9	35
22	5840,00	-2308,20	15,5	22	175,0	70,0	35
23	4907,50	-2445,00	14,6	23	175,0	70,0	35
24	5072,50	-2445,00	13,9	24	175,0	70,0	35
25	5435,00	-2470,00	24,1	25	175,0	70,0	35
26	5847,50	-2591,00	3,3	26	70,0	70,0	35
27	4640,00	-2815,00	32,8	27	185,8	160,9	35
28	4895,00	-2827,50	20,7	28	175,0	70,0	35
29	5072,50	-2840,00	22,3	29	175,0	70,0	35
30	5435,00	-2827,50	30,7	30	185,8	160,9	35
31	4640,00	-3155,00	26,8	31	185,8	160,9	35
32	5072,50	-3142,50	21,6	32	175,0	70,0	35
33	5435,00	-3142,50	25,2	33	175,0	70,0	35
34	4640,00	-3545,00	22,8	34	175,0	70,0	35
35	4939,00	-3557,50	30,7	35	185,8	160,9	35
36	5435,00	-3557,50	42,2	36	200,8	173,9	40
37	4637,50	-3875,00	12,4	37	175,0	70,0	35
38	4790,00	-4050,00	36,9	38	185,8	160,9	35
39	4790,00	-4050,00	36,9	39	185,8	160,9	35
40	5435,00	-4050,00	39,7	40	200,8	173,9	40
41	4790,00	-4415,00	27,8	41	185,8	160,9	35
42	5435,00	-4415,00	27,0	42	185,8	160,9	35
43	4642,50	-4617,50	8,5	43	70,0	70,0	35
44	5023,50	-4770,00	21,3	44	175,0	70,0	35
45	5425,00	-4770,00	31,2	45	185,8	160,9	35

ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA (HCM)				
Simbologia	Diâmetro	Cota de Apoio	Tipo Estaca	Quantidade
	Ø 35 cm	-08 m	A	58
	Ø 35 cm	-10 m	B	32
	Ø 40 cm	-10 m	C	18

Planta de locação  
escala 1:100

### DETALHES DA GEOMETRIA DOS BLOCOS EM PLANTA



Escala: 1/50

ANOTAÇÕES:

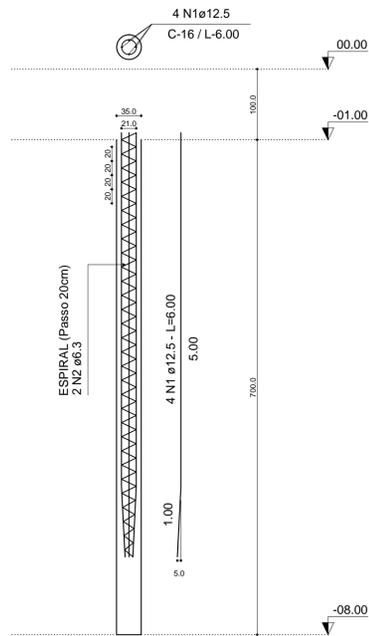
## PROJETO DE FUNDAÇÕES

Projeto de Fundações: Estacas Hélice Contínua Monitorada (HCM)

OBRA:	ASS:		
PROPRIETÁRIO:			
ENDEREÇO:			
CIDADE:			
AUTOR DO PROJETO: MATEUS MACEDO GUIMARÃES AGUIAR	ASS:		
CREA			
RESP. TÉCNICO	ASS:		
CONTEÚDO DESTA PRANCHA:	ÁREAS:	PRANCHA:	
- PLANTA DE LOCAÇÃO	Ver Arquitetônico		
- DETALHAMENTO EM PLANTA DOS BLOCOS			
DESENHO:	DATA:	ESCALA:	REVISÃO:
	NOVEMBRO/2018	Indicadas	

1/2

**ESTACAS TIPO 'A'**  
 HCM Ø35 cm - 7,00m  
 x 58



**Relação do Aço**  
Estacas Tipo A (58x)

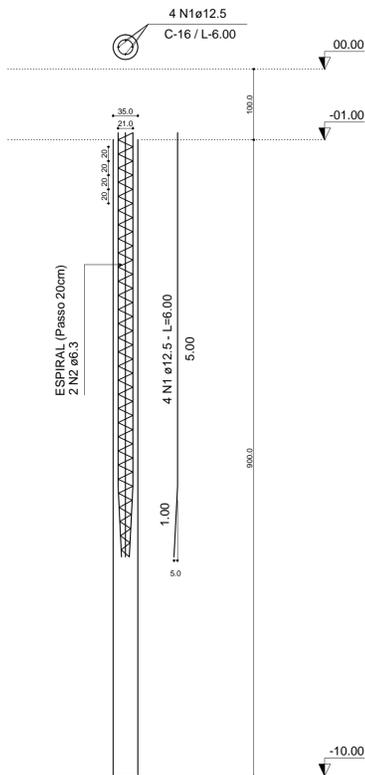
Aço	N	Ø (mm)	Quant.	Compr. Unit. (m)	Total (m)
CA50	1	12,5	232	6	1392
CA50	2	6,3	116	12	1392

**Resumo do Aço**

Aço	Ø (mm)	Compr. Total (m)	Peso + 10%
CA50	6,3	1392	375,14
CA50	12,5	1392	1474,55
		<b>Peso Total (kg)</b>	<b>1849,69</b>

Volume de concreto (m³) = 39,06

**ESTACAS TIPO 'B'**  
 HCM Ø35 cm - 9,00m  
 x 32



**Relação do Aço**  
Estacas Tipo B (32x)

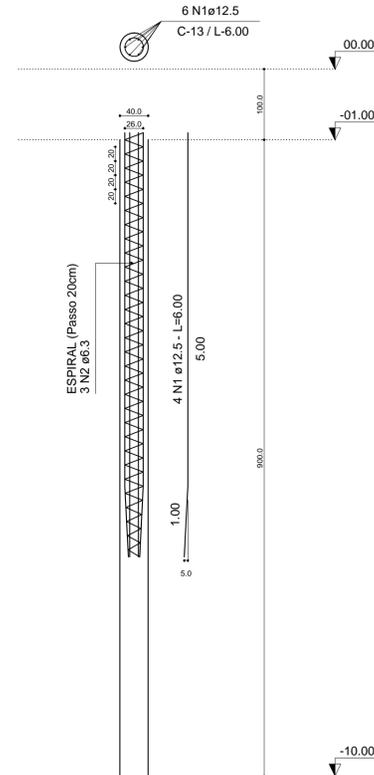
Aço	N	Ø (mm)	Quant.	Compr. Unit. (m)	Total (m)
CA50	1	12,5	128	6	768
CA50	2	6,3	64	12	768

**Resumo do Aço**

Aço	Ø (mm)	Compr. Total (m)	Peso + 10%
CA50	6,3	768	206,98
CA50	12,5	768	813,54
		<b>Peso Total (kg)</b>	<b>1020,52</b>

Volume de concreto (m³) = 27,71

**ESTACAS TIPO 'C'**  
 HCM Ø40 cm - 9,00m  
 x 18



**Relação do Aço**  
Estacas Tipo C (18x)

Aço	N	Ø (mm)	Quant.	Compr. Unit. (m)	Total (m)
CA50	1	12,5	108	6	648
CA50	2	6,3	54	12	648

**Resumo do Aço**

Aço	Ø (mm)	Compr. Total (m)	Peso + 10%
CA50	6,3	648	174,64
CA50	12,5	648	686,43
		<b>Peso Total (kg)</b>	<b>861,06</b>

Volume de concreto (m³) = 20,36

ANOTAÇÕES:

**PROJETO DE FUNDAÇÕES**

Projeto de Fundações: Estacas Hélice Contínua Monitorada (HCM)

OBRA:  
 PROPRIETÁRIO:  
 ENDEREÇO:  
 CIDADE:

AUTOR DO PROJETO: MATHEUS MACÉDO GUIMARÃES AGUIAR  
 CREA  
 RESP. TÉCNICO

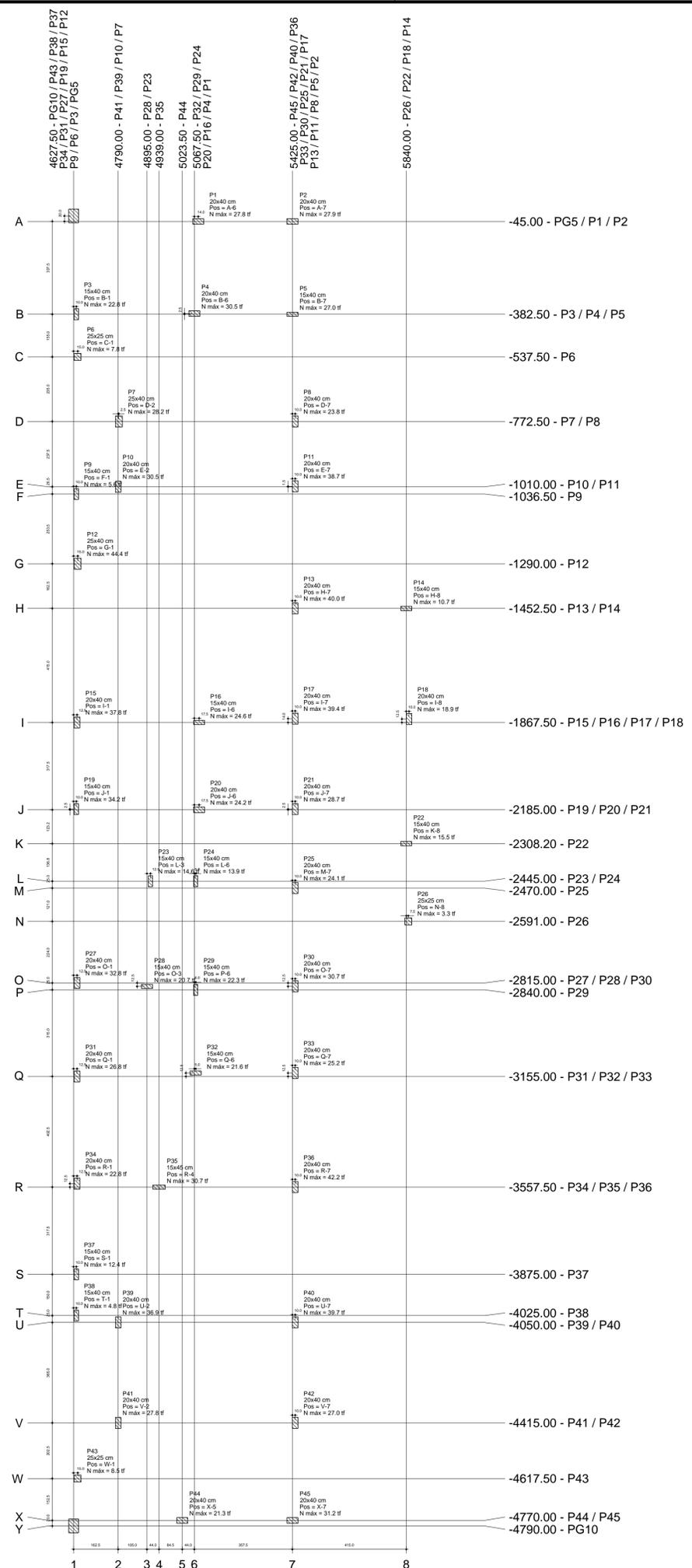
ASS:  
 ASS:

CONTEÚDO DESTA PRANCHA:  
 - DETALHAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTACAS

ÁREAS:  
 Ver Arquitetônico

PRANCHA:

**ANEXOS**



Nome	Seção (cm)	Pilar		Posição	Carga Máx. (tf)	Carga Mín. (tf)
		X (cm)	Y (cm)			
P1	20x40	5081.50	-45.00	A-6	27.8	21.6
P2	20x40	5425.00	-45.00	A-7	27.9	24.8
P3	15x40	4637.50	-382.50	B-1	22.8	18.6
P4	20x40	5067.50	-380.00	B-6	30.5	21.1
P5	15x40	5425.00	-382.50	B-7	27.0	22.6
P6	25x25	4642.50	-537.50	C-1	7.8	6.5
P7	25x40	4792.50	-772.50	D-2	28.2	21.4
P8	20x40	5435.00	-772.50	D-7	23.8	18.9
P9	15x40	4637.50	-1036.50	F-1	5.6	4.4
P10	20x40	4790.00	-1010.00	E-2	30.5	22.5
P11	20x40	5435.00	-1008.50	E-7	38.7	31.4
P12	25x40	4642.50	-1290.00	G-1	44.4	34.4
P13	20x40	5435.00	-1452.50	H-7	40.0	32.0
P14	15x40	5840.00	-1452.50	H-8	10.7	8.5
P15	20x40	4640.00	-1867.50	I-1	37.8	29.7
P16	15x40	5085.00	-1867.50	I-6	24.6	17.2
P17	20x40	5435.00	-1853.50	I-7	39.4	31.7
P18	20x40	5850.00	-1855.00	I-8	18.9	14.7
P19	15x40	4637.50	-2182.50	J-1	34.2	27.0
P20	20x40	5085.00	-2185.00	J-6	24.2	18.2
P21	20x40	5435.00	-2182.50	J-7	28.7	23.4
P22	15x40	5640.00	-2308.20	K-6	15.5	13.0
P23	15x40	4907.50	-2445.00	L-3	14.6	10.4
P24	15x40	5072.50	-2445.00	L-6	13.9	10.2
P25	20x40	5435.00	-2470.00	M-7	24.1	20.4
P26	25x25	5847.50	-2591.00	N-8	3.3	2.7
P27	20x40	4640.00	-2815.00	O-1	32.8	25.4
P28	15x40	4895.00	-2827.50	O-3	20.7	17.0
P29	15x40	5072.50	-2840.00	P-6	22.3	16.8
P30	20x40	5435.00	-2827.50	O-7	30.7	26.8
P31	20x40	4640.00	-3155.00	Q-1	26.8	22.1
P32	15x40	5072.50	-3142.50	Q-6	21.6	16.2
P33	20x40	5435.00	-3142.50	Q-7	25.2	21.0
P34	20x40	4640.00	-3545.00	R-1	22.8	18.9
P35	15x45	4939.00	-3557.50	R-4	30.7	21.1
P36	20x40	5435.00	-3557.50	R-7	42.2	35.6
P37	15x40	4637.50	-3875.00	S-1	12.4	10.4
P38	15x40	4637.50	-4025.00	T-1	4.8	3.8
P39	20x40	4790.00	-4050.00	U-2	36.9	29.0
P40	20x40	5435.00	-4050.00	U-7	39.7	32.5
P41	20x40	4790.00	-4415.00	V-2	27.8	21.2
P42	20x40	5435.00	-4415.00	V-7	27.0	21.6
P43	25x25	4642.50	-4617.50	W-1	8.5	7.2
P44	20x40	5023.50	-4770.00	X-5	21.3	16.9
P45	20x40	5425.00	-4770.00	X-7	31.2	27.8



Planta de cargas  
escala 1:100

ANOTAÇÕES:

## PROJETO DE FUNDAÇÕES

Projeto de Fundações: Estacas Hélice Contínua Monitorada (HCM)

OBRA:  
 PROPRIETÁRIO:  
 ENDEREÇO:  
 CIDADE:

AUTOR DO PROJETO: MATHEUS MACÉDO GUIMARÃES AGUIAR      ASS:  
 CREA  
 RESP. TÉCNICO      ASS:

CONTEÚDO DESTA PRANCHA:      ÁREAS:      PRANCHA:  
 - PLANTA DE CARGAS      Ver Arquitetônico

1/1

DESENHO:      DATA:      ESCALA:      REVISÃO:  
 NOVEMBRO/2018      1/100



TCC\_Matheus\_Macedo\_2018\_2\_Entrega.pdf (13/11/2018):

Documentos candidatos

teses.usp.br/teses/d...  
[2.53%]

lmsp.ufc.br/arquivos...  
[2.15%]

ufjf.br/nugeo/files/... [1.73%]

maxwell.vrac.puc-rio...  
[1.33%]

engenhironocanteiro...  
[0.78%]

civil.ist.utl.pt/~ja... [0.7%]

engenhariacivilunip....  
[0.47%]

researchgate.net/fig...  
[0.02%]

sailingmagazine.net/... [0%]

sailmagazine.com/boa...  
[0%]

Arquivo de  
entrada: TCC\_Matheus\_Macedo\_2018\_2\_Entrega.pdf(9872  
termos)

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
teses.usp.br/teses/d...	<a href="#">Visualizar</a>	11707	534	2.53
lmsp.ufc.br/arquivos...	<a href="#">Visualizar</a>	5387	322	2.15
ufjf.br/nugeo/files/...	<a href="#">Visualizar</a>	2566	212	1.73
maxwell.vrac.puc-rio...	<a href="#">Visualizar</a>	5188	199	1.33
engenhironocanteiro...	<a href="#">Visualizar</a>	2137	93	0.78
civil.ist.utl.pt/~ja...	<a href="#">Visualizar</a>	2246	85	0.7
engenhariacivilunip....	<a href="#">Visualizar</a>	822	51	0.47
researchgate.net/fig...	<a href="#">Visualizar</a>	101	2	0.02
sailingmagazine.net/...	<a href="#">Visualizar</a>	941	1	0
sailmagazine.com/boa...	<a href="#">Visualizar</a>	1981	0	0