

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**JÚLIA SANTOS ARAÚJO
LARA SILVA RODRIGUES**

**MODELAGEM NUMÉRICA UTILIZANDO LÓGICA DE
PROGRAMAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA
ESTACAS**

ANÁPOLIS / GO

2018

**JÚLIA SANTOS ARAÚJO
LARA SILVA RODRIGUES**

**MODELAGEM NUMÉRICA UTILIZANDO LÓGICA DE
PROGRAMAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA
ESTACAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA DE GODOI
QUARESMA**

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, JÚLIA SANTOS/ RODRIGUES, LARA SILVA

Modelagem numérica utilizando lógica de programação para dimensionamento de Mega estacas

62P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--------------------|---------------------------------|
| 1. Dimensionamento | 2. Fundações |
| 3. Mega estacas | 4. Matlab |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^o) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, Júlia Santos; RODRIGUES, Lara Silva. Modelagem numérica utilizando lógica de programação para dimensionamento de Mega estacas. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 62p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Júlia Santos Araújo

Lara Silva Rodrigues

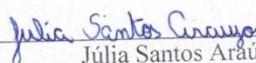
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

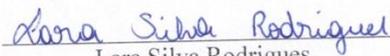
Modelagem numérica utilizando lógica de programação para dimensionamento de Mega estacas

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Júlia Santos Araújo
jusantosa.eng@hotmail.com

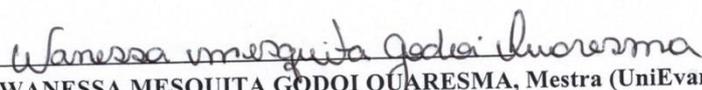

Lara Silva Rodrigues
larasilvarodrigues573@gmail.com

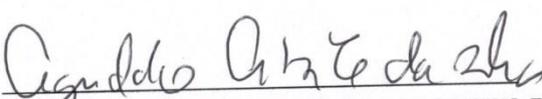
**JÚLIA SANTOS ARAÚJO
LARA SILVA RODRIGUES**

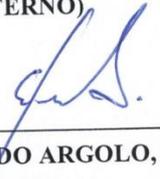
**MODELAGEM NUMÉRICA UTILIZANDO LÓGICA DE
PROGRAMAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE
MEGAESTACAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:


**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**


**AGNALDO ANTONIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**


**EDUARDO DOURADO ARGOLO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de NOVEMBRO de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida. À professora orientadora Wanessa Mesquita Godoi Quaresma, pela orientação deste trabalho, pelo seu tempo e dedicação em transmitir seus conhecimentos.

Aos demais professores do curso, por toda a paciência, dedicação e ensinamentos, sem dúvidas, cada um de uma maneira especial contribuiu para minha formação profissional e pessoal.

A todos os colegas de curso, por todo o companheirismo e pela amizade que construímos durante todo o curso.

À todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão desse curso e para a realização desse trabalho, a todos vocês minha eterna gratidão.

Júlia Santos Araújo

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo aquilo que já passei, por ter-me trago para o lugar certo, onde pude não apenas cumprir um sonho, mas também pude conhecer uma nova família e amigos que vou levar para o resto da minha vida. Também agradeço a Ele, por ter me dado capacitação, entendimento e conhecimento ao longo desses cinco anos, por não ter me deixado desistir dos meus sonhos, e me mostrando o amor Dele a todo momento.

Agradeço aos meus pais, por terem sempre me incentivado a sonhar, por terem me apoiado em tudo, mesmo em meio as dificuldades. Ao meu pai Roberto, por sempre ter sonhado em me dar um futuro melhor, sempre me incentivando a continuar, a minha mãe Etelvina Helena, por sempre me mostrar palavras de força e amor, nos momentos ruins. Muito obrigado, pai e mãe. A minha irmã Kamilla, quero também expressar gratidão, por sempre querer me ajudar, mesmo as vezes não podendo, sei que me tornei uma pessoa melhor tendo-a como irmã.

Aos meus amigos Aylana, Larissa, Mateus e Pedro, mesmo estando longe, agradeço por todo o apoio, mesmo indiretamente, e por terem sempre compartilhado, desse sonho comigo, desde o começo.

A minha amiga Larissa, por ter se tornado uma irmã desde o começo para mim, sempre me confortando e sonhando muito além comigo, muito obrigada. Também a Mariana, por ter cuidado de mim desde o começo, sempre me incentivando a ir além, obrigada.

Aos meus amigos e colegas de faculdade, Áureo Júnior, Amanda, Júlia e Matheus, obrigada por ter compartilhado esses cinco anos comigo, por terem me apoiado e ajudado nos momentos difíceis.

Aos meu líderes, Carminha e Túlio, por sempre cuidarem de mim, sempre sonhando comigo, me incentivando, mostrando o Amor de Deus, muito obrigada por serem meu segundo pai e minha segunda mãe. Aos meus irmãos de discipulado e aos meu discípulos, muito obrigado pelo apoio.

Por fim, agradeço também a minha orientadora, Wanessa, por ter me ajudado a cumprir esse sonho.

Muito obrigado a todos.

Lara Silva Rodrigues

RESUMO

O conceito de interação solo-estrutura requer uma análise conjunta da estrutura e do solo, sendo o conhecimento de técnicas matemáticas que auxiliam no dimensionamento de projetos de estruturas de relevada acuidade, baseado nisso, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma rotina de cálculo no ambiente Matlab onde foi possível dimensionar e verificar Mega estacas, um tipo de fundação, onde segmentos pré-moldados de concreto são cravados com o auxílio do macaco hidráulico, esse tipo de estaca é comumente usada para reforço de estruturas. Ademais, o projeto usado para a calibração do programa, foi para um reforço estrutural na fundação de um supermercado localizado em Goiânia-GO. O programa denominado ESTACASLJ, dimensiona pelo método de Decourt e Quaresma (1978). A calibração do programa foi realizada comparando-se o projeto estrutural e o relatório de sondagem. A rotina se mostrou eficiente no cumprimento do cálculo de dimensionamento da resistência das estacas. Sendo que as resistências calculadas pelo programa conseguiram ser comparadas a resistência que a Mega estaca possui no projeto estrutural. Depois de comparadas, obteve-se o resultado esperado, onde a resistência calculada foi menor que a usada, podendo assim aplicar o programa em outros projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Matlab. Resistência. Fundação. Reforço. Cálculo. Programa.

ABSTRACT

The concept of soil-structure interaction requires a joint analysis of the structure and soil, and the knowledge of mathematical techniques that help in the design of projects of structures of relieved acuity. Based on this, this work aimed to develop a calculation routine in the environment Matlab, where it was possible to size and verify Mega heads, a type of foundation, where precast concrete segments are nailed with the aid of the hydraulic jack, this type of pile is commonly used for reinforcement of structures. In addition, the project used for the calibration of the program, was for a structural reinforcement in the foundation of a supermarket located in Goiânia-GO. The program called ESTACASLJ, dimensions by the method of Decourt and Quaresma (1978). The calibration of the program was performed comparing the structural design and the survey report. The routine proved to be efficient in accomplishing the design of the resistance of the piles. As the resistances calculated by the program were able to be compared the resistance that the Mega heads has in the structural design. After comparing, the expected result was obtained, where the calculated resistance was lower than the one used, so that the program could be applied in other projects.

KEYWORDS: Matlab. Resistance. Foundation. Reinforcement. Calculation. Program.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fundação profunda.....	17
Figura 2 – Modelo de mega estacas	19
Figura 3 – Exemplo de estaca.....	22
Figura 4 – Determinação de resistência de ponta	26
Figura 5 – Arquivo de entrada do Matlab.....	38
Figura 6 – Programa ESTACASLJ	39
Figura 7 – Programa ESTACASLJ e inicialização	40
Figura 8 – Leitura de dados	41
Figura 9 – Impressão de dados	41
Figura 10 – Algoritmo para o método Decourt e Quaresma	42
Figura 11 - Finalização	43
Figura 12 - Arquivo de saída	43
Figura 13 – Arquivo temporário	44
Figura 14 – Planta das Mega estacas	46
Figura 15 – Dimensão Mega estacas	46
Figura 16 – Corte das Mega estacas	47
Figura 17 – Arquivo de entrada com os dados do projeto.....	52
Figura 18 – Resultado impresso no arquivo de entrada	53
Figura 19 – Continuação do resultado impressos no arquivo de saída.....	54

EQUAÇÕES E FÓRMULAS

Equação

(1)	22
(2)	22
(3)	22
(4)	23
(5)	23
(6)	24
(7)	25
(8)	26
(9)	28
(10)	28
(11)	29
(12)	29
(13)	30
(14)	31
(15)	31
(16)	31
(17)	33
(18)	33
(19)	33
(20)	34
(21)	34
(22)	34
(23)	34
(24)	35
(25)	35
(26)	35
(27)	35

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Limites das frações do solo pelo tamanho dos grãos.....	14
Tabela 2 – Valores do coeficiente K em função do tipo de solo.....	23
Tabela 3 - Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....	23
Tabela 4 – Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo.....	24
Tabela 5 – Valores de k e α	25
Tabela 6 – Valores de F_1 e F_2	25
Tabela 7 – Valores de k e α	27
Tabela 8 – Coeficiente de transformação F_1 e F_2	27
Tabela 9 – Valores do coeficiente α	28
Tabela 10 – Valores do parâmetro β	29
Tabela 11 – Valores do atrito lateral.....	29
Tabela 12 – Valores do coeficiente α_P , em função do tipo de solo.....	30
Tabela 13 – Valores do coeficiente α_F em função do tipo de estaca.....	30
Tabela 14 – Valores do coeficiente α_S em função do tipo de estaca.....	30
Tabela 15 – Valores do coeficiente k.....	31
Tabela 16 – Valores do coeficiente α	32
Tabela 17 – Valores máximos de q_s	32
Tabela 18 – Valores aproximados de a, b, a'.....	34
Tabela 19 – Comparativo dos resultados encontrados.....	55

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABEF	Associação Brasileira de Engenharia de Fundações
ABMS	Associação Brasileira de Mecânica dos Solos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 METODOLOGIA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS.....	17
2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTACAS.....	18
2.1.1 Definição de mega estacas.....	19
2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS MEGA ESTACAS	20
2.3 APLICAÇÃO DA MEGA ESTACA.....	20
2.4 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA ESTACAS	20
2.4.1 Método Décourt e Quaresma (1978).....	21
2.4.2 Método Aoki e Velloso (1975).....	24
2.4.3 Método Teixeira (1996)	28
2.4.4 Método de Philipponnat (1979).....	29
2.4.5 Método Bustamante e Giancesly (1983)	30
2.4.6 Método P. P. Veloso (1981).....	33
2.4.7 Método Meyerhorf (1956).....	35
3 ESTUDO DE CASO DE MEGA ESTACAS.....	36
3.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO	36
3.1.1 Arquivo de entrada	37
3.1.2 Programa ESTACASLJ e Inicialização	38
3.1.3 Leitura de dados	40
3.1.4 Algoritmo utilizando Decourt e Quaresma	42
3.1.5 Finalização	42
3.1.6 Arquivo de saída e temporário.....	43
3.2 ESTUDO DE SONDAGEM E PROJETO ESTRUTURAL PARA CALIBRAÇÃO DA ROTINA.....	44
3.3 EXEMPLOS NÚMERICOS PARA TESTES DO ESTUDO DE CASO.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52

4.1	VALIDAÇÃO	52
4.2	EXEMPLOS NUMÉRICOS NO PROGRAMA.....	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	ANEXO A - Relatório Técnico de Sondagem de Simples Reconhecimento de Solo Padrão SPT segunda a NBR 6484 (ABNT, 2001)	
	ANEXO B - Fundações profundas – Capacidade de carga de estacas – Decourt e Quaresma (Borges, 2018)	

1 INTRODUÇÃO

Fundação é o termo designado para nomear uma infraestrutura que suporta a carga de uma superestrutura, transmitindo diretamente ou indiretamente as cargas para o solo. Para saber qual o melhor método a ser usado é necessário saber as características do solo, neste caso é feito o estudo de sondagem na área em que se deseja realizar a construção (HACHICH, et al., 1998).

Para saber as características do solo é fundamental conhecer o tamanho dos grãos, dado que este é um dos fatores para a determinação do tipo de solo. Os valores usados para a definição dos tipos de solo são os da NBR 6502 (ABNT, 1995), conforme a Tabela 1 (PINTO, 2006).

Tabela 1 – Limites das frações do solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	De 2 mm a 4,8 mm
Areia média	De 0,42 mm a 2 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: (Pinto, 2006).

Dessa forma sondagem é o estudo feito no solo, no qual através de furos são coletadas amostras, e através de golpes será possível calcular a resistência. As amostras coletadas são estudadas, para conhecer a qualidade e o tipo de solo do terreno. A quantidade e a profundidade desses furos são dependentes da área do terreno e da resistência do solo.

Segundo Hachich, et al. (1998, p.471), “reforço de fundação é uma intervenção no sistema solo-fundação-estrutura existente, visando modificar seu desempenho nos casos em que as fundações existentes não se mostrarem adequadas para o suporte de cargas”. O mesmo autor diz que, existem quatro tipos de reforço: reforço permanente, reforço provisório, substituição de fundações e escoramento auxiliares para execução de reforço.

As estacas tipo Mega, são estacas pré-moldadas, e segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), “é um tipo de fundação profunda, em que a própria estaca ou molde é introduzido no terreno através do macaco hidráulico”. Ela é comumente usada como reforço permanente.

A modelagem numérica é uma ferramenta utilizada para auxiliar no cálculo e dimensionamento das fundações, pois além da precisão no cálculo reduz o tempo de dimensionamento. Baseado nisso é relevante o estudo do desenvolvimento de algoritmos que possam facilitar esses cálculos e dimensionamentos das estruturas e fundações, levando em consideração a redução do tempo e a facilidade da obtenção dos resultados, sem a preocupação de que algum tipo de erro possa ser transmitido.

1.1 JUSTIFICATIVA

As estacas mega é um método de reforço permanente, eficaz, não causando transtornos na obra, já que são materiais de pequeno porte. Diferentemente da maioria das fundações, ela não exige um trabalho de esforço físico, mas um conhecimento técnico com o macaco hidráulico e forças de reações.

A modelagem numérica será utilizada para facilitar os cálculos do dimensionamento das estacas em geral. Inclusive, não se encontra muitos estudos, utilizando esse método para calcular a resistência das fundações em si, justificando então o desenvolvimento deste trabalho.

Assim será possível verificar os resultados alcançados na implantação das megas estacas, ao serem inseridos no programa Matlab, para realizar qualquer tipo de dimensionamento de fundação. Dessa forma, será permitido uma comparação com a resistência mostrada no projeto estrutural com o resultado obtido pelo programa. Após a comparação, verificar se o programa está apto para o uso de cálculos de resistência das estacas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma rotina de cálculo no ambiente Matlab – Student License, onde será possível dimensionar e verificar Mega estacas, usando como estudo de caso e dados para calibração do programa o reforço de fundação em um supermercado localizado na cidade Goiânia- GO.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudo teórico de fundações e modelagem numérica;
- Coleta de dados de uma obra para calibrar o programa;
- Rotina em linguagem Matlab – Student License para dimensionar fundações;
- Utilizar os dados coletados e calibrar o programa;
- Criar exemplos para gerar e analisar os resultados.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no trabalho, tem como fundamento a elaboração de uma rotina utilizando o método de cálculo Décourt e Quaresma (1978). A calibração do programa será feita com o uso do projeto estrutural, realizado para o reforço na estrutura de um atacadão, anteriormente um supermercado, e também dos estudos de sondagem realizado no local. Através dos resultados, no ambiente de trabalho Matlab – Student License, será possível criar uma rotina eficiente para o cumprimento do dimensionamento da resistência.

Para chegar ao resultado desejado, foi desenvolvido o algoritmo para o cálculo da resistência. Após isso, será coletado os dados necessários, por meio do projeto estrutural e ensaios de sondagens, desta forma foram feitos os cálculos, permitindo a rotina no programa Matlab – Student License.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresentação a introdução ao tema abordado conforme tratado acima. O Capítulo 2 aborda o estudo da arte das fundações e os métodos de dimensionamento da mesma, destacando Décourt e Quaresma (1978). Já o Capítulo 3 apresenta o estudo de caso, que seria metodologia utilizada e modelagem numérica, calibração e os exemplos numéricos utilizados neste trabalho, que é a base deste estudo. O capítulo 4 Resultados e discussões. Capítulo 5 conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

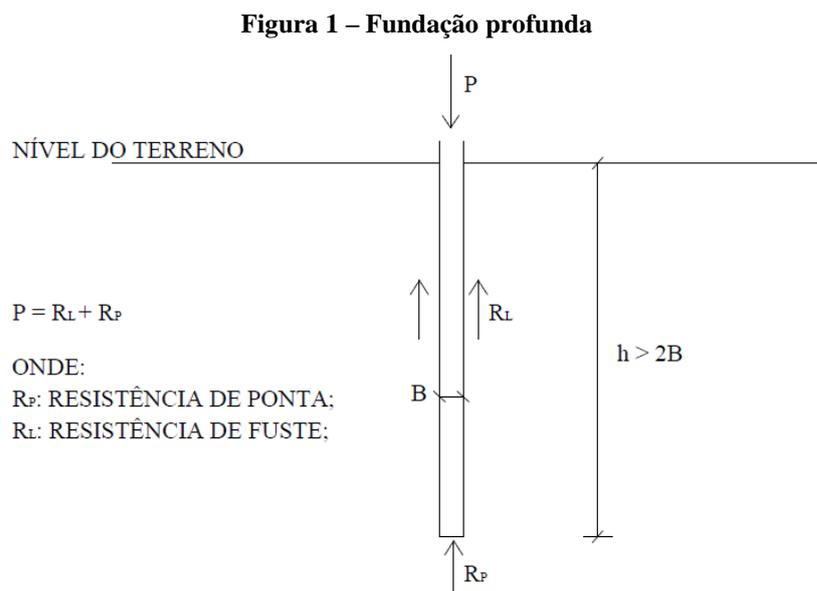
2 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Toda estrutura, para ser edificada, requer que transmita as suas forças de alguma forma para o solo. As fundações têm o papel principal de transmitir toda a carga suportada de uma superestrutura para o solo.

Na pré-história e na história antiga segundo Hachich et al. (1998, p.17), o homem começou a fazer uso de estacas na construção de cabanas ou choupanas¹ – as palafitas² –, quando compreendeu que era necessário transmitir as cargas para o solo. Isso devido ao fato dessas construções cederem, ou irem à ruína, por não suportar todas as forças. Desse modo, diante dessas dificuldades, basicamente em relação a solos frágeis e fofos, houve uma evolução em relação aos tipos de estacas.

Essa evolução apenas foi possível através de estudos, onde foi permitiu-se diferenciar os tipos de estacas adequadas para cada solo.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), fundação profunda, conforme a Figura 1, é toda aquela estrutura que transmite os esforços ao solo através da sua base, que seria a resistência de ponta, e por sua superfície lateral, resistência de fuste. Esse tipo de fundação engloba as estacas, tubulões e caixões. Sendo necessário ter no mínimo 3 metros de profundidade, para considerar-se fundação profunda.



Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2010).

¹ substantivo feminino Casa pobre, coberta de palha ou sapê, nos países quentes; cabana, caluje, choça, palhoça.

² sistemas construtivos usados em edificações localizadas em regiões alagadiças cuja função é evitar que as casas sejam arrastadas pela correnteza dos rios.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS ESTACAS

Há uma grande variedade de estacas a serem usadas na engenharia civil, o que difere uma da outra é o método usado e o material empregado na fabricação. A classificação delas é baseada em diversos parâmetros, entre eles, se destacam o efeito produzido no solo, o processo de execução, como funcionam e a forma de carregamento, como é possível observar a seguir (ARMANDO, 2017):

- Efeito produzido no solo, referindo-se ao fato do solo sofrer deslocamentos:
 - Grande deslocamento;
 - Pequeno deslocamento;
 - Sem deslocamento;
- Processo de execução, relacionado se as estacas foram fabricadas no local:
 - Estacas moldadas in loco:
 - Estacas tipo Franki;
 - Estacas sem lama bentonítica:
 - Estacas tipo Strauss;
 - Estacas escavadas mecanicamente com trado helicoidal;
 - Estacas tipo broca, etc;
 - Estacas tipo hélice contínua;
 - Estacas escavadas com lama bentonítica;
 - Estacas injetadas;
 - Micro estacas;
 - Estacas-raiz;
 - Estacas pré-moldadas:
 - Estacas de concreto;
 - Estacas de madeira;
 - Estacas metálicas, etc.;
- Forma de funcionamento, em relação ao modo como a estaca resiste ao atrito:
 - Estacas de ponta: resistem apenas o atrito da ponta;
 - Estacas de atrito ou flutuante: resistem apenas o atrito lateral;
 - Estaca mista;
- Forma de carregamento:
 - Estacas de compressão;

- Estacas de tração;
- Estacas de flexão.

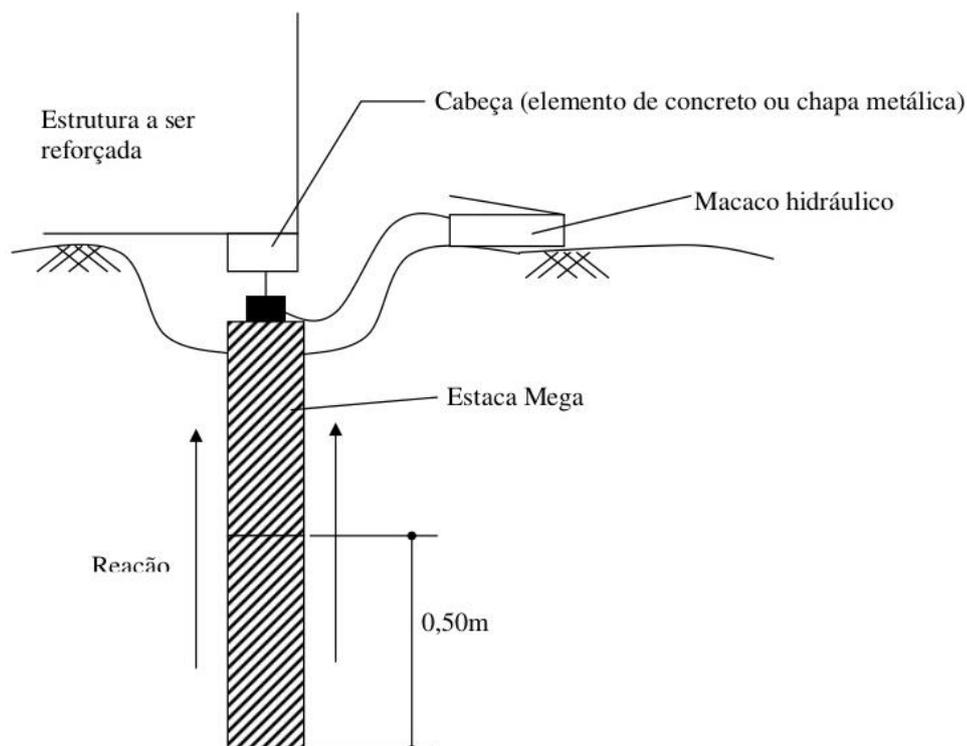
2.1.1 Definição de mega estacas

Segundo Armando, (2017) as mega estacas, conforme a Figura 2, são:

[...] estacas cravadas a reação, também conhecidas como estacas prensadas. São cravadas com o uso de macacos hidráulicos aferidos contra a estrutura acima, ou excepcionalmente contra a reação implementada [...]

De acordo com o mesmo autor, elas são segmentos de concreto pré-moldado ou metálico, onde são usadas para qualquer tipo de terreno, mesmo aqueles de difícil acesso. Os equipamentos utilizados durante a cravação são de pequeno porte, facilitando o uso deles em espaços pequenos.

Figura 2 – Modelo de mega estacas



Fonte: (CONSTANCIO, 2004).

O dimensionamento dela pode ser equivalente ao das estacas pré-moldadas, visto que quando os segmentos feitos de concreto de acordo com Oliveira (2016) “penetram no solo por sua própria expulsão [...]”. Este aspecto provoca altíssimas pressões neutras abaixo da ponta da

estaca, permitindo um relaxamento posterior da carga de cravação”. Os segmentos têm dimensões de 0,5 a 1,0m, que são vazados, sendo assim também podem ser chamados de tubos.

Segundo Hachich, et al., 1998, p. 475, devido a cravação, diversas vezes a alvenaria não suporta a força exercidas pelo macaco hidráulico, conseqüentemente é necessário implementar vigas de concreto armado. O uso do macaco, não produz vibrações no solo, auxiliando na segurança da obra, além de não provocar deformações em outras fundações.

2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS MEGA ESTACAS

De acordo Edrey, et al., 2016, as vantagens das mega estacas são:

- Baixo custo;
- Facilidade de substituição de fundações já existentes na edificação;
- Suporta fundações existentes;
- Altera as fundações existentes em relação aos recalques diferenciais;
- Realizada em locais pequenos de difícil acesso;
- Sem vibrações durante a cravação;
- Reforça a segurança da obra durante cada cravação;
- Facilidade para transporte e manuseio.

A única desvantagem do uso de mega estacas, é o custo elevado, e o tempo de cravação maior, comparado a outras estacas.

2.3 APLICAÇÃO DA MEGA ESTACA

Elas são utilizadas como reforço estrutural, devido a falhas no solo ou problemas estruturais, atuando como uma substituição da fundação existente ou complementada. Na revista Engenharia Edifica (2016), “elas também podem criar novos ambientes abaixo de pisos e paredes já existentes, [...]. Após a cravação, é retirada a terra entre as estacas, formando o novo ambiente. [...]”.

Essas estacas, por serem utilizadas como reforço, podem ser empregados no uso também de arrimo, por conterem grandes cargas.

2.4 MÉTODOS PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA ESTACAS

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010), para calcular a pressão admissível, pode-se usar vários métodos, que envolvem os seguintes critérios:

- Método teórico: após se conhecer todas as características do solo, os cálculos para as pressões admissíveis são feitos utilizando a teoria da Mecânica dos Solos, por meio de coeficientes de segurança, para a compressibilidade e resistência ao cisalhamento do solo;
- Prova de carga sobre placa: esse método é realizado de acordo com a NBR 6489 (ABNT, 1984). A determinação é feita através do comportamento das placas com a fundação, levando em consideração o comportamento das camadas do solo;
- Métodos empíricos: os valores da pressão admissível são baseados na descrição do terreno (por meio de investigações de campo). É usado tabelas de pressões para orientação;
- Métodos semi-empíricos: as propriedades dos materiais são estimadas por meio das teorias da Mecânica dos Solos.

Os métodos semi-empíricos, são calculados através da capacidade de carga, onde ela é prevista através da somatória da carga resistida da ponta da estaca e pelo atrito lateral ao longo de todo o fuste. No livro *Fundação Teoria e Prática*, Hachich, et al. (1998, p. 274) para calcular a capacidade de carga em métodos semi-empíricos,

[...], os dois métodos mais utilizados para o dimensionamento de fundações em estacas são os conhecidos como Aoki e Velloso (1975), e Décourt e Quaresma, (1978). Para tipos específicos de estacas há também métodos específicos, tais como o de Cabral (1986) e o de Bransford ambos para estaca raiz.

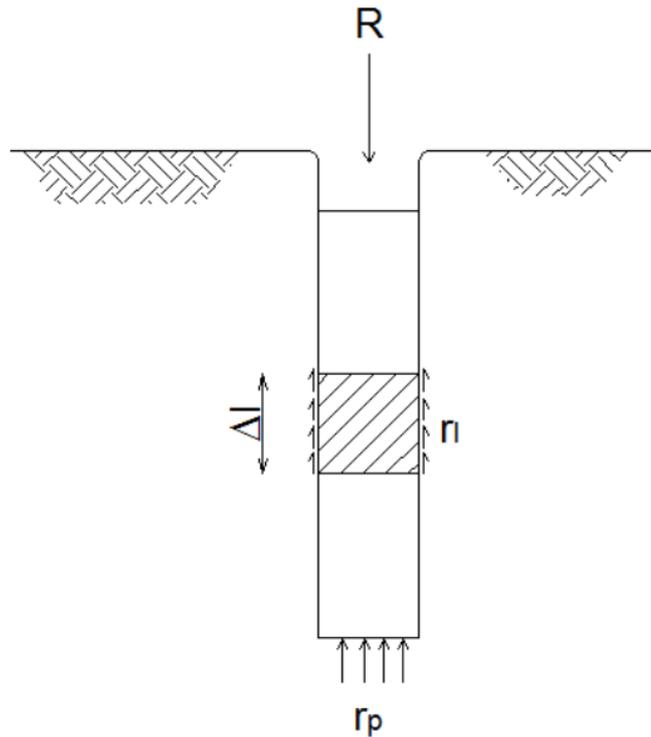
Os métodos Aoki e Velloso (1975) e Décourt e Quaresma (1978) usam procedimentos parecidos, porém, de acordo com Vitor Marchezini (2013, p. 35) Décourt e Quaresma, “Desenvolveram suas correlações para resultados do SPT, eliminando a correlação com valores de cone, o qual deve conduzir a resultados mais confiáveis. [...]”. Dessa forma o método a ser utilizado é o de Décourt e Quaresma (1978).

2.4.1 Método Décourt e Quaresma (1978)

No 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, em 1978, Luciano Décourt e Arthur Quaresma, apresentaram um novo método para a determinação da capacidade de carga das estacas. Esse novo método envolve os valores de SPT, resolutos do ensaio de Sondagem. Eles não visavam obter valores totalmente exatos, mas resultados o qual sejam estimados de formas segura e fáceis de serem determinados (MARAGON, 2009).

Assim como já foi dito, a determinação da resistência é calculada através da somatória da resistência da ponta e ao longo do fuste, assim como é mostrado na Figura 3, onde a resistência da ponta é representada por r_p , e o do fuste é o r_l .

Figura 3 – Exemplo de estaca



Fonte: (MARANGON, 2009).

Dessa forma, para calcular a capacidade de carga (Q_u), é utilizada a Equação (1), onde o resultado é a somatória da resistência de ponta (q_p) e da resistência lateral (q_s).

$$Q_u = q_s \cdot A_s + q_p \cdot A_p \quad (1)$$

$A_s \rightarrow$ área do fuste em contato com o solo.

$A_p \rightarrow$ área da ponta.

Para as estacas escavadas em geral, vão ser usados dois coeficientes, um para majoração e outro para minoração. Esses coeficientes são α e β ; o primeiro é usado para a reação de ponta e o segundo para a de atrito lateral. Colocando esses valores temos a Equação (2).

$$Q_u = \alpha \cdot q_p \cdot A_p + \beta \cdot q_s \cdot A_s \quad (2)$$

A tensão de ruptura da ponta é dada pela Equação (3):

$$q_p = K \cdot N_p \quad (3)$$

$N_p \rightarrow$ média dos valores correspondentes a ponta das estacas, o imediatamente superior e o imediatamente anterior.

Onde o K é definido pela Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do coeficiente K em função do tipo de solo

TIPO DE SOLO	K (kN/m²)	K (tf/m²)
Argila	120	12
Silte argiloso (solo residual)	200	20
Silte arenoso (solo residual)	250	25
Areia	400	40

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

A resistência lateral em tf/m², é dada pela Equação (4):

$$q_s = \frac{N}{3} + 1 \quad (4)$$

$N_s \rightarrow$ é a média dos valores de SPT ao longo do fuste. Quando esse valor for menor que 3, é desconsiderado, por ser pequeno; e quando for maior que 50, adota-se 50.

Neste caso, a expressão geral para o dimensionamento da ruptura de uma estaca é dada pela Equação (5):

$$Q_u = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + 10 \cdot \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \quad (5)$$

Para os valores de majoração e minoração, de α e β , é usado as Tabelas 3 e 4:

Tabela 3 - Valores do fator α em função do tipo de estaca e do tipo de solo

TIPO DE SOLO	TIPO DE ESTACA				
	ESCAVADA EM GERAL	ESCAVADA (BENTONITA)	HÉLICE CONTINUA	RAIZ	INJETADA SOB ALTAS PRESSÕES
Argilas	0,85	0,85	0,3	0,85	1,0
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3	0,6	1,0
Areias	0,5	0,5	0,3	0,5	1,0

* valores apenas orientativos diante do reduzido número de dado disponíveis.

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Tabela 4 – Valores do fator β em função do tipo de estaca e do tipo de solo

TIPO DE SOLO	TIPO DE ESTACA				
	ESCAVADA EM GERAL	ESCAVADA (BENTONITA)	HÉLICE CONTINUA	RAIZ	INJETADA SOB ALTAS PRESSÕES
Argilas	0,8	0,9	1,0	1,5	3,0
Solos intermediários	0,65	0,75	1,0	1,5	3,0
Areias	0,5	0,6	1,0	1,5	3,0

*valores apenas orientativos diante do reduzido número de dados disponíveis.
Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Para as estacas do tipo pré-moldadas, escavadas, Franki e Strauss, é considerado os valores de α e β igual a 1,0.

2.4.2 Método Aoki e Velloso (1975)

Foi desenvolvido na década de 1970, comparando-se provas de cargas em estacas e ensaio de SPT. Por sua facilidade e confiabilidade de cálculo, é um dos métodos mais utilizados. Além disso, ele consegue relacionar os dados de ensaio de sondagens CPT ou SPT com a capacidade de carga do sistema estaca-solo.

Assim como Décourt e Quaresma, para o cálculo de capacidade de carga (Q_u) segundo Aoki e Velloso, é utilizado a Equação (1), onde (Q_u) é o resultado da somatória da resistência de ponta (q_p) e da resistência lateral (q_s).

$A_s \rightarrow$ área do fuste em contato com o solo.

$A_p \rightarrow$ área da ponta.

A expressão para os resultados do SPT é dada pela Equação (6):

$$Q_u = A \cdot \frac{k \cdot N}{F_1} + U \cdot \frac{\sum \alpha \cdot k \cdot N}{F_2} \quad (6)$$

Em relação a resistência de ponta, o k é um coeficiente de correlação para o método de SPT, o N é o SPT da última camada, e o F_1 é um parâmetro referente ao tipo de estaca. Quanto a resistência lateral, o α é como o k , uma coeficiente de correlação para o método SPT; o N é a somatória do SPT de cada camada; e o F_2 é também um parâmetro referente ao tipo de estaca.

Para alcançar os valores de k e α é usada a Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de k e α

TIPO DE SOLO	k (kgf/cm²)	α (%)
Areia	10,0	1,4
Areia siltosa	8,0	2,0
Areias siltoargilosas	7,0	2,4
Areia argilossiltosa	5,0	2,8
Areia argilosa	6,0	3,0
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte arenoargiloso	4,5	2,8
Silte	4,0	3,0
Silte argiloarenoso	2,5	3,0
Silte argiloso	2,3	3,4
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila arenosiltosa	3,0	2,8
Argila siltoarenosa	3,3	3,0
Argila siltosa	2,2	4,0
Argila	2,0	6,0

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

E os valores de F_1 e F_2 são encontrados usando a Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de F_1 e F_2

TIPO DE ESTACA	F_1	F_2
Franki	2,5	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto	1,75	3,5
Escavada	3,0	6,0

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Também é possível usar as Equações (7) e (8), para encontrar os valores de F_1 e F_2 .

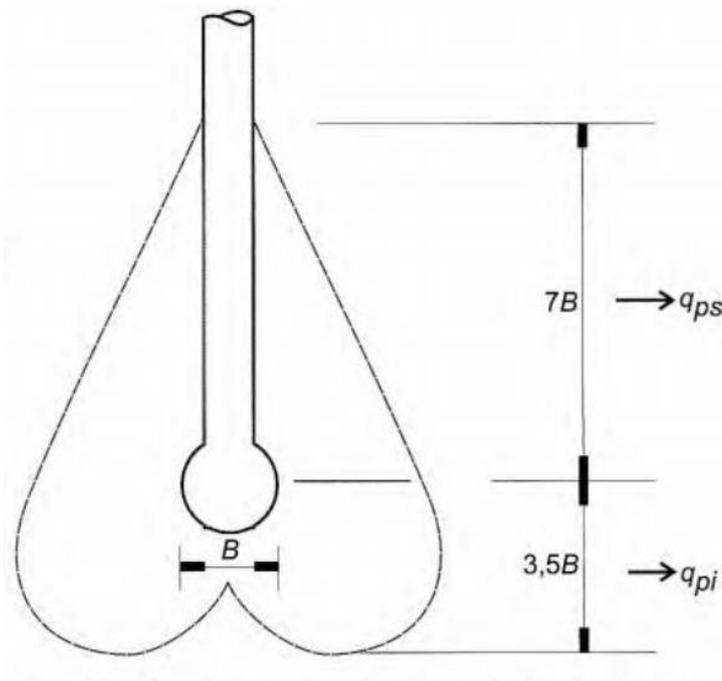
$$F_1 = 1 + \frac{D}{0,80} \quad (7)$$

$$F_2 = 2 \cdot F_1 \quad (8)$$

Para estacas hélice contínua e ômega são usados os valores de $F_1 = 2,0$ e $F_2 = 4,0$.

Segundo (TONHÁ, 2017), os autores Laprovitera (1998), Benegas (1993), Monteiro (1997), estabeleceram valores diferentes para k , α , F_1 e F_2 . Para calcular segundo esses valores, é necessário que o N seja limitado a 40; além do cálculo para a resistência de ponta é necessário que os valores de sua espessura correspondam a 7; e que o diâmetro da sua base seja multiplicado por 3,5, tanto para cima como para baixo, como é possível visualizar na Figura 4.

Figura 4 – Determinação de resistência de ponta



Fonte: (MONTEIRO, 1997).

Portanto, os valores de k , α , F_1 e F_2 segundo Monteiro (1997), são de acordo como os da Tabela 6 e 7.

Tabela 7 – Valores de k e α

TIPOS DE SOLO	k (kgf/cm²)	α (%)
Areia	7,3	2,1
Areia siltosa	6,8	2,3
Areia siltoargilosa	6,3	2,4
Areia argilossiltosa	6,7	2,9
Areia argilosa	5,4	2,8
Silte arenoso	5,0	3,0
Silte arenoargiloso	4,5	3,2
Silte	4,8	3,2
Silte argiloarenoso	4,0	3,3
Silte argiloso	3,2	3,6
Argila arenosa	4,4	3,2
Argila arenossiltosa	3,0	3,8
Argila siltoarenosa	3,3	4,1
Argila siltosa	2,6	4,5
Argila	2,5	5,5

Fonte: (MONTEIRO, 1997).

Tabela 8 – Coeficiente de transformação F_1 e F_2

TIPO DE ESTACA	F_1	F_2
Franki de fuste apilado	2,3	3,0
Franki de fuste vibrado	2,3	3,2
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada de concreto cravada a percussão	2,5	3,5
Pré-moldada de concreto cravada por prensagem	1,2	2,3
Escavada com lama bentonítica	3,5	4,5
Raiz	2,2	2,4
Strauss	4,2	3,9
Hélice contínua	3,0	3,8

Fonte: (MONTEIRO, 1997).

2.4.3 Método Teixeira (1996)

Esse método desenvolvido por Teixeira, envolve uma união baseada nos métodos de Aoki e Velloso, Décourt e Quaresma, e outros. Ele apresenta uma equação onde abrange dois coeficientes, o α e o β . Sendo o α depende do tipo de solo e do tipo de estaca, e o β apenas do tipo de estaca (MOREIRA, AGUIAR, & OLIVEIRA, 2014). Assim a Equação (9) é dada pela seguinte forma:

$$R = R_p + R_l \quad (9)$$

Onde R_p é a resistência de ponta; e R_l é a resistência lateral. Inserindo-se os coeficientes, na Equação (10), temos:

$$R = \alpha \cdot N_p \cdot A_p + \beta \cdot N_l \cdot U \cdot L \quad (10)$$

$N_p \rightarrow$ é o valor médio da resistência a penetração medida no intervalo de 4 diâmetros acima da ponta da estaca, e um diâmetro abaixo.

$N_l \rightarrow$ valor médio do índice de resistência a penetração ao longo do fuste da estaca.

$A_p \rightarrow$ área da ponta.

$L \rightarrow$ comprimento da estaca.

O valores dos coeficientes α e β , são expressos nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Valores do coeficiente α

Solo ($4 < N_{SPT} < 40$)	Tipo de estaca – α (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: (TEIXEIRA, 1996).

Tabela 10 – Valores do parâmetro β

Tipo de estaca	β (kPa)
Pré-moldada e perfil metálico	4,0
Franki	5,0
Escavada a céu aberto	4,0
Raiz	6,0

Fonte: (TEIXEIRA, 1996).

Para estacas pré-moldadas de concreto esse método não se aplica nas camadas espessas, onde as argilas são moles e sensíveis, e o N_{SPT} é inferior a 3. Para esses casos o atrito lateral é dado pela Tabela 11.

Tabela 11 – Valores do atrito lateral

Sedimento	Atrito lateral (kPa)
Argila fluviolagunar (SFL)*	20 – 30
Argila transicional (AT)**	60 - 80

*SFL → argilas fluviolagunares e de baías, holocênicas – camadas situadas até 25m de profundidade, de coloração cinza-escuro, ligeiramente pré-adensada.

**AT → argilas transicionais, pleistocênicas – camadas subjacentes ao sedimento SFL, com valores de N_{SPT} de 4 a 8, às vezes de coloração cinza, com tensões de pré-adensamento maiores do que as SFL.

Fonte: (TEIXEIRA, 1996).

2.4.4 Método de Philipponnat (1979)

Esse método se baseia nas correlações com o CPT segundo (HACHICH, et al., 1998), ele é conhecido no meio técnico devido a uma tradução do trabalho original de Godoy e Azevedo Jr. (1986). O autor realizou comparações entre 15 provas de cargas. Onde é proposto que a resistência lateral e de ponta sejam expressas pelas Equações (11) e (12).

$$q_p = \alpha_p \cdot q_c \quad (11)$$

$$q_s = \alpha_F \cdot \left(\frac{q_c}{\alpha_s} \right) \quad (12)$$

q_c → resistência média do CPT entre profundidades, três diâmetro acima e três diâmetros abaixo da ponta da estaca.

Os valores de α_p , α_F e α_s , são coeficientes estabelecidos por meio das Tabelas 12, 13 e 14.

Tabela 12 – Valores do coeficiente α_p , em função do tipo de solo

Solo	α_p
Areia	0,40
Silte	0,45
Argila	0,50

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Tabela 13 – Valores do coeficiente α_F em função do tipo de estaca

Interface solo-estaca	Tipo de estaca	α_F	Q_s máximo (kPa)
Concreto	Pré-moldada, Franki, Injetada	1,25	120
Concreto	Escavada $D < 1,5m$	0,85	100
	Escavada $D > 1,5m$	0,75	80
Metálica	Perfil H ou I (Considerara perímetro externo)	1,1	120

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Tabela 14 – Valores do coeficiente α_S em função do tipo de estaca

Solo	q_c (MPa)	A_s
Areia	$q_c < 8$	100
	$8 < q_c < 12$	150
	$q_c > 12$	200
Silte	-	60
Argila	-	50

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

2.4.5 Método Bustamante e Gianeselly (1983)

Esse método (SANTOS, 2002) foi proposto com base em 96 casos de estudos, onde a determinação da capacidade de carga foi por meio de ensaios de CPT. Foi estudado vários solos com características dessemelhantes, juntamente com diferentes tipos de estacas, usando-se diversas tecnologias, porém apenas cerca de 36% desses casos houve o êxito desejado, devido as características dos terrenos.

A capacidade de carga é calculado por meio da Equação (13):

$$Q_u = R_p + R_s \quad (13)$$

Onde, R_s é a resistência lateral e R_p é a de ponta. E com base nos ensaio CPT, temos a Equação (14), (15) e (16):

$$R_p = q_c \cdot k \cdot A_p \quad (14)$$

$$R_s = \sum q_s \cdot A_s \quad (15)$$

$$q_s = \frac{q_c}{\alpha} \quad (16)$$

$q_c \rightarrow$ resistência de ponta unitária equivalente ao nível da base da estaca. A resistência média é feita por meio do ensaio CPT, entre as profundidades 1,5 diâmetros acima e 1,5 diâmetros abaixo do nível da ponta de estaca;

$k \rightarrow$ coeficiente dependente do fator de solo e do tipo de estaca;

$q_s \rightarrow$ atrito unitário médio ao longo do fuste;

$\alpha \rightarrow$ coeficiente.

Os valores dos coeficientes k , q_s e α são expressos nas Tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 15 – Valores do coeficiente k

Natureza do solo	q_c (10^5 Pa)	Coeficiente k_c	
		EC	EE
Argila mole e vasa	<10	0,4	0,5
Argila media	10 a 50	0,35	0,45
Argila rija e silte compacto	>50	0,45	0,55
Silte e areia fofos	≤ 50	0,4	0,5
Areia e pedregulho medianamente compactos	50 a 120	0,4	0,5
Areia e pedregulho compactos a muito compactos	>120	0,3	0,4
Crê (calcário) mole	≤ 50	0,2	0,3
Crê alterado e fragmentado	>50	0,2	0,4

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Tabela 16 – Valores do coeficiente α

Natureza do solo	q_c (10^5 Pa)	Coeficiente α			
		EE conc	EE aço	EC conc	EC aço
Argila mole e vasa	<10	20	30	20	30
Argila media	10 a 50	40	80	40	80
Argila rijá e silte compacto	>50	60	120	60	120
Silte e areia fofos	≤ 50	60	150	60	150
Areia e pedregulho medianamente compactos	50 a 120	100	300	100	300
Areia e pedregulho compactos a muito compactos	>120	150	200	150	200
Crê (calcário) mole	≤ 50	100	120	100	120
Crê alterado e fragmentado	>50	60	80	60	80

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

Tabela 17 – Valores máximos de q_s

Natureza do solo	q_c (10^5 Pa)	q_s max			
		Conc	Aço	I/BP	I/AP
Argila mole e vasa	<10	0,4	0,4	0,5	-
Argila media	10 a 50	0,4	0,4	0,8	$\geq 1,2$
Argila rijá e silte compacto	>50	0,4	0,4	1,2	$\geq 1,5$
Silte e areia fofos	≤ 50	0,4	0,4	0,8	-
Areia e pedregulho medianamente compactos	50 a 120	0,8	0,4	1,2	$\geq 1,5$
Areia e pedregulho compactos a muito compactos	>120	1,2	1,2	1,5	$\geq 2,0$
Crê (calcário) mole	≤ 50	0,4	0,4	0,3	-
Crê alterado e fragmentado	>50	1,2	1,2	1,5	$\geq 2,0$

Legenda:

E Estaca escavada

Conc Concreto

ER	Estaca escavada com fuste revestido	I/BP	Estaca injetada com baixa pressão
Crav.	Estaca cravada	I/AP	Estaca injetada com alta pressão

Fonte: (HACHICH, et al., 1998).

2.4.6 Método P. P. Veloso (1981)

Em 1981, P. P. Veloso apresentou um critério para o cálculo de capacidade de carga e recalques (ARMANDO, 2017). Onde através da Equação (17) é determinada a capacidade de suporte de uma estaca:

$$P_u = P_{su} + P_{bu} \quad (17)$$

$P_u \rightarrow$ capacidade de suporte da estaca.

$P_{su} \rightarrow$ capacidade de suporte do solo por atrito, ou aderência lateral ao longo do fuste da estaca.

$P_{bu} \rightarrow$ capacidade de suporte do solo sob a ponta da estaca.

Podemos encontrar os valores de P_{bu} e P_{su} nas Equações (18) e (19):

$$P_{su} = U \cdot \alpha \cdot \lambda \cdot \sum (L_i \cdot F_{ui}) \quad (18)$$

$$P_{bu} = A_b \cdot \alpha \cdot \beta \cdot q_u \quad (19)$$

$U \rightarrow$ perímetro da seção transversal do fuste (diâmetro d).

$A_b \rightarrow$ área da base.

$\alpha \rightarrow$ fator da execução da estaca.

$\lambda \rightarrow$ fator de carregamento.

$\beta \rightarrow$ fator da dimensão da base.

$d_c \rightarrow$ diâmetro da ponta do ensaio de cone.

$F_{ui} \rightarrow$ atrito, lateral médio em cada camada de solo com espessura atravessada pela estaca.

$$\alpha = \begin{cases} 1,0 & \text{para estacas cravadas;} \\ 0,5 & \text{para estacas escavadas;} \end{cases}$$

$$\lambda = \begin{cases} 1,0 & \text{para estacas comprimidas;} \\ 0,7 & \text{para estacas tracionadas;} \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 1,016 - 0,016\left(\frac{db}{dc}\right) \\ 0, & \text{para estacas tracionadas, (db = d)} \end{cases}$$

Os valores da pressão de ruptura do solo sob a ponta da estaca são obtido por meio da Equação (20):

$$q_u = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \quad (20)$$

$q_u \rightarrow$ pressão de ruptura do solo sob a ponta da estaca.

$q_{c1} \rightarrow$ média dos valores da resistência de ponta realizado na parte de cima da ponta da estaca.

$q_{c2} \rightarrow$ média dos valores da resistência.

Para ensaios realizados na parte mediana da estaca adota-se a Equação (21):

$$F_u = F_c \quad (21)$$

$F_c \rightarrow$ atrito lateral calculado na haste do ensaio de cone.

Caso seja realizado apenas o ensaio de sondagem a percussão, é adotada as seguintes Equações (22) e (23):

$$q_u = \alpha \cdot N + b \quad (22)$$

$$F_u = a' \cdot N + b \quad (23)$$

$N \rightarrow$ resistência a penetração da amostra (SPT).

a, b e $a' \rightarrow$ parâmetros de correlação entre a sondagem a percussão e o ensaio de cone.

Os valores de a, b e a' são determinados pela Tabela 18, a seguir::

Tabela 18 – Valores aproximados de a, b, a'

TIPOS DE SOLOS	PONTA		ATRITO	
	a (tf/m ²)	b	a' (tf/m ²)	b^1
Areias sedimentares submersas (1)	60	1	0,50	1
Argilas sedimentares submersas (1)	25	1	0,63	1
Solos residuais de gnaiss arenosiltosos submersos (1)	50	1	-,85	1
Solos residuais de gnaiss silto-arenosos submersos	40 (1) 47 (2)	1 (1) 0,96 (2)	0,8 (1) 1,21 (2)	1 (1) 0,849 (2)

(1) dados obtidos na área da refinaria Duque de Caxias (RJ).

(2) dados obtidos na área da AÇOMINAS (MG).

Fonte: (ARMANDO, 2017).

2.4.7 Método Meyerhorf (1956)

Esse método é relacionado ao de Terzaghi, onde ele é aperfeiçoado por considerar a ruptura prolongada por toda a camada superficial. Os principais resultados que ele obteve foram:

- Estacas cravadas, elas vão até a profundidade D_b em solos arenosos. A resistência é dada pela Equação (24);

$$q_p = \frac{0,4 \cdot N \cdot D_b}{B} \leq 4 \cdot N \quad (24)$$

$B \rightarrow$ diâmetro da estaca.

A resistência unitária é dada pela Equação (25):

$$f_s = \frac{N}{50} \quad (25)$$

- Para solos onde o silte for não plástico, o limite da resistência de ponta é igual a Equação (26);

$$q_p = 3 \cdot N \quad (26)$$

- Nas estacas escavadas onde os solos são não coesivos, a resistência de ponta é igual a um terço dos valores encontrados das Equações (24) e (26), e a lateral equivale à metade do valor da Equação (25);

- Quando as estacas possuem base alargada do tipo Franki, a resistência de ponta é o dobro das Equações (24) e (26);

- Se há variação nas propriedades da camada, é necessário adotar para N uma média, feita na somatória de 4 valores a cima e um abaixo da ponta da estaca;

- Se houver uma camada fraca abaixo da camada que for suportar a carga, a resistência da estaca será dada pela Equação (27):

$$q_p = q_0 + \frac{(q_1 - q_0) \cdot H}{10 \cdot b} \leq q_1 \quad (27)$$

q_0 e $q_1 \rightarrow$ resistências limites na camada inferior e na camada resistente.

3 ESTUDO DE CASO DE MEGA ESTACAS

3.1 IMPLEMENTAÇÃO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO

A implementação dos métodos de cálculo foi feita usando tanto a linguagem de programação aplicada ao programa Matlab – Student License. O seu nome vem do inglês *Matrix Laboratory*, onde seu significado é Laboratório de Matrizes. Mesmo que seu conceito e sua ideia inicial fossem relacionados a matrizes, seu intuito é muito amplo, útil e flexível, já que este programa é um software computacional numérico, que visa analisar e visualizar dados (BECKER, et al. 2010).

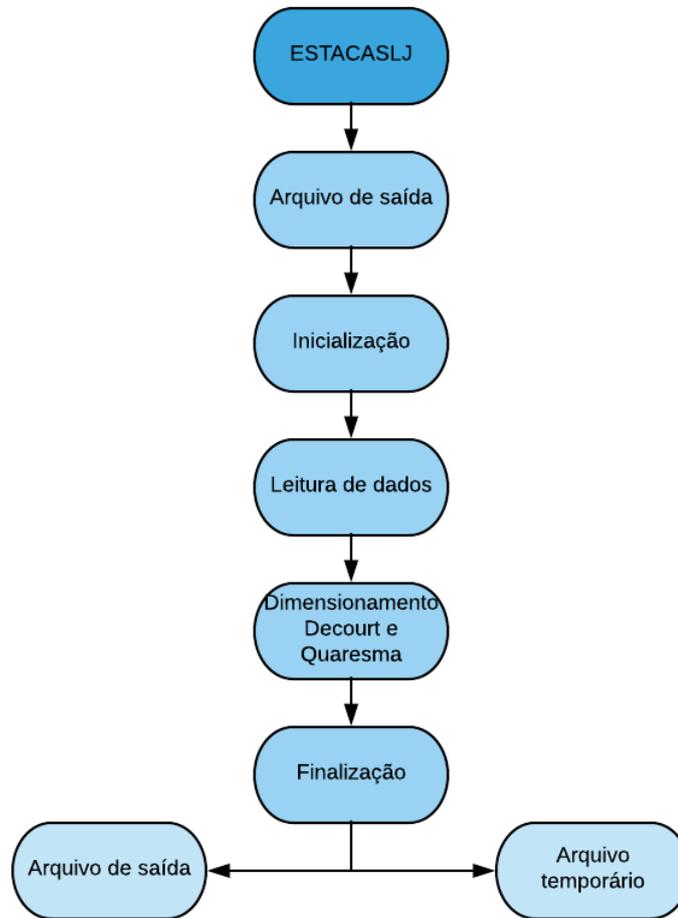
O ambiente a ser trabalhado no Matlab – Student License, é de fácil e simples manuseio, visto que ao contrário de muitos outros programas que usam uma linguagem de programação mais tradicional, o programa faz manuseio de linguagem matemática. Dessa forma, tornando-o de alto nível (RANGEL & MARTHA, 2018).

A finalidade do programa é: construir gráficos e compilar funções, manipular funções específicas de cálculo e variáveis simbólicas. Dentro do programa existem bibliotecas que facilitam o seu manuseio, chamadas de *Toolboxes*, que aprimoram o tempo decorrido para a realização das tarefas. Essas bibliotecas, possuem funções definidas pelo programa, economizando o tempo que seria gasto realizando-as. A única desvantagem, é que os programas calibrados no ambiente Matlab – Student License, possuem uma certa dificuldade de serem efetuados fora desse ambiente (BECKER, et al. 2010).

Para a confecção da rotina algoritmo foi utilizado exemplos testes, de sondagem e de estaca. Exemplos estes no Anexo B.

Para a montagem do algoritmo, com o intuito de realizar o cálculo da resistência das megas estacas, foram usadas 8 sub-rotinas no ambiente Matlab – Student License, sendo elas: o início do programa, onde através do nome dele, é possível começar a calcular a resistência; um arquivo de entrada; a inicialização do programa; leitura de dados do arquivo de entrada; o algoritmo para o cálculo utilizando o método Decourt e Quaresma; a finalização do programa; o arquivo de saída, onde vai apresentar dados importantes para o cálculo e os resultados obtidos; e por último o arquivo temporário, no qual vai apresentar os mesmo dados do arquivo de saída, porém com todos os dados usados da estaca calculada. É possível visualizar a sua estrutura a seguir, na Figura 5.

Figura 5 – Estrutura da programa



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.1 Arquivo de entrada

O arquivo de entrada é o lugar onde o usuário vai informar os dados essenciais para o cálculo da resistência das estacas, como por exemplo: o tipo de estaca; o diâmetro da estaca; a profundidade da estaca; o número de golpes a cada metro, fornecido pelo ensaio de SPT; e o tipo de solo na ponta da estaca. Ao todo, para esse arquivo foi usado 27 linhas, podendo variar tanto para menos como para mais, dependendo da altura da estaca a ser usada. Na Figura 6 é possível visualizar o arquivo final dos dados de entrada.

Figura 6 – Arquivo de entrada do Matlab

```

2 %Tipo_de_estaca_([1_Escavada_geral]_[2_Escavada]_[3_Helice_continua]_[4_Raiz]_[5_Injetada]_
3 3_Helice_continua
4 %Método_de_cálculo_[1_Decourt_Quaresma]
5 1_Decourt_Quaresma
6 %Tipo_de_solos_da_Ponta([Argila=1]__[Areias=2]__[Siltes_argilosos=3]__[Siltes_arenosos=4])
7 1
8 %Altura_da_estaca_(m)
9 11
10 %Metros_do_SPT_(Em_Decourt_Quaresma_add_mais_um_metro)
11 12
12 %SPT_(Altura____N°_de_Golpes)
13 1      0
14 2      3
15 3      7
16 4      7
17 5      8
18 6      9
19 7      13
20 8      16
21 9      18
22 10     23
23 11     30
24 12     34
25 %Diâmetro_da_estaca_(m)
26 0.40
27 %Fim
  
```

Fonte: Autoria própria, 2018.

No arquivo de entrada é fornecido 8 tipos de estacas e 4 tipos de solo, como é possível visualizar, onde o usuário vai poder escolher conforme os dados que ele conter em mãos.

3.1.2 Programa ESTACASLJ e Inicialização

Foi dado ao nome do programa de ESTACASLJ, onde ao se digitar este nome no *Command Window* do Matlab – Student License, poder-se-á começar a fazer uso do programa em si. A sub-rotina onde ele está inserido possui 45 linhas, no qual o programa passará para a inicialização.

A inicialização tem 34 linhas, e é local que o usuário vai poder observar os dados do programa e qual sua função, logo após ele questiona o nome do arquivo de entrada, para fazer-se a leitura deste e assim calcular, como é possível ver nas Figura 7 e 8.

Figura 7 – Programa ESTACASLJ

```

ESTACASLJ.m x ESTACATESTE1.ame x inicializacao.m x leituradedadost.m x decourtqueresma.m x finalizac
1      %03/05/2018 Inicio do Programa de dimensionamento de estacas - Fundações Profundas
2      %28/09/2018 Retomada na rotina de programação
3      %04/10/2018 Leitura dos dados das estacas
4      %25/10/2018 Finalização
5
6      function []=ESTACASLJ()
7          format compact;
8          clc;
9
10         %Inicialização
11         [status,idae,idat,idas]=inicializacao;
12         if status==0;
13             fprintf('Erro na inicialização.\n');
14             fclose('all');
15             fprintf('Execução interrompida.\n');
16             return
17         end
18
19         %Leitura de Dados
20         [tpest,tsolos,metc,comp,alfae,betae,Ce,profun,sptp,alturai,golpei,diam]=leituradedada
21         if status==0
22             fprintf('Erro na leitura de dados.\n');
23             fclose('all');

```

Fonte: Autoria própria, 2018

A Figura 7 apresenta a lógica programada do escopo do programa, foi dividido em sub funções cada etapa do cálculo para melhor organização do programa, estas foram: a inicialização, como já citada; o dimensionamento; a saída de dados; e a finalização.

As quatro funções juntamente com a programa, o arquivo de entrada, de saída e temporário formam ao todo o programa em si. Sem um desses arquivos o programa dará erro e não poderá calcular como o esperado. Elas foram divididas assim, para ter-se um organização mais clara, não ocupar tantas linhas em apenas uma sub-rotina, e para entender-se melhor se houver qualquer erro no programa.

Figura 8 – Programa ESTACASLJ e inicialização

```

Command Window
*****
 Bem vindo ao:
 PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA ESTACAS (ESTACASLJ)
 Autoras: Lara Silva, Julia Santos e Wanessa Quaresma
 Versão: outubro de 2018.
 *****

 *****

 Objetivo:
 Dimensionar estruturalmente as estacas de concreto
 *****

 fx Forneça o nome do arquivo de dados com as características da estaca:

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

Já na Figura 8 é possível ver a interface de ligação entre o programa e o usuário. A cada sub-rotina do programa, complementa-se cada vez mais o programa, então incorporando todas as suas funções é possível visualizar todo seu funcionamento. Ou seja, o usuário lança os dados no arquivo de entrada, logo após coloca-se o nome do programa no *Command Window* para chama-lo, e assim ativa-se a inicialização, e o texto apresentado na Figura 8 é impresso no *Command Window*, para que o usuário insira o nome do arquivo de entrada.

3.1.3 Leitura de dados

Após inserir-se o arquivo de entrada e informar o nome do programa, é feita a leitura de todos os dados adicionados no arquivo de entrada.

Considera-se a leitura de dados a parte mais minuciosa onde foi aplicado mais tempo e busca de conhecimento sobre a linguagem de programação usada pelo MatLab – Student License, foi usado ferramentas como *if*, *elseif* e *for* para maturar todo os dados fornecidos. Para a leitura ser completa também foram usadas as ferramentas *fscanf*, *fprintf*, *strcmp* e *strcmpi*.

Através das variáveis colocadas no programa foi possível ler todos os dados apresentados pelo usuário. No qual por meio das funções citadas, houve a separação de dados, e usando-se as variáveis, o programa recebeu os valores necessários para o cálculo. Um exemplo disso são os valores de α , β , C, o diâmetro, a altura, etc.

É possível observar isto na Figura 9.

Figura 9 – Leitura de dados

```

ESTACATEST1.ame x ESTACASLJ.m x inicializacao.m x leituradedadost.m x deco
1
2 function [tpest,tsolos,metc,comp,alfae,betae,Ce,profun,sptp,
3 status]=1;
4 tpest=0;%tipo de estaca
5 metc=0;%Metodo de calculo
6 tsolos=0;%tipo de solo
7 Ce=0; %Coeficiente tabelado do solo
8 alfae=0; %Coeficiente tabelado do solo
9 betae=0; %Coeficiente tabelado do solo
10 alturai=0; %Altura da estacas
11 profun=0;%profundidade da estaca
12 sptp=0; %Teste
13 diam=0; %Diâmetro da estaca
14 comp=0;
15 golpei=0;
16
17 [texto,id]=fscanf(idae,'%s',1);%Linha de texto nº1
18 if id~=1
19     fprintf('Erro de execução.\n');
20     fprintf('Texto não encontrado.\n');
21     status=0;
22     return
23 end
24 [texto,id]=fscanf(idae,'%s',1);%Linha de texto nº2

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

Em paralelo a leitura de dados, foi criada uma função de impressão de dados na qual os dados coletados e já maturados, serão impressos no arquivo de saída e temporário, para poderem ser visualizados e exportados junto com os resultados pelo usuário. Ao todo foram utilizadas 374 linhas na leitura de dados. Observa-se a impressão de dados na Figura 10.

Figura 10 – Impressão de dados

```

ESTACASLJ.m x ESTACATEST1.ame x inicializacao.m x leituradedadost.m x decourtquaresma.m x finalizacao.m x ESTACATES
328 %*****
329 %FUNÇÃO IMPRESSÃO DE DADOS DE ENTRADA%
330 %*****
331 function impressao(ida,tpest,metc,tsolos,alfae,betae,Ce,profun,diam,golpei);
332 fprintf(ida,'***** \n\n');
333 fprintf(ida,'Bem vindo ao: \n');
334 fprintf(ida,'PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA ESTACAS (ESTACASLJ)\n');
335 fprintf(ida,'Autoras: Lara Silva, Julia Santos e Wanessa Quaresma\n');
336 fprintf(ida,'Versão: outubro de 2018. \n');
337 fprintf(ida,'***** \n\n');
338
339 fprintf(ida,'*****DADOS DA ESTACA***** \n');
340 fprintf(ida,'Tipo da estaca= %s\n',tpest);
341 fprintf(ida,'Método de cálculo = %s\n',metc);
342 fprintf(ida,'Altura da estaca (m) = %2.0f\n',profun);
343 fprintf(ida,'Diâmetro da estaca (m) = %2.3f\n',diam);
344 fprintf(ida,'*****DADOS DO SOLO***** \n');
345 fprintf(ida,'Tipos de solo:\n');
346 tsolos;
347 tsoloss=num2str(tsolos);
348 if strcmp(tsoloss, '1');
349     fprintf(ida,'%s = Argila\n',tsoloss);
350 elseif strcmp(tsoloss, '2');

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.4 Algoritmo utilizando Decourt e Quaresma

O dimensionamento das estacas, empregando o método de Dêcourt e Quaresma (1978), em relação aos métodos mostrados anteriormente. Esse método foi escolhido por ser um dos mais utilizados no Brasil, além do fator precisão nos resultados finais. Para calcular a resistência, foi feito os cálculos na sub-rotina, utilizando as funções existentes no Matlab – Estudent Lincense.

Foram empregues 51 linhas, com o cálculos e as impressões que irão mostrar os resultados no arquivo de saída e temporário, como é possível observar na Figura 11. O roteiro de cálculo do método se encontra no item 2.4.1.

Figura 11 – Algoritmo para o método Decourt e Quaresma

```

16 - MGF=mean(golpei);
17 - MGF=golppsoma/3;
18
19 - areap=pi*(diam.^2)/4;
20 - areaf=pi*diam;
21
22 - rp=alfae*(Ce*10)*MGF*areap;
23 - rf=10*betae*((MGF/3)+1)*areaf*profun;
24 - rt=rp+rf;
25 - rtt=rt/10;
26
27 - fprintf(idat,'*****RESULTADOS*****\n');
28 - fprintf(idat,'Área da ponta (m²)= %2.4f\n',areap);
29 - fprintf(idat,'Área do fuste (m²) = %2.4f\n',areaf);
30 - fprintf(idat,'Média do número de golpes do fuste = %2.4f\n',MGF);
31 - fprintf(idat,'Média do número de golpes da ponta, um superior e um inferior = %2.4f\n',MGF);
32 - fprintf(idat,'Resistência da ponta (kN) = %2.2f\n',rp);
33 - fprintf(idat,'Resistência do fuste (kN) = %2.2f\n',rf);
34 - fprintf(idat,'Resistência total (kN) = %2.2f\n',rt);
35 - fprintf(idat,'Resistência total (tf) = %2.2f\n',rtt);
36
37 - fprintf(idas,'*****RESULTADOS*****\n');
38 - fprintf(idas,'Resistência da ponta (kN) = %2.2f\n',rp);

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.5 Finalização

É onde o programa vai ter seu fim. Ela pode ter dois caminhos, um para quando o programa recebe, lê, calcula o arquivo de entrada e finaliza o ciclo do programa; e outro para quando o arquivo de entrada não é lido de forma correta ou não encontrado, como é possível observar na Figura 12. No total, a finalização teve 13 linhas.

Rotinas de verificação foram criadas em todas as funções, para auxiliar na automação do programa.

Figura 12 - Finalização

```

1
2
3  %%ESTRUTURA DA FUNÇÃO DE FINALIZAÇÃO%%
4  %%ESTRUTURA DA FUNÇÃO DE FINALIZAÇÃO%%
5  %%ESTRUTURA DA FUNÇÃO DE FINALIZAÇÃO%%
6  function finalizacao(status)
7      if status==0
8          fprintf('Execução interrompida.\n');
9      else
10         fprintf('*****');
11         fclose('all');
12     end
13 end

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.6 Arquivo de saída e temporário

Os resultados do cálculo da resistência serão impressos, tanto no arquivo de saída como no temporário, os dois possuem 38 e 42 linhas, respectivamente. Eles também apresentam em sua tela os dados principais da estaca, como a altura, diâmetro, o tipo de estaca e o número de golpes a cada metro. Assim como já citado, no arquivo temporário são impressos mais dados, como a área da ponta e do fuste. É possível visualizar os dois arquivos na Figura 13 e 14.

Figura 13 - Arquivo de saída

```

15 Tipos de solo:
16 1 = Argila
17 Parâmetros dos Solos:
18 Solo      Alfa      Beta      C (tf/m²)
19 1         1.000     1.000     12
20
21 Profundidade  N° de Golpes
22 1             5
23 2             2
24 3             2
25 4             3
26 5             3
27 6             3
28 7             3
29 8             4
30 9             6
31 10            10
32 11            12
33
34 *****RESULTADOS*****
35 Resistência da ponta (kN) = 50.67
36 Resistência do fuste (kN) = 167.55
37 Resistência total (kN) = 218.22
38 Resistência total (tf) = 21.82

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

O arquivo de saída apresenta uma forma mais reduzida do temporário. Desta forma por meio do arquivo temporário é possível visualizar todos os cálculos de forma detalhada, assim através deste arquivo, observa-se se houver qualquer erro no cálculo da resistência para o dimensionamento. Assim como mostrado na Figura 14

Figura 14 – Arquivo temporário

	ESTACATEST1.ame	ESTACASLJ.m	inicializacao.m	leituradedadost.m	decourtquaresma.m
18	Solo	Alfa	Beta	C (tf/m ²)	
19	1	1.000	1.000	12	
20					
21	Profundidade	Nº de Golpes			
22	1	2			
23	2	3			
24	3	2			
25	4	3			
26	5	3			
27	6	2			
28	7	2			
29	8	3			
30	9	4			
31	10	4			
32	11	6			
33					
34	*****RESULTADOS*****				
35	Área da ponta (m ²) = 0.0452				
36	Área do fuste (m ²) = 0.7540				
37	Média do número de golpes do fuste = 3.2000				
38	Média do número de golpes da ponta, um superior e um inferior = 4.6667				
39	Resistência da ponta (kN) = 25.33				
40	Resistência do fuste (kN) = 155.82				
41	Resistência total (kN) = 181.16				
42	Resistência total (tf) = 18.12				
43					

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2 ESTUDO DE SONDAGEM E PROJETO ESTRUTURAL PARA CALIBRAÇÃO DA ROTINA

Para a calibração do programa foi utilizado o estudo de caso realizado na reforma de um supermercado, para o reforço estrutural do mesmo, aonde tornou-se um atacadão, localizado em Goiânia-GO.

Esse reforço foi executado tanto na estrutura em si, como na fundação. Em relação à estrutura, o reforço foi efetuado através de pilares e de vigas metálicas. No que diz respeito a fundação, foi empregado mega estacas, que são próprias para reforço estrutural, pelo fato de não comprometerem a fundação existente e criarem um novo ambiente abaixo do piso.

Essa mudança de supermercado em atacadão, provocou toda uma alteração no local e aumentou a demanda dos produtos. Visto que seria necessário o uso de outra fundação para que

futuramente o local construído não fosse prejudicado, houve a necessidade do reforço na fundação. O espaço a receber a nova fundação é onde se localiza as câmaras frias.

Antes de se realizar os projetos, planejamentos e execução da obra, foi efetuado o Relatório Técnico de Sondagem de Simples Reconhecimento de Solo Padrão SPT segunda a NBR 6484 (ABNT, 2001). Segue no Anexo A o ensaio completo de sondagem.

Esse ensaio foi feito em Goiânia, no dia 6 de abril de 2017, e conforme o relatório realizado pela Saluego Serviços Geotécnicos Ltda. Foram efetuados 21 furos de sondagem à percussão, o ensaio foi executado sem circulação de água. Foi utilizado um tubo de revestimento de 63,50 mm de diâmetro interno e as amostra foram extraídas por meio de um amostrador padrão (SPT), com um diâmetro médio interno de 35,5 mm, e externo de 50,80 mm. Ao todo foram realizados 255,41 metros de sondagem nesses furos.

Os golpes da sondagem foram realizados por um peso de 65 kg, caindo em queda livre por uma altura de 75 cm, cravando assim o amostrador padrão 30 cm. Em seguida os golpes foram anotados e utilizados para se definir a consistência do solo e sua capacidade.

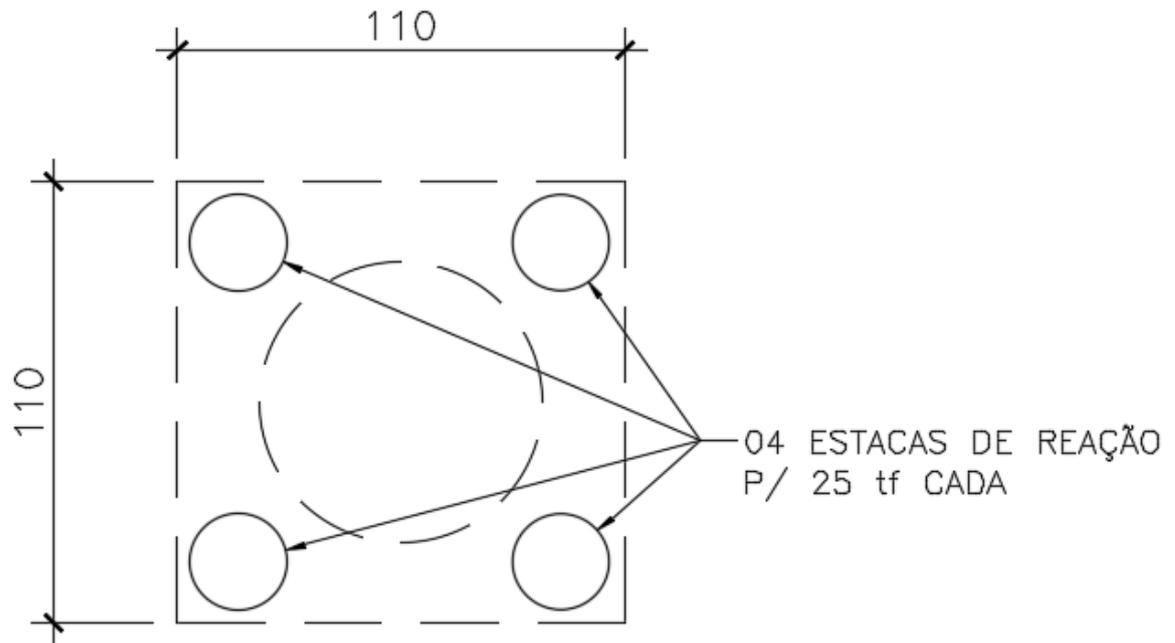
O conteúdo de cada perfil esquemático de sondagem apresentará:

- A cota da boca de furo;
- Numeração e profundidade das amostras extraídas;
- Relação de número de golpes e penetração do amostrador para os 30 cm iniciais e finais, na forma numérica e gráfica;
- Nível de lençol freático, dentro do furo em relação a superfície;
- Classificação geral do solo estudado, utilizando a nomenclatura ABNT.

Após analisar os ensaios de SPT, foi possível observar que em alguns locais onde foram feitos os furos o solo era impenetrável nos primeiros metros. Mas em sua maioria o solo estudado é composto por argila arenosa, argila siltosa, silte argiloso e silte arenoso. Nos furos 04, 07, 09, 10 e 11 foram encontrados níveis d'água, entre 6,00 e 7,00 metros, provenientes certamente de água de precipitação. Os ensaios estão no Anexo A, como já citado.

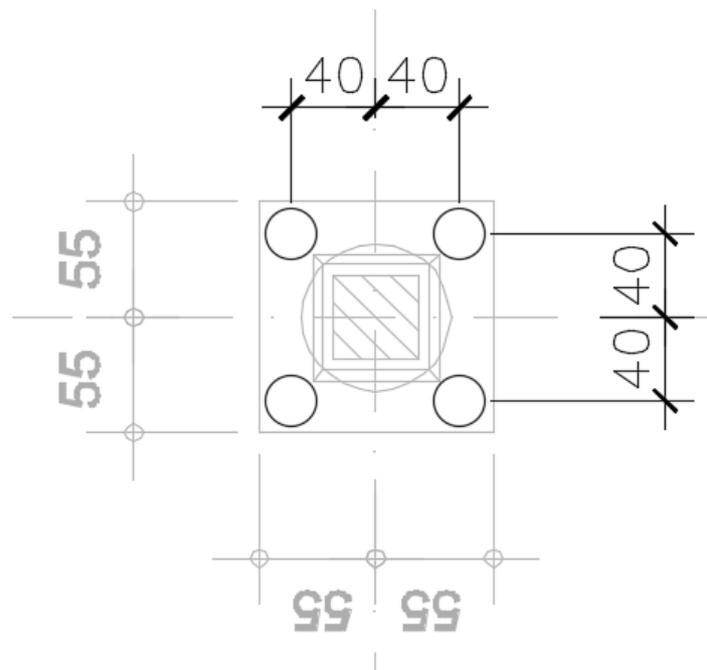
Ao todo foram reforçados 7 blocos com as mega estacas. Esses blocos foram reforçados com 4 estacas, um em cada extremidade, para resistirem uma reação de 25 tf cada estaca, e 100 tf ao todo. Cada estaca possui a dimensão de 24 cm de diâmetro, e aproximadamente 10 metros de altura. No total foram executadas 28 estacas do tipo mega de concreto pré-moldado. É possível observar a dimensão delas e o corte nas Figuras 15, 16, e 17.

Figura 15 – Planta das Mega estacas



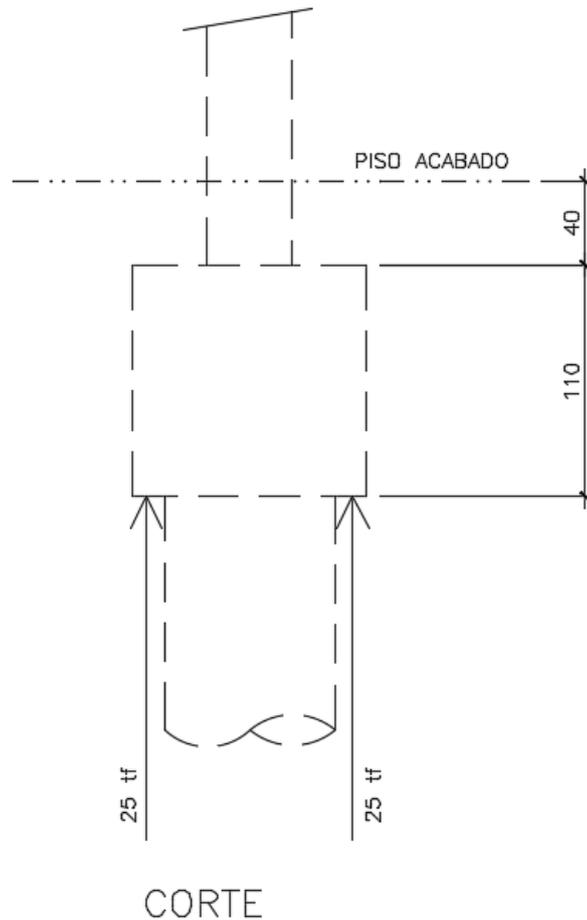
Fonte: Projeto estrutural AutoCad (PAIVA, 2017).

Figura 16 – Dimensão Mega estacas



Fonte: Projeto estrutural AutoCad (PAIVA, 2017).

Figura 17 – Corte das Mega estacas



Fonte: Projeto estrutural AutoCad (PAIVA, 2017).

3.3 EXEMPLOS NÚMERICOS PARA TESTES DO ESTUDO DE CASO

Para continuar a validação da modelagem, para o cálculo do dimensionamento da resistência das estacas, foi usado o método de Decourt e Quaresma (1978), como já foi citado, por ser um método com resultados mais confiáveis e precisos, segundo (MARCHEZINI, 2013).

Foram aplicadas 10 dos 21 ensaios de SPT para o cálculo da resistência necessária, para a aplicação das estacas tipo mega, sendo que cada estaca utilizada foi executada para suportar 25 tf. Os ensaios não utilizados, incluíam fatores que impossibilitavam o cálculo, como solos que eram impenetráveis antecipadamente dos 10 metros, sendo que as estacas que foram utilizadas são de 10 metros de altura.

Os ensaios a serem empregados são SP-01, SP-04, SP-07, SP-09, SP-10, SP-11, SP-12, SP-16, SP-18 e SP-19.

Colocando então a Equação (5), mostrada no capítulo 2, para o cálculo de Decourt e Quaresma (1978):

$$Q_u = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + 10 \cdot \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \quad (5)$$

Agora aplicando dados levantados no projeto estrutural, juntamente com os de sondagem, temos:

- SP-01

Usando as Tabelas 2, 3 e 4, para conhecer os valores dos coeficientes K, α e β , temos:

$$K = 12 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 120 \text{ KN/m}^2$$

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

Como já citado, para o cálculo das somas de N_{SPT} , o da ponta é a média do número de golpes da ponta, um inferior e um superior; e do fuste, é a média de todos os números de golpes, exceto o da ponta e o do primeiro metro, sendo esses desconsiderados. Lembrando que números inferiores a 3 são desconsiderados. O diâmetro da estaca é de 0,24 m e a altura de 10m.

$$N_p = \frac{10 + 6 + 12}{3} = 9,33$$

$$N_l = \frac{3 + 3 + 3 + 3 + 4 + 6}{6} = 3,67$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 9,33 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,67}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 50,65 + 167,64$$

$$Q_u = 218,29 \text{ KN} \rightarrow 21,83 \text{ tf}$$

- SP-04

Os coeficientes α e β , quando para estacas pré-moldadas são 1, portanto não haverá mudança nos demais ensaios, já que foi definido em relação ao tipo de estaca.

$$K = 12 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 120 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{6 + 8 + 4}{3} = 6$$

$$N_l = \frac{3 + 3 + 3 + 4 + 3 + 3 + 4 + 4}{8} = 3,38$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 6 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,38}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 32,57 + 160,35$$

$$Q_u = 192,92 \text{ KN} \rightarrow 19,29 \text{ tf}$$

- SP-07

$$K = 12 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 120 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{8+9+4}{3} = 7$$

$$N_l = \frac{3+4+3+4+4+4}{6} = 3,67$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 7 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,67}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 38 + 167,64$$

$$Q_u = 205,64 \text{ KN} \rightarrow 20,56 \text{ tf}$$

- SP-09

$$K = 12 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 120 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{8+9+6}{3} = 7,67$$

$$N_l = \frac{3+3+6}{3} = 4$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 7,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{4}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 41,64 + 175,93$$

$$Q_u = 217,57 \text{ KN} \rightarrow 21,76 \text{ tf}$$

- SP-10

$$K = 12 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 120 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{4+6+4}{3} = 4,67$$

$$N_l = \frac{3+3+4+3+4+4}{6} = 3,5$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 4,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,5}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 25,35 + 163,36$$

$$Q_u = 188,71 \text{ KN} \rightarrow 18,87 \text{ tf}$$

- SP-11

$$K = 20 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 200 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{5+6+3}{3} = 4,67$$

$$N_l = \frac{3+4+3+3+3}{5} = 3,2$$

$$Q_u = 1 \cdot 200 \cdot 4,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,2}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 42,25 + 155,82$$

$$Q_u = 198,07 \text{ KN} \rightarrow 19,81 \text{ tf}$$

- SP-12

$$K = 20 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 200 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{6+10+4}{3} = 6,67$$

$$N_l = \frac{3+3+3+4+4}{5} = 3,4$$

$$Q_u = 1 \cdot 200 \cdot 6,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,4}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 60,35 + 160,85$$

$$Q_u = 221,20 \text{ KN} \rightarrow 22,12 \text{ tf}$$

- SP-16

$$K = 20 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 200 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{3+8+3}{3} = 4,67$$

$$N_l = \frac{3+3+3}{3} = 3$$

$$Q_u = 1 \cdot 200 \cdot 4,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 42,25 + 150,80$$

$$Q_u = 193,05 \text{ KN} \rightarrow 19,31 \text{ tf}$$

- SP-18

$$K = 20 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 200 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{8+9+6}{3} = 7,67$$

$$N_l = \frac{3+3+6}{3} = 4$$

$$Q_u = 1 \cdot 200 \cdot 7,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{4}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 69,40 + 175,93$$

$$Q_u = 245,43 \text{ KN} \rightarrow 24,54 \text{ tf}$$

- SP-19

$$K = 12 \text{ tf/m}^2 \rightarrow 120 \text{ KN/m}^2$$

$$N_p = \frac{4+4+6}{3} = 4,67$$

$$N_l = \frac{3+3+3+3+4}{5} = 3,2$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 4,67 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,2}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 25,35 + 155,82$$

$$Q_u = 181,17 \text{ KN} \rightarrow 18,12 \text{ tf}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VALIDAÇÃO

No livro Fundamentos da Instrumentação, Aguirre (2013, p. 13), diz que o processo de calibração é o:

Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

Através, então, da calibração foi possível corrigir os erros encontrados no programa, que não puderam ser perceptíveis durante a sua caracterização, principalmente durante o desenvolvimento dos cálculos das médias do número de golpes na ponta e ao longo do fuste. Dessa forma, houve a necessidade de desenvolver metodologias usando as funções do programa, para assim chegar a resultado desejado.

Na Figura 18 é possível ver o arquivo de entrada criado conforme situações usadas no projeto do supermercado de Goiânia.

Figura 18 – Arquivo de entrada com os dados do projeto

```

ESTACATEST1.ame* x ESTACASLJ.m x inicializacao.m x leituradadost.m x decourtquaresma.m x finalizacao.m
1 %ESTACALJ_-_entrada_de_dados:_Estaca_1
2 %Tipo_de_estaca_([1_Escavada_geral]_[2_Escavada]_[3_Helice_continua]_[4_Raiz]_[5_Injetada]_
3 6_Pre_moldada
4 %Método_de_cálculo_[1_Decourt_Quaresma]
5 1_Decourt_Quaresma
6 %Tipo_de_solos_da_Ponta([Argila=1]__[Areias=2]__[Siltes_argilosos=3]__[Siltes_arenosos=4])
7 1
8 %Altura_da_estaca_(m)
9 10
10 %Metros_do_SPT_(Em_Decourt_Quaresma_add_mais_um_metro)
11 11
12 %SPT_(Altura____Nº_de_Golpes)
13 1 5
14 2 2
15 3 2
16 4 3
17 5 3
18 6 3
19 7 3
20 8 4
21 9 6
22 10 10
23 11 12
24 %Diâmetro_da_estaca_(m)
25 0.24
26 %Fim

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

É possível visualizar todos os dados coletados na Figura 18, tais como: tipo de estaca, o solo que se é encontrado na ponta, a altura da estaca, o número de golpes e o diâmetro das estacas.

Após introduzir todos os dados, no *Command Window*, assim como já citado, é inserido o nome do programa e logo após o nome do arquivo de entrada, neste caso: ESTACATEST1.

Em seguida é aberta a sub-rotina com o arquivo de saída para verificar o resultado. Nele estão impressos todos os dados da estaca inseridos no arquivo de entrada. É possível observar o arquivo de saída nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Resultado impresso no arquivo de entrada

```

1 *****
2
3 Bem vindo ao:
4 PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE MEGA ESTACAS (ESTACASLJ)
5 Autoras: Lara Silva, Julia Santos e Wanessa Quaresma
6 Versão: outubro de 2018.
7 *****
8
9 *****DADOS DA ESTACA*****
10 Tipo da estaca= 6_Pre_moldada
11 Método de cálculo = 1_Decourt_Quaresma
12 Altura da estaca (m) = 10
13 Diâmetro da estaca (m) = 0.240
14 *****DADOS DO SOLO*****
15 Tipos de solo:
16 1 = Argila
17 Parâmetros dos Solos:
18 Solo Alfa Beta C(tf/m²)
19 1 1.000 1.000 12

```

Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 20 – Continuação do resultado impressos no arquivo de saída

21	Profundidade	Nº de Golpes
22	1	5
23	2	2
24	3	2
25	4	3
26	5	3
27	6	3
28	7	3
29	8	4
30	9	6
31	10	10
32	11	12
33		
34	*****RESULTADOS*****	
35	Resistência da ponta (kN) = 50.67	
36	Resistência do fuste (kN) = 167.55	
37	Resistência total (kN) = 218.22	
38	Resistência total (tf) = 21.82	
39		

Fonte: Autoria própria, 2018.

Comparando-se agora os resultados do programa com o feito anteriormente:

$$N_p = \frac{10 + 6 + 12}{3} = 9,33$$

$$N_l = \frac{3 + 3 + 3 + 3 + 4 + 6}{6} = 3,67$$

$$Q_u = 1 \cdot 120 \cdot 9,33 \cdot \left(\frac{0,24^2 \cdot \pi}{4} \right) + 1 \cdot 10 \cdot \left(\frac{3,67}{3} + 1 \right) \cdot 0,24 \cdot \pi \cdot 10$$

$$Q_u = 50,65 + 167,64$$

$$Q_u = 218,29 \text{ KN} \rightarrow 21,83 \text{ tf}$$

No programa o resultado obtido foi de 21,82 tf, e o feito manualmente foi 21,83 tf. Houve uma diferença de 0,01, isso é devido ao fato do programa usar mais casas numéricas após a virgula. Ou seja, essa pequena diferença não altera o valor final encontrado, validando assim os resultados encontrados no programa.

A maior dificuldade encontrada para a calibração, encontrou-se durante o cálculo do N_l - média do número de golpes do fuste -, onde é desconsiderado o primeiro metro e o da ponta, e do mesmo modo os valores de N_{SPT} que forem menores que 3, também são desconsiderados. Nesse caso, seria inevitável o uso de um função que pudesse retirar esses valores; ou o armazenamento do valores iguais ou maiores que 3, para em seguida calcular a média. Após todos os testes feitos e todas as calibrações executadas, o programa pode calcular satisfatoriamente a resistência das estacas.

4.2 EXEMPLOS NUMÉRICOS NO PROGRAMA

Após a calibração observou-se a necessidade da criação de exemplos numéricos, com diferentes situações para continuar a validação da rotina, no programa foi usado a estaca pré-moldada para fazer o cálculo da resistência para as mega estacas. A inserção dos dados foi feita para cada um dos solos calculados, após isso verificou-se se os resultados foram o mesmos passados no exemplo numérico. Houve uma pequena diferença, como já citada, pelo fato do uso da quantidade de números após a virgula, entretanto isso não afetou a resultado do cálculo das resistências.

Para cada teste ou mudança feita no programa, houve a imprescindibilidade de lançar as dados dos dez estudos coletados, tanto do projeto estrutural e do ensaio de sondagem, para poder-se observar se haveria algum tipo de erro no programa ou nos cálculos.

Desta forma o resultado final, após todas alterações feitas no programa estão no comparativo feitos dos resultados obtidos no programa com os calculados. Eles estão a seguir na Tabela 19.

Tabela 19 – Comparativo dos resultados encontrados

Ensaio de SPT	Resultados calculado (em tf)	Resultados do programa (em tf)	Diferença dos resultados em %
SP-01	21,83	21,82	0,0458
SP-04	19,29	19,28	0,0518
SP-07	20,56	20,56	0,0000
SP-09	21,76	21,75	0,0460
SP-10	18,87	18,87	0,0000
SP-11	19,81	19,80	0,0505
SP-12	22,12	22,12	0,0000
SP-16	19,31	19,30	0,05179
SP-18	24,54	24,53	0,0407
SP-19	18,12	18,12	0,0000

Fonte: Autorial própria, 2018.

Observando-se todos os resultados dos ensaios calculados com os do programa, é possível concluir a validação do programa, já que a diferença ocorrida foi menos de 0,1%, o

que não altera de forma nenhuma o resultado final. Desta forma o programa ESTACASLJ pode ser usados para o cálculo da resistência das estacas, sem qualquer preocupação de haver algum tipo de erro nos cálculos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos propostos é possível concluir que, a rotina criada para o dimensionamento de mega estacas atende ao esperado, tendo como fundamento a coleta de dados do projeto feito e executado em Goiânia-GO, e a calibração deste programa com os dados coletados. A rotina criada no programa supriu as expectativas propostas, que é o de dimensionar a resistência das estacas a serem usadas para fundação de edificações.

Foi alcançado um avanço a nível de graduação de modelagem numérica e do cálculo de fundações com a coleta de dados para calibração, permitindo-se observar e comparar os resultados encontrados tanto manualmente como através do programa, validando assim o programa criado.

A caracterização do programa foi a parte inicial deste trabalho, onde foram definidos as rotinas e sub-rotinas do algoritmo. Nessa parte inicial, a maior dificuldade foi durante a programação da leitura de dados. Após o algoritmo pronto, foi necessário coletar todos os dados, referentes aos projetos e aos ensaios de sondagem. Assim, foi feita a inserção destes no ESTACASLJ, para a sua calibração e validação.

Outra dificuldade encontrada, teve-se durante a calibração, onde para o cálculo da média do número de golpes, tinha-se a necessidade de armazenar ou retirar alguns números para que o programa concluísse os cálculos para o dimensionamento da resistência. Dessa forma foi imprescindível realizar pesquisas para encontrar funções dentro do programa que realizassem essas tarefas.

O programa possui limitações relacionadas ao tipo de dimensionamento. Já que o algoritmo criado fornece para o usuário 8 tipos de estacas e 4 tipos de solo para o dimensionamento. Essas limitações baseiam-se em relação ao tipo de solo e ao tipo de estaca, retiradas das Tabelas 2, 3 e 4, contidas no item 2.4.1.

A validação do programa, usando 10 exemplos com base no estudo de caso mostra que em média os resultados obtidos foram de 18 tf a 25 tf, sendo que no projeto foram usadas estacas de exatamente 25 tf. Com isso, é possível observar que não haja nenhum problema, já que se o projeto estrutural estivesse baseando-se nos resultados do programa, apenas seria necessário o uso da maior resistência encontrada, sendo aplicada tanto nos projetos como na execução.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, é previsto aplicar o cálculo para outros métodos, além do de Decourt e Quaresma (1978). Assim como já citado, esse método foi usado pelo motivo de precisão nos resultados, tanto é que na comparação não houve qualquer problema em relação a unidade de medida ou transformações. Com a aplicação de outros métodos de dimensionamento, as limitações do programa diminuem, pois, além de inserir-se outro métodos, haverá a inserção de outros tipos de solo e estacas. Assim, levando o programa a uma complexidade maior, já que haverá a necessidade da criação de mais sub-rotinas.

Outra ideia para trabalhos futuros é o cálculo da armadura de aço e das bitolas que seriam usadas na estaca, assim o programa faria o cálculo do dimensionamento completo das estacas.

Dessa forma, após a inserção de dados e o cálculo da armadura de aço e das bitolas, é previsto que o programa calcule mais de uma estaca por vez, selecionando o cálculo de maior resistência para ser aplicado tanto no projeto como na obra.

REFERÊNCIAS

ABMS/ABEF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MECÂNICA DOS SOLOS/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES. **Fundações Teoria e Prática**, 2ª edição, editora PINI, 1999, São Paulo, 750p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de fundações: NBR 6122**. 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Prova de carga direta sobre terreno de fundação: NBR 6489**. 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e solos: NBR 6502**. 1995.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo-Sondagens de Simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio: NBR 6484**. 2001.

AGUIRRE, Luis Antonio. **Fundamentos de Instrumentação**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education, 2013. 332 p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1815226/mod_resource/content/0/SEL0432_2016_Instrumenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 30 out. 2018.

ARMANDO, João. **Estaca Mega Concreto**. Disponível em: <<http://www.reforca.com.br/estaca-mega-concreto/>>. Acesso em: 15 maio 2018.

AVELINO, João Alfredo Dionísio. **Estaca de Deslocamento sob Ações Verticais**. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Técnico Lisboa, Lisboa, 2015. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067125021/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2018.

BECKER, Alex Jenaro et al. **Noções Básicas de Programação em Matlab**. 2010. 68 p. PET (Graduação)- Faculdade de Matemática, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,

2010. Disponível em:
<http://w3.ufsm.br/petmatematica/images/minicursos/Apostilas/Apostila_Matlab.pdf>.
Acesso em: 25 out. 2018.

BORGES, Rodolfo Rodrigues de Sousa. **FUNDAÇÕES PROFUNDAS**: Anápolis: Powerpoint, 2018. 15 slides, color.

CAMPILONGO, Cosmo. **Reforço de Fundações**. Disponível em
<http://www.indamega.com.br/s_reforcos.php>. Acesso em: 15 maio 2018.

CINTRA, José Carlos. **Fundações por estacas projeto geotécnico**. 2010. 96 f. - Curso de Engenharia Civil, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

CONSTÂNCIO, Douglas. **Fundações profundas**: estacas. 2004. 47 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Americana, Americana, 2004.

DANTAS NETO, Silvrano Adonias. **Apostila: Fundações e obra de contenção**. 2006. 68 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceara, Ceara, 2006.

DIAS, Klayton G.; Chaves, André. **Aplicação da estaca na estabilização de recalque diferencial estudo de caso**. Disponível em:
<<http://www.fepi.br/revista/index.php/revista/article/view/362/220>>. Acesso em: 12 de março de 2018.

EDIFICAÇÕES, Engenharia. **Estaca Mega**. Disponível em
<<http://engenhariaedifica.blogspot.com/2016/10/1.html>>. Acesso em: 15 maio de 2018.

EDREY, Vitor et al. **Estaca Mega**: Reforço de fundações utilizando estacas Mega. Mato Verde: Favenorte, 2016. 16 f. Disponível em: <https://www.academia.edu/25364628/Estaca_Mega>.
Acesso em: 20 maio 2018.

ESTRUTURAL, Ppp Enganheria. **ASSAÍ - GOIÂNIA - T9 REFORÇO ESTRUTURAL LOCAÇÃO DAS ESTACAS MEGA**. Goiânia: Autocad, 2017.

GEHLEN, Douglas Dalton. **DIMENSIONAMENTO E COMPARATIVO ENTRE ESTACAS FRANKI, HÉLICE CONTÍNUA E STRAUSS: ESTUDO DE CASO.** 2016. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

HACHICH, Waldemar et al. **FUNDAÇÕES: Teoria e Prática.** 2ª. ed. São Paulo: Pini, 1998. 751 p.

MAGALHÃES, Paulo Henrique Lourenço. **AValiação dos Métodos de Capacidade de Carga e Recalque de Estacas Hélice Contínua via Provas de Carga.** 2005. 270 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MARANGON, M. **Capacidade de Carga: Fundação Profunda por meio SPT.** 2009. 11 f. Artigo - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, São Pedro, 2009.

MARCHEZINI, Silvana Fava. **COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM ESTACAS ASSENTES EM SOLO TROPICAL.** 2013. 171 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MARTHA, Luiz Fernando; RANGEL, Rafael Lopes. **O Ambiente GUIDE do MATLAB: Graphical User Interface Development Environment.** 2018. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/CIV2801-AmbienteGUIDE.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

MONTEIRO, Tiago Melo; ARAUJO, Carla Beatriz Costa de; AGUIAR, Marcos Fabio Porto de. **Análise de métodos semi-empíricos nacionais e internacionais para determinação da capacidade de carga axial em estacas tipo raiz.** 2017. 16 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Unifor, Fortaleza, 2017.

NELSON, Aoki; RODRIGUEZ, Alonso. **PREVISÃO E COMPROVAÇÃO DA CARGA ADMISSIVEL DE ESTACAS**. 1993. 19 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Engenharia, São Paulo, 1993.

OLIVEIRA, Armando de. **CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS MEGA**. 2016. Disponível em: <<http://www.reforca.com.br/caracteristicas-das-estacas-mega/>>. Acesso em: 12 maio 2018.

OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de; MOREIRA, João Paulo Ramalho; AGUIAR, Marcos Fábio Porto de. **DETERMINAÇÃO DE CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS**. 2014. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2014.

PINTO, Carlos de Souza et al. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367 p.

RUBIN, Arthur Bopp. **Previsão da capacidade de carga de estacas do tipo Hélice contínua**. 2016, 92 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

TONHÁ, Antônio Carlos Ferreira. **CAPACIDADE DE CARGA DE FUNDAÇÕES E VERIFICAÇÃO**. 2016. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/CAPACIDADE_DE_CARGA_DE_FUNDA%C3%87%C3%95ES_E_VERIFICA%C3%87%C3%83O_DE_RECALQUES_A_PARTIR_DE_PAR%C3%82METROS_DO_ENSAIO_PANDA_2_E_DE_OUTROS_ENSAIOS_IN_SITU.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

TOSCAN NETO, Ângelo. **Analisar os procedimentos de execução de estacas pré-fabricadas de concreto, através do acompanhamento e controle da execução de uma obra**. 2014. 54 f. TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO (TCC) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2014.