

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**WENDERSON VILELA PIRES**

**PROVAS DE CARGA ESTÁTICA – MÉTODOS DE  
INTERPRETAÇÃO**

**ANÁPOLIS / GO  
2018**

**WENDERSON VILELA PIRES**

**PROVAS DE CARGA ESTÁTICA – MÉTODOS DE  
INTERPRETAÇÃO**

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

**ORIENTADOR: RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA  
BORGES**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PIRES, WENDERSON VILELA.

Provas de carga estática: métodos de interpretação

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

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Provas de carga

2. Análise do solo

3. Aplicação de cargas

4. Engenharia Civil

I. ENC/UNI

II. Provas de carga estática-Engenharia Civil

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIRES, Wenderson Vilela. Provas de carga estática: métodos de interpretação. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 27p. 2018.

### CESSÃO DE DIREITOS

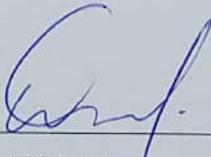
NOME DO AUTOR: Wenderson Vilela Pires.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Provas de carga estática: métodos de interpretação

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.



---

Wenderson Vilela Pires

E-mail: wenderson\_pires23@hotmail.com

WENDERSON VILELA PIRES

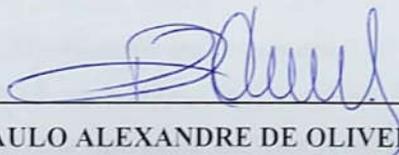
PROVAS DE CARGA ESTÁTICA – MÉTODOS DE  
INTERPRETAÇÃO

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

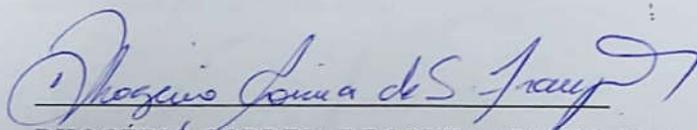
APROVADO POR:



RODOLFO RODRIGUES DE SOUSA BORGES, Especialista (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)



PAULO ALEXANDRE DE OLIVEIRA, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)



RHOGÉRIO CORREIA DE SOUZA ARAÚJO, Mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 05 de NOVEMBRO de 2018.

Dedico...

À memória da minha mãe Laura Borges Pires e do meu Sobrinho Marcus Muriel de Oliveira Vilela. A minha sobrinha Kamilla Gabriela de Oliveira Vilela, ao meu cunhado Marciel Teixeira de Oliveira. E uma dedicação especial ao meu pai Saulo Vilela Pires, aos meus irmãos Leir Vilela Pires e Willian Vilela Pires que me apoiaram durante a realização deste curso. A minha namorada Luiza Miguel Alcantara pelo apoio e carinho a mim dedicado durante o período mais difícil desta trajetória.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por tudo e ter me dado coragem para enfrentar os momentos mais difíceis ao longo dessa caminhada. E ter me proporcionado a alegria de realizar este grande sonho.

Aos familiares que apoiaram de forma direta e indiretamente e contribuíram para que este curso fosse concluído.

Ao meu orientador Rodolfo Rodrigues de Sousa Borges pela orientação, atenção e pelos valiosos ensinamentos durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de sala, principalmente a segunda turma de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Goianésia que estive com eles quatro anos dessa formação.

Agradeço a coordenadora deste curso Ana Lucia Carrijo Adorno pela força e ajuda na transferência do curso de Goianésia para Anápolis e pelos ensinamentos. E a todos os professores do curso de Engenharia Civil da Unievangélica de Anápolis.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O presente estudo abordará como temática ‘provas de carga estática: métodos de interpretação. A escolha por esse estudo decorre diante de ao iniciar qualquer obra é necessário que o profissional engenheiro tenha atenção quanto aos aspectos do solo, terreno e fundações necessárias, e, buscam informações importantes, tais como, capacidade de carga da estaca, recalque associado à carga de trabalho, coeficiente de segurança do estaqueamento. Dessa forma, tem-se por objetivo ressaltar a aplicação de carga com energia crescente em análise de mobilização e resistência do sistema estaca-solo, por meio de carga estática de diferentes estágios de carregamento, a qual buscará conhecer as cargas de trabalho e analisar através de um estudo de caso os métodos de interpretação quanto à prova de carga estática e os diversos métodos para previsão de capacidade de carga. A metodologia utilizada será de pesquisa bibliográfica e estudo de caso em uma obra quanto a emprego de provas de carga estática do conjunto solo-estaca, se estas atenderam aos requisitos estabelecidos pela NBR 6122/ 2010 e NBR 12131:2005. Através desse estudo buscará demonstrar a importância da avaliação geotécnica já na fase de projeto da obra, visando assim garantir maior segurança de estrutura quanto a várias condições de pressões (ou tensões) nas várias profundidades abaixo da superfície do terreno.

**Palavras-Chave:** Engenharia, Geotécnica, Cargas, Estáticas.

## **ABSTRACT**

This study will address how theme ' static load tests: methods of interpretation. The choice for this study takes place before starting any work professional engineer must be aware about the aspects of soil, terrain and necessary foundations and seek important information, such as, load capacity of pile, repression associated with the workload, safety coefficient of staking. In this way, has as objective to highlight the application of load with increasing energy in mobilization and resistance analysis of stake-soil system, through static load of different stages of shipment, which will seek to meet workloads and parse through a case study of the methods of interpretation as to the static load test and the various methods for prediction of load capacity. The methodology used will be of bibliographical research and case study in a work about the use of static load tests of soil-set the stake if they met the requirements laid down by NBR 12131:2005 and 6122/2010. Through this study will seek to demonstrate the importance of geotechnical evaluation already in the design phase of the work, in order to ensure greater safety of structure as the various conditions of pressures (or tension) in the various depths below the surface of the ground.

**KEYWORDS:** Engineering, Geotechnical, Loads, Static.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: FUNDAÇÕES. ....	20
FIGURA 2: DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS.....	26
FIGURA 3: COLAPSO DO SOLO.....	26
FIGURA 4: COLAPSO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS, RESULTANTES DE PROJETOS DEFICIENTES	26
FIGURA 5: ESQUEMA DE MONTAGEM DE PROVA ESTÁTICA.....	28
FIGURA 6: TÉCNICAS DE EXECUÇÃO.....	29
FIGURA 7: RESIDENCIAL PLANET CONSCIENTE GARDEN, LOCALIZADO NA RUA T-34, QD. 104, LT. 13/15, ST. BUENO, GOIÂNIA.....	34
FIGURA 8: EQUIPAMENTOS PRONTOS PARA REALIZAR A PROVA DE CARGA.....	35
FIGURA 9: DESENHO ESQUEMÁTICO DA CONFIGURAÇÃO DE MONTAGEM DOS ENSAIOS.....	36
FIGURA 10: MONTAGEM DO SISTEMA DE REAÇÃO, APLICAÇÃO DE CARGA E MEDIÇÃO DOS DESLOCAMENTOS.....	36
FIGURA 11: REALIZANDO PROVA DE CARGA, APLICANDO CARGA NA ESTACA DE ENSAIO.....	37
FIGURA 12: CURVA CARGA X RECALQUE, MÉDIA DOS MEDIDORES DE DESLOCAMENTO – ESTACA PC1.....	38
FIGURA 13: CURVAS TEMPO X DESLOCAMENTO – ESTACA PC1 .....	38
FIGURA 14: FOTO DA REALIZAÇÃO DA PROVA DE CARGA 1 E DETALHE DAS ESTACAS PRONTAS PARA REALIZAR A PROVA DE CARGA 2 .....	40
FIGURA 15: CURVA CARGA X RECALQUE, MÉDIA DOS MEDIDORES DE DESLOCAMENTO – ESTACA PC2.....	40
FIGURA 16: CURVAS TEMPO X DESLOCAMENTO – ESTACA PC2. ....	41
FIGURA 17: CURVA CARGA X RECALQUE – CRITÉRIOS DE RUPTURA – PC1.....	42
FIGURA 18: CURVA CARGA X RECALQUE – CRITÉRIOS DE RUPTURA – PC2.....	43

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1: CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS ENSAIADAS .....	36
TABELA 2: CARGAS APLICADAS AOS ENSAIOS. ....	37
TABELA 3: DESLOCAMENTOS MEDIDOS NO TOPO DA ESTACA PC1. ....	39
TABELA 4: DESLOCAMENTOS MEDIDOS NO TOPO DA ESTACA PC2. ....	41
TABELA 5: CARGA DE RUPTURA – CRITÉRIO USUAL DA ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES .....	43

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

NBR – Normas Brasileiras

IBC – Código Internacional de Construção

kPa – Kilopascal

lbf/ft. Libra força - Energia. Força

PCE – Prova de Carga Estática

PCD – Prova de Carga Dinâmica

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
<b>1.3 METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE FUNDAÇÕES .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 CARGAS ESTÁTICAS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 CARGAS DINÂMICAS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 ENSAIOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS .....</b>	<b>27</b>
2.4.1 Provas De Carga Estática .....	28
2.4.2 Prova De Carga Dinâmico.....	30
<b>2.6 MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO QUANTO À PROVA DE CARGAS ESTÁTICAS .....</b>	<b>32</b>
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS .....	47
ANEXOS.....	50

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, no Brasil, a Construção Civil representa o setor de maior absorção de mão de obra, dada a abrangência de sua variada oferta de trabalho, sem muitas restrições para o recrutamento. Dados do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE, 2001) referem que o setor empregava quatro milhões e setecentos mil trabalhadores, 80% desse contingente na informalidade. A construção civil constitui-se, portanto, em um setor produtivo importante no cenário econômico brasileiro, responsável na época por 10,3% do Produto Interno Bruto. Dados recentes (DIEESE, 2012) mostram crescimento no setor que totalizam cinco milhões e oitocentos mil trabalhadores, o que representa 6,5% da população ocupada (TAKAHASHI, et al., 2012).

As empresas do ramo da Construção Civil têm como objetivo colocar no mercado; rodovias, obras de arte, obras de saneamento, todas com boa qualidade, cuja produção seja economicamente competitiva para empresa, proporcionando a rentabilidade. Do ponto de vista social e ambiental, a realização de um empreendimento deve gerar trabalho, aprimoramento técnico desenvolvimento tecnológico, promovendo assim, benefícios sociais, além de ser ambientalmente sustentável (GEHBAUER, 2002). Pode-se dizer que basicamente o processo de um empreendimento se inicia com uma consulta de viabilidade e o planejamento da obra, para obter-se uma margem de retorno.

Segundo o Portal de Arquitetura, Engenharia e Construção (2018), representantes do Conselho de Administração da Câmara Brasileira da Indústria Imobiliária (CBIC) se reuniram com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) em outubro para discutir sobre investimentos no setor. Como uma solução para linha de crédito a longo prazo, foi reforçado o BNDES Giro. De acordo com o chefe do departamento de relacionamento institucional e gestão de crédito rural do banco, Carlos Alberto Vianna Costa (AEC, 2018), o programa possibilita que os agentes financeiros realizem suas operações de forma totalmente digital, garantindo a redução do prazo de aprovação para apenas três segundos. Além disso, a linha de financiamento sai do BNDES para os agentes financeiros com custo da Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) somada a 1,5% e ao *spread* de risco lançado pelo agente”, completou. Costa (2018) também afirma que já foram mais de 1 bilhão de operações aprovadas desde o lançamento do programa no ano de 2017.

O desenvolvimento contínuo do setor de construção civil deve-se ao crescimento do Mercado Imobiliário brasileiro, o chamado *Boom Imobiliário*. O mercado imobiliário exerce novo papel de protagonista no Brasil, haja vista que, a partir de 2010, o país entrou na elite mundial no quesito valorização de imóveis com um índice médio de 25% anual o que tornou o terceiro mercado mais aquecido do mundo, segundo dados de 37 países levantados pela consultoria especializada *Global Property Guide*.

Segundo levantamento anual publicado pela revista EXAME/Ibope em maio de 2017 pôde constatar que em 2016 o mercado imobiliário brasileiro viveu um momento de euforia sem comparações em sua história. Foram financiados mais de um milhão de casas e apartamentos no ano.

No ápice da crise dos Estados Unidos em 2009, o mercado imobiliário no Brasil enxergou outro cenário e com uma estratégia altamente audaciosa identificou a possibilidade de aumentar o crédito no mercado habitacional buscando assim uma melhor estruturação do País. Com a nova liberação de crédito habitacional, de 2007 a 2012 o número de novos domicílios aumentou aproximadamente sete milhões, reduzindo assim o déficit habitacional em 1,47% segundo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada).

Em 2009 os imóveis tiveram o início da valorização, e assim seguiu com um mercado totalmente agressivo até início de 2011, quando os valores já se encontravam em um patamar elevado, foi realizado uma significativa redução, estabilizando assim o preço. A figura a seguir representa a quantidade de imóveis vendidos por ano de 2001 a 2012, e pode-se observar que a quantidade de imóveis vendidos é proporcional ao valor financiado por ano.

De acordo a revista EXAME (2017), a análise é de que poucos países tiveram uma valorização imobiliária comparável à do Brasil nos últimos anos informando que até 2017, os preços subiram num ritmo anual de 20% a 25% em média, bem mais do que a renda nacional, a inflação, e o rendimento de diversas aplicações financeiras. A demanda por imóveis parecia não ter limite.

De acordo com a lista de países por PIB nominal, publicada pelo CEBR (*Centre for Economics and Business Research*), o Brasil é a sétima maior economia do mundo por PIB nominal. A partir de 1990 o país conquistou estabilidade econômica, atraindo investimentos estrangeiros, ainda por ser um país de economia emergente.

Para observar e compreender o potencial de crescimento econômico do Brasil segue os principais fatores observados: o aumento de preços é devido aos incentivos oferecidos pelo Governo Federal, a liberação de crédito imobiliário em 2013 segundo a Caixa Econômica foi de R\$ 134,9 bilhões, permitindo que várias pessoas pudessem comprar seu primeiro imóvel com prazo máximo de 420 meses (35 anos) e sair do aluguel, diminuindo assim o déficit habitacional que de acordo com IPEA em 2012 fechou o ano com 8,53%, redução de 0,27% de acordo com 2011.

O “*Boom Imobiliário*” fez com que novas construtoras entrassem no mercado com intuito de aproveitar essa “onda de vendas” a entrada de novas construtoras aumentaram proporcionalmente a quantidade de obras, não sendo primordial um estudo aprofundado da viabilidade social, visando adequar a quantidade de moradores nos projetos elaborados, com ruas de pequeno fluxo, tornando ainda mais difícil a locomoção nessas regiões, hoje todo o setor de construção civil sofre com a falta desse planejamento.

Com um bom planejamento, gerenciamento e auxílio dos controles, pode-se dizer que há um grande potencial de melhoria no ramo de construção civil, principalmente se a organização tiver controles internos de execução do que é planejado. Existem inúmeras formas para que uma empresa no ramo da construção civil garanta a execução de procedimentos e processos de maneira correta, bem como o envolvimento dos colaboradores para a operacionalização de um sistema de gestão voltado à qualidade.

No cenário competitivo atual, a sobrevivência depende da interação com seu meio através do atendimento ideal ao seu cliente e posicionamento adequado em seu mercado, frente a seus concorrentes. Para isto, é necessário que as organizações estejam sempre buscando a inovação, seja em seus produtos, em seus processos ou em seus serviços. A inovação como elemento crucial de vantagem competitiva ocorre, por exemplo, através de lançamentos de novos produtos que, por sua vez, garantem a captura de parcelas de mercado, bem como da manutenção de clientes ávidos por novidades, gerando, portanto, retornos de investimento às empresas (DUHAN et al., 2001).

A indústria da Construção Civil é organizada em projetos e a teoria e práticas da produção dominantes são influenciadas intensamente pelos conceitos e técnicas da área denominada gestão de projetos (BALLARD, 2000).

Dentre os tipos de sistemas de produção, uma obra ou construção é classificada como um sistema de produção do tipo grandes projetos, pois cada obra é um produto único, em que não há fluxo do produto (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Projeto é um empreendimento não repetitivo, caracterizado por uma sequência lógica de eventos, com início, meio e fim que se destina a atingir um objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas dentro de parâmetros pré-definidos de tempo custos, recursos envolvidos e qualidade (VARGAS, 2005).

Segundo Vargas (2005, p. 08):

Projeto empresarial é um empreendimento não repetitivo, caracterizado por uma sequência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim, que se destina a atingir um objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas dentro de parâmetros pré-definidos de tempo, custo, recursos e qualidade (VARGAS, 2005, p. 08).

De acordo com o PMBOK (2014, p.05), “um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”, ou seja, temporário por ter bem definido um início e um fim; produto, serviço ou resultado exclusivo são criações de entregas exclusivas, que podem ser de um item final ou um item componente, a realização de um serviço final ou de suporte, resultados finais ou documentos.

Apesar da importância cada vez maior dos projetos nas organizações, a maioria dos projetos não cumpre suas metas. Entregar projetos que atendam às metas de prazo, custo e especificações planejadas e que também atendam aos objetivos de negócio que o justificaram é ainda um desafio a ser superado nas empresas (MARQUES JUNIOR; PLONSKI, 2011).

Ao iniciar o projeto de uma determinada obra, é fundamental que o profissional engenheiro avalie vários aspectos, e um dos mais relevantes refere-se ao conhecimento do solo e suas características. É a partir desse conhecimento que o profissional desenvolverá o projeto e optará pelos melhores métodos quanto à segurança e qualidade. Assim é preciso que se tenham informações da obra que será executada e o terreno a qual esta será realizada. O engenheiro geotécnico deve saber ou antecipar o tipo e a magnitude das cargas que a obra geotécnica deve suportar. Cada tipo de carga, ou certas combinações delas, pode fazer com o que o sistema responda de maneira diferente.

E para obter tais informações de formas mais precisas faz-se de total relevância a realização de provas de carga, a qual oferecerá informações quanto a características de resistências das fundações em conjunto com o solo, o que colaborará também para maior segurança da obra que será executada. Essas provas são estabelecidas pela NBR 6122/ 2010, a qual específica que há dois modos de verificar a capacidade de carga, sendo a estática, conforme NBR 12131/2006 e a de carga dinâmica NBR 13208/2007, porém, o enfoque desse estudo será a estática, que visa determinar a capacidade de carga tendo como enfoque o sistema solo-estaca (MARCHEZINI, 2013).

Embora existam métodos teóricos e semiempíricos para determinação da capacidade de carga em estacas, a realização do ensaio de Prova de Carga Estática apresenta-se como a maneira mais confiável de dimensionar e/ou conferir as cargas de projeto de uma fundação profunda, uma vez que, segundo Magalhães (2005), é o método que representa de forma real o comportamento de uma fundação profunda (estaca).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Justifica-se a escolha pelo presente estudo devido que a prova de carga estática constitui, atualmente, o único processo capaz de fornecer um valor incontestável da capacidade de carga de uma estaca considerada individualmente. Além de que, cada vez mais provas de carga tem sido instrumentadas, o que permite conhecer a parcela de ponta e atrito lateral da estaca. Além de que essa é uma técnica comumente utilizada na determinação da capacidade de carga de estacas, onde aplicam esforços crescentes e observam-se possíveis deslocamentos e reação. Com isso o presente estudo demonstra-se relevante, pois colaborará no enriquecimento de maior conhecimento, pois, a prova de carga estática é descrita em muitos estudos como processo de melhor oferece valor quanto à capacidade de carga de uma fundação isolada. Além de que, a realização de provas de carga estática se constitui forma segura de determinar comportamento de fundações profundas diante de carregamentos (MILITITSKY, 2015).

Segundo Nogueira et al. (2016), vários são os fatores avaliados pelos empreendedores e construtores para tomar a decisão de realizar a prova de carga prévia, ou

seja, antes da elaboração do projeto de fundações. São os fatores econômicos, normalmente, os mais importantes – o argumento mais utilizado para convencer o empreendedor a realizar a prova de carga prévia é a economia que ela pode gerar no custo total das fundações. Outro fator importante é o prazo. Na realização da prova de carga prévia, além do próprio prazo de execução, que inclui mobilização de equipamento, execução das estacas, prazo para atingir a resistência desejada do concreto, montagem e execução do ensaio, é necessário também levar em conta a elaboração do projeto de fundações com menor fator de segurança, a depender do resultado positivo do ensaio.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Ressaltar a aplicação de prova com energia crescente em análise de mobilização e resistência do sistema estaca-solo, por meio de carga estática de diferentes estágios de carregamento, abordando, inclusive, um estudo de caso.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Apontar a relevância da previsão de capacidade de carga por meio de investigação geotécnica;

Conceituar ensaios estáticos e dinâmicos e sua relevância no âmbito das fundações;

Enfatizar a aplicabilidade de provas de carga estática como instrumento de controle e de verificação de desempenho de fundações por estacas;

Analisar os resultados obtidos na prova de carga, e comparar com diferentes métodos de interpretação quanto à prova de cargas estáticas.

Mostrar um estudo de caso de aplicação de uma prova de carga em estaca para uma obra de construção civil.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi via pesquisa bibliográfica com análise de bibliografias, teses, sites e normas regulamentadoras. Será realizado ainda estudo de caso em

uma obra vertical situada na cidade de Goiânia GO, onde foi realizado provas de carga estática. Em seguida analisar se estas atenderam aos requisitos estabelecidos pela NBR 6122/2010 e NBR 12131:2005 – Estacas – Prova de carga estática. Assim, o presente estudo realizará uma análise comparativa quanto à técnica empregada para avaliação de previsão de capacidade de carga (estática) de acordo com as normas brasileiras.

Para isso foi necessário ainda levantamento dos aspectos geológicos, geotécnico do local, sondagem a percussão SPT e estaqueamento.

Dessa forma, foram utilizados comparação dos resultados das provas de carga estática de acordo com apontamentos de previsão da capacidade de carga utilizando valores do ensaio de SPT e os métodos de Aoki-Velloso (1975) e do Décourt-Quaresma (1978, 1982), devido estes serem utilizados amplamente em projetos de fundação.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será desenvolvido em cinco capítulos, sendo eles: introdução, revisão bibliográfica, estudo de caso, resultado e discussões e conclusão e sugestões. O capítulo 1 apresentará introdução ao tema estudado, abordando questões relacionadas a objetivo, justificativa, metodologia e estrutura do trabalho. O capítulo 2 será a fundamentação teórica do estudo, apresentando a conceituação de estudiosos quanto à geotécnica, provas de carga, ensaios estáticos e dinâmicos e fundações em construção civil. O capítulo 3 será os materiais e métodos utilizados para realização da pesquisa em campo, que será um estudo de caso. O capítulo 4 consistirá nos resultados obtidos e discussão destes resultados com os estudos teóricos apresentados. E, por fim, o quinto e último capítulo que será as considerações finais.

## 2 PREVISÃO DE CAPACIDADE DE CARGA EM FUNDAÇÕES

Em muitos problemas, como os relativos ao estudo dos recalques, empuxos de terra e capacidade de carga dos solos, é de particular interesse conhecer a distribuição de pressões (ou tensões) nas várias profundidades abaixo da superfície do terreno. (CINTRA, 2010).

As pressões existentes nos maciços terrosos decorrem do peso próprio do solo (pressões virgens) e das cargas estruturais aplicadas (pressões induzidas), resultantes de fundações, aterros, pavimentos, escavações, etc. Estas últimas comportam duas análises: as pressões de contato e as pressões despertadas no interior do maciço. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

A complexidade do real comportamento dos maciços terrosos, decorrente da sua geometria, heterogeneidade, anisotropia e reologia, não permite ainda um tratamento plenamente satisfatório para o cálculo das tensões neles instaladas. Daí as soluções aproximadas, usualmente adotadas, que se baseiam em modelos técnicos. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

A pressão vertical resultante  $\sigma$  em um ponto M no interior de um maciço, considerando-se uma carga aplicada no fundo de uma cava de fundação, será:

### Equação 1

$$\sigma = (\sigma_0 - \Delta\sigma_0) + \Delta\sigma_p,$$

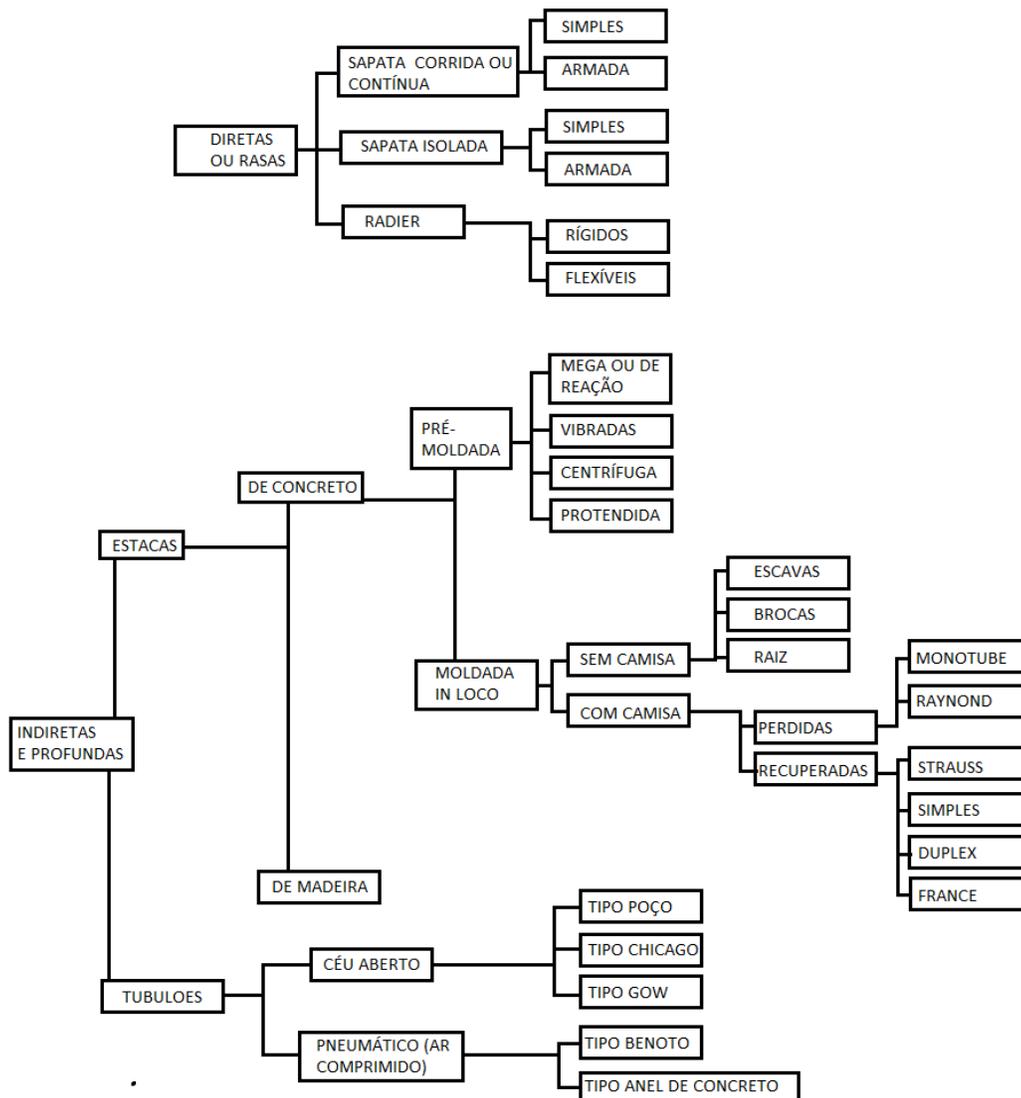
Sendo  $\sigma_0$  a pressão devida ao peso próprio,  $\Delta\sigma_0$  a pressão de alívio decorrente da escavação e  $\Delta\sigma_p$  a pressão induzida pelo carregamento  $p$ .

Apesar de vários fatores afetarem a distribuição das pressões e, conseqüentemente, das limitações de tais estudos teóricos, ainda assim eles permitem estabelecer, como veremos, importantes conclusões para o projetista de fundações. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

Em função das dificuldades de uma análise em conjunto da interação estrutura-fundação-solo, o engenheiro estrutural tem a tendência para tratar o problema apenas sob o ponto de vista do dimensionamento; o especialista em Mecânica dos Solos tende a reconhecer que uma das preocupações essenciais das fundações é limitar os recalques diferenciais (CINTRA, 2010).

A escolha pela fundação deve ser estabelecida após análise técnica, econômica, e do terreno, bem como condições das edificações vizinhas à obra, geotécnica local, até porque são vários os tipos de fundações que o profissional tem a sua disposição (JOPPERT JUNIOR, 2007 apud FERREIRA, 2009, p.27), conforme pode-se verificar na figura abaixo:

Figura 1: Fundações.



Fonte: (BARROS, 2011 p.4)

## 2.1 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DE FUNDAÇÕES

É necessária inicialmente a realização de execução de levantamento topográfico conforme NBR 13133:1994; assim como obter informações sobre os taludes e encostas no terreno, que possam atingi-lo, coletados in loco; e dados sobre erosões (evoluções preocupantes na formação do solo).

Outro aspecto importante é o levantamento de dados geológicos – geotécnicos, realizando investigação do subsolo (Em 2 etapas: preliminar e complementar); e buscar ainda outros dados geológicos e geotécnicos (mapas e fotos aéreas) (VELLOSO; LOPES, 2010)

Segundo Yazigi (2009, p.173) para levantamento de dados geotécnicos do terreno (solo, rocha e ambos) é preciso investigações locais, compreendendo: sondagens de reconhecimento e sondagens para retirada de amostras indeformadas; ensaios de penetração, estática ou dinâmica; ensaios in situ de resistência e deformação; ensaios in situ de permeabilidade ou determinação da perda de água; medições de nível de água e de pressão neutra; realização de provas de carga; processos geofísicos de reconhecimento, investigações, em laboratório, sobre amostras representativas das condições locais, compreendendo: caracterização; resistência; deformação; e permeabilidade.

Após esse processo deve-se buscar dados da edificação, como o tipo da obra que será realizada, seu sistema estrutural e cargas necessárias (ações nas fundações). E, como reiterado anteriormente são necessários dados sobre construções na vizinhança, como tipo de estrutura e fundações; número de pavimento, carga média por pavimento; desempenho das fundações; existência de subsolo; e possíveis consequências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra (VELLOSO; LOPES, 2010).

Conforme descreveu Caputo e Caputo (2017), as obras geotécnicas são, frequentemente, submetidas a uma variedade de cargas. O engenheiro geotécnico deve saber ou antecipar o tipo e a magnitude das cargas que a obra geotécnica deve suportar. Cada tipo de carga, ou certas combinações delas, pode fazer com o que o sistema responda de maneira diferente. É importante colocar que há duas grandes classes de cargas: estática e dinâmica.

## 2.2 CARGAS ESTÁTICAS

A escolha pela prova de carga estática, nesse trabalho, foi diante de que as alterações climáticas, de solo tem sido uma constante, onde muitas obras são construídas para determinada característica e com o tempo sofre outras ações, o que leva a necessidade de se avaliar como determinada fundação reagiria a diversos processos, por exemplo, antes no Brasil não tinha ocorrência de abalos sísmicos, e atualmente esses relatos já se tem aumentado. E, conforme descreveu Caputo (2017), as cargas estáticas referem a qualquer força simples ou até mesmo combinação destas que podem ser aplicadas em uma determinada estrutura, em outras palavras, refere-se à deformação máxima, que ocorre quando sob uma carga estática, é atingida quando a carga última estática atua sobre uma obra geotécnica. Para melhor compreensão pode-se dizer que a estática lida, primariamente, com cálculos de forças externas que atuam em corpos rígidos em equilíbrio.

As cargas estáticas são qualquer força simples, ou uma combinação de forças, que são aplicadas lentamente sobre uma estrutura com pequenas flutuações na magnitude, direção e localização até que o valor final seja atingido. Em outras palavras, a deformação máxima, que ocorre quando sob uma carga estática, é atingida quando a carga última estática atua sobre uma obra geotécnica. (BUDHU, 2017).

As cargas estáticas consistem nas seguintes cargas.

1. Cargas permanentes: consistem no peso próprio da estrutura (por exemplo, as superestruturas ou estruturas acima do solo e solos, ou estruturas enterradas) e no peso de elementos complementares do prédio, tais como paredes, equipamentos mecânico e elétrico. As cargas permanentes são obtidas a partir dos fabricantes dos materiais a serem utilizados.(BUDHU, 2017).

2. Cargas acidentais: são cargas móveis resultantes da utilização pretendida (ocupação) da estrutura. Exemplos de cargas acidentais são os pesos de pessoas, materiais armazenados, equipamentos, móveis, eletrodomésticos, e assim por diante. Os códigos, por exemplo, o Código Internacional de Construção (IBC, 2006), listam cargas acidentais recomendadas. Para uma sala de aula, o IBC (2006) enumera uma carga acidental seja por

uma carga uniformemente distribuída de 1,9 kPa (40 lb/ft<sup>2</sup>), ou seja, por uma carga concentrada de 4,45 kN (1000 lb), o que produz o pior efeito.(BUDHU, 2017).

3. Cargas de terra: são aquelas impostas à obra geotécnica pelo solo (BUDHU, 2017).

4. Cargas hidrostáticas: são cargas devido às pressões hidráulicas. Pressões hidráulicas podem ser impostas vertical e lateralmente, podendo, inclusive, causar expansão em uma obra geotécnica. Se há diferenças nos níveis de água ao longo de uma obra geotécnica ou de um de seus elementos, as forças de percolação da água estarão presentes. Estas são forças internas ao longo da massa de solo (BUDHU, 2017).

5. Cargas de neve: como o nome sugere, resultam da acumulação de neve em telhados de edificações. Cargas de neve variam de acordo com a localização geográfica da estrutura. Tipos de cargas de neve estão reunidos em normas.

6. Cargas de chuva: estas cargas resultam da acumulação de água proveniente de telhados ou outros elementos estruturais expostos ao ambiente. Os tipos de cargas de chuva podem ser obtidos a partir de equações empíricas encontradas em normas (MILITITSKY, 2015).

## 2.3 CARGAS DINÂMICAS

As cargas dinâmicas são aplicadas rapidamente em uma estrutura e, em geral, mudam de intensidade, direção e localização. A deformação última é dependente do tempo e pode não corresponder à da carga de pico. Existem quatro classes de cargas dinâmicas que têm importância prática para engenheiros geotécnicos: 1. Cargas de impacto: estas são aplicadas repentinamente e têm curta duração. A força de um martelo é uma carga de impacto. Cargas de impacto são, com frequência, consideradas cargas estáticas com intensidade aumentada ou amplificada. Em geral, fatores de amplificação variam entre 1,10 e 1,25.(BUDHU, 2017).

2. Cargas de operação de máquinas: estas são aplicadas ciclicamente durante a operação de máquinas. Frequência de carregamento (ciclos por segundo, designada por Hertz, Hz, ou mega-hertz, MHz) é importante e depende do funcionamento da máquina. A

deformação é função da frequência, duração de carregamento e também da localização da máquina.(BUDHU, 2017).

3. Cargas de vento: resultam da energia cinética da massa de ar sobre uma estrutura, que é transferida da estrutura para a fundação. As cargas de vento atuam contra as faces da estrutura e consistem em cargas horizontais e verticais que podem provocar deslizamento, elevação, tombamento e recalque diferencial em uma estrutura (Fig. 2.2).(BUDHU, 2017).

As cargas de vento são tratadas como forças estáticas, considerando a velocidade máxima do vento esperado, condições de exposição, geometria da edificação (particularmente altura e orientação), rajada e importância da estrutura. As cargas de vento recomendadas são obtidas a partir de normas. As cargas de vento dependem da geometria da estrutura (forma, tamanho, tipo de telhado e orientação em relação à direção do vento), velocidade do vento, tipo de terreno no local e perto do projeto, porosidade da estrutura e sua importância. (MILITITSKY, 2015).

4. Cargas de terremoto: são ocorrências naturais e têm sido responsáveis pela destruição em larga escala e tragédia humana incalculável. A ocorrência de um sismo não pode ser estimada com precisão. O mecanismo que causa terremotos é conhecido e pode-se prever a probabilidade de ocorrência em uma determinada região. No entanto, a previsão de quando o terremoto realmente ocorrerá é meramente especulativa. (BUDHU, 2017).

Segundo NBR 8681 (2002, p.2) (“Ações e Segurança nas Estruturas-Procedimentos) as ações nas estruturas classificam se em:

3.4 Ações: Causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

3.5 Ações permanentes: Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas.

3.6 Ações variáveis: Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.

3.7 Ações excepcionais: Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

3.8 Cargas Acidentais: Cargas acidentais são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.).

NBR 8681(2002, p.2) estabelece os parâmetros para combinações destas ações na verificação dos estados-limites de uma estrutura.

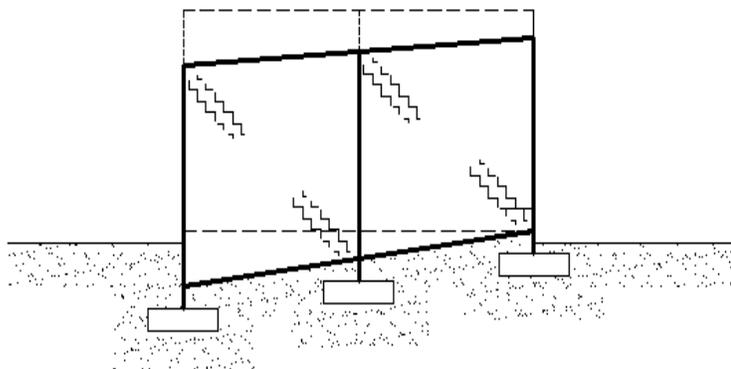
3.1 estados limites de uma estrutura: Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção.

3.2 estados limites últimos: Estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.

3.3 estados limites de serviço: Estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

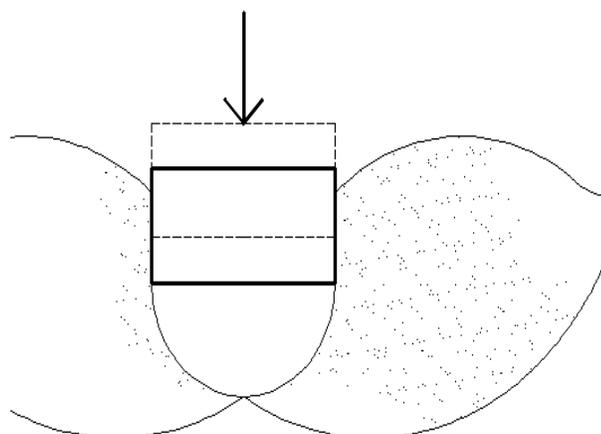
Segundo Velloso e Lopes (2010), há mais requisitos para elaboração de um projeto de fundação: observar as deformações aceitáveis sob as condições de trabalho, que corresponde a verificação de um estado limite de serviço que consta na NBR 8681/2002, segurança adequada ao colapso do solo onde será executada a fundação, segurança adequada ao colapso dos elementos da fundação, ambas devem corresponder à verificação dos estados limites últimos. As implicações de não satisfazerem a estas condições são: deformações excessivas (Figura 02), colapso do solo (Figura 03) e colapso dos elementos da fundação (Figura 04).

Figura 2: Deformações excessivas



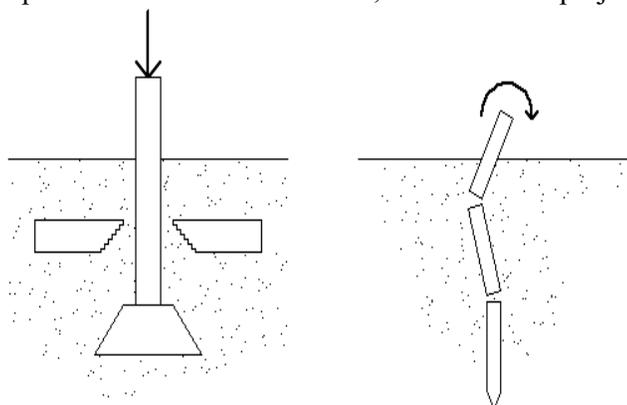
Fonte: (VELLOSO E LOPES, 2010, p.212)

Figura 3: Colapso do solo



Fonte: (VELLOSO E LOPES, 2010, p.212)

Figura 4: Colapso dos elementos estruturais, resultantes de projetos deficientes



Fonte: (VELLOSO E LOPES, 1998, p.212)

## 2.4 ENSAIOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS

A definição de fundação, de acordo com Caputo (1983), “chama-se fundação a parte de uma estrutura que transmite ao terreno subjacente à carga da obra” devendo suportar as tensões causadas pelos esforços solicitantes. Azevedo (2011), também apresenta uma definição semelhante ao afirmar que “fundações são os elementos estruturais com função de transmitir as cargas da estrutura ao terreno onde elas se apoiam”. Além disso, o solo necessita de resistência e rigidez adequada para não sofrer ruptura e não apresentar deformações exageradas ou diferenciais.

As fundações são separadas em dois grandes grupos: Fundações superficiais e profundas. As fundações superficiais, rasas ou diretas são aquelas que transmitem as cargas da superestrutura e seu peso próprio às camadas apoiadas a pequenas profundidades (VELLOSO LOPES, 2010).

As NBR 6122 (2010, p.02) define fundação rasa 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.

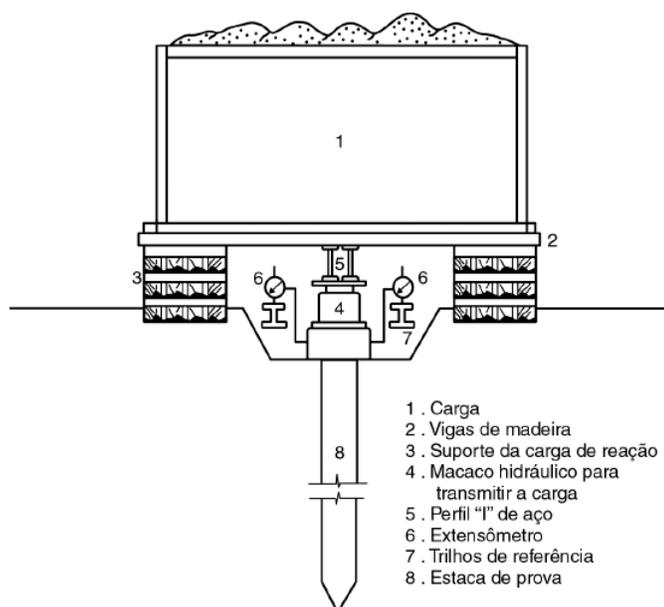
Já a fundação profunda ou direta é aquela que transmite a carga ao terreno por sua superfície lateral (resistência de atrito lateral) e pela sua base (resistência de ponta) ou por combinação de ambas, e esta assentada em profundidade, em relação ao terreno adjacente, superior no mínimo a duas vezes sua menor dimensão (YAZIGI, 2009).

De acordo Velloso e Lopes (1998), há seis tipos de fundações superficiais, rasas ou diretas: bloco, sapata, viga de fundação, grelha, sapata associada e radier. Já as fundações profundas são separadas em três tipos principais: estacas, tubulão e caixão (VELLOSO, LOPES, 2010).

### 2.4.1 Provas de carga estática

A prova de carga estática constitui, atualmente, o único processo capaz de fornecer um valor da capacidade de carga de uma estaca considerada individualmente. Na figura abaixo apresenta-se o esquema de montagem.

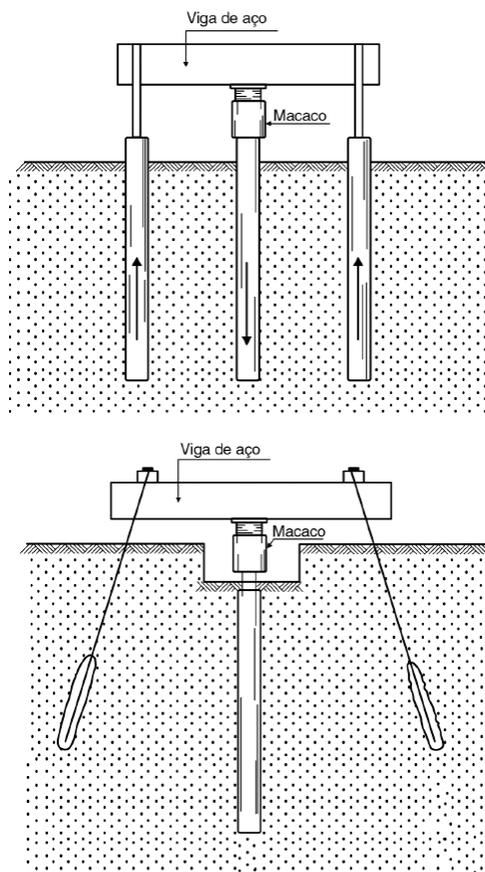
Figura 5: Esquema de montagem de prova estática



Fonte: Caputo e Caputo (2017).

Cada vez mais as provas de carga têm sido instrumentadas, o que permite conhecer a parcela de ponta e atrito lateral da estaca. Vários são os dispositivos de montagem de uma prova de carga, conforme pode ser verificado na figura abaixo, a qual se distingue técnicas para sua execução. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

Figura 6: técnicas de execução



Fonte: Caputo e Caputo (2017).

A NBR 6122/2010 estabelece as condições para execução de provas de carga em estacas. Segundo ainda a NBR 6122/2010, o desempenho de uma estaca é considerado satisfatório quando forem verificadas, simultaneamente, as seguintes condições: a) fator de segurança no mínimo igual a 2,0 com relação à carga de ruptura obtida na prova de carga ou por sua extrapolação; b) recalque na carga de trabalho for admissível pela estrutura. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

Conclui-se, daí, que o emprego de provas de carga sem o conhecimento da natureza do subsolo pode conduzir a resultados completamente errôneos. Apesar de onerosas, as provas de carga serão, sob o ponto de vista de fundações, úteis na medida em que nos asseguramos — através de sondagens — de que as características do terreno são homogêneas ou, então, melhoram com a profundidade. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

O ensaio de carga em estaca é outro método para determinar a capacidade de carga da estaca. Em geral, a confiança dos ensaios de carga em estacas de um local é maior que a de outros métodos de estimativa da capacidade de carga da estaca. Os resultados dos ensaios de carga em estaca são muitas vezes utilizados para verificar a capacidade de carga estimada a partir de outros métodos como, por exemplo, estáticos. (BUDHU, 2017).

As estacas são utilizadas para suportar cargas estruturais que não podem ser suportadas por fundações superficiais. Os tipos de materiais predominantes de estacas são aço, concreto e madeira. A seleção de um tipo particular de estaca depende da disponibilidade, condições do meio ambiente, métodos de instalação da estaca e custo. A capacidade de carga de uma estaca não pode ser determinada com precisão, pois o método de instalação invariavelmente altera as propriedades do solo nas proximidades da estaca. Não se sabe a extensão destas alterações. As equações para capacidades de carga e recalques são, na melhor das hipóteses, estimativas. As capacidades de carga a partir de ensaios de carga são preferidas, mas estes ensaios, além de onerosos, podem apresentar bom custo-benefício apenas para projetos grandes. (BUDHU, 2017).

#### **2.4.2 Prova de carga dinâmico**

O ensaio visa à avaliação de cargas mobilizadas na interface solo-estaca, fundamentada na aplicação da Teoria da Equação da Onda Unidimensional. Neste ensaio, normatizado pela NBR 13208/2007, o atrito lateral é sempre positivo, ainda que venha a ser negativo ao longo da vida útil da estaca. Este ensaio tem sido bastante utilizado, embora algumas vezes de forma equivocada, substituindo a prova de carga estática. (MILITITSKY, 2015).

Quanto às *fórmulas dinâmicas*, sabemos que a confiabilidade dos valores por elas fornecidos é assunto muito discutido, pelo que, hoje, as fórmulas dinâmicas são utilizadas mais como elemento de controle da execução de um estaqueamento. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

As *fórmulas dinâmicas*, usadas há mais de um século, baseiam-se na medida da nega e da energia de cravação, normalmente tomadas de maneira grosseira. A restrição básica, porém, fundamenta-se no fato de que elas fornecem a resistência em função de uma carga dinâmica, enquanto a estaca trabalhará sob uma carga estática. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

As fórmulas dinâmicas, associadas com outros processos, resultam, no entanto, de valor para o acompanhamento e controle de um estaqueamento, revelando qualquer heterogeneidade oculta no terreno não detectado pelos estudos geotécnicos prévios. Assim procedendo, pode-se evitar situações como em que lentes de material resistente, dispersas no terreno, deixaram as estacas em diferentes profundidades, ocasionando no futuro recalques diferenciais que certamente comprometeriam a estabilidade da obra. O controle através das negas é também aconselhável para não se cavar demasiadamente a estaca, o que poderá prejudicá-la estruturalmente (MILITITSKY, 2015).

O projeto e a execução das fundações e da infraestrutura de uma obra constituem, via de regra, problemas relativamente complexos. Eles envolvem como já mencionados, amplos estudos geotécnicos, verificação da existência de níveis d'água, constatação de obras enterradas, (galerias, condutos) e fundações remanescentes, condições das edificações vizinhas, questões relativas à erosão (no caso de obras de arte), equipamentos adequados, aspectos estruturais e custos, entre outros. Em se tratando de edificações urbanas, hoje se acrescenta, ainda, a preocupação quanto a trabalhos para execução do metrô nas proximidades da obra em estudo. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

Como toda fundação tem que assegurar a permanente estabilidade da obra que suporta e, durante sua execução, manter a integridade das obras vizinhas, verifica-se que todos esses problemas devem ser conveniente e prudentemente considerados. (YAZIGI, 2009).

Na fase de projeto, ou seja, quando da escolha do tipo de fundação (*superficial* ou *profunda*) e do seu dimensionamento (como elemento estrutural), deve-se levar em conta, diante da natureza do terreno e das cargas transmitidas pela estrutura, um coeficiente de segurança adequado, a fim de que não ocorra a ruptura do terreno (com o colapso da obra) e nem deformações ou recalques excessivos (incompatíveis com a concepção estrutural). (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

Quando da execução, dever-se-á, em especial, atentar para as questões relativas ao rebaixamento do nível d'água, escavação e escoramento das cavas, e ainda, se for o caso, o escoramento dos prédios vizinhos ou até mesmo o prévio reforço das suas fundações. Daí os diversos equipamentos e processos executivos existentes (CINTRA, 2010).

Tal como ocorreu nos últimos anos na construção de estradas, também na execução de infraestruturas os recursos da mecanização, propiciando toda uma gama de processos executivos novos, têm tornado técnica e economicamente viável a realização de obra de grande vulto em “prazos” relativamente pequenos (o que, atualmente, é um fator importante a ser considerado (BUDHU, 2017).

Somente por meio de um judicioso processo, que atenda à natureza do terreno, às cargas e ao tipo de estrutura, e da conveniente adoção de um processo executivo que minimize os efeitos decorrentes da perturbação das condições locais, poder-se-ão executar trabalhos de fundações e infraestruturas em condições efetivamente seguras e econômicas. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

Para alcançar esses objetivos, utilizam-se, na fase de projeto, os conhecimentos da Geotécnica e de Cálculo Estrutural e, na fase de execução, lança-se mão dos equipamentos modernos, dos processos executivos consagrados pela experiência e dos métodos de controle da qualidade dos materiais.

Ainda assim não se deve desprezar, quando for o caso, a observação da obra durante e após o seu término, com tripla finalidade: ajustagem do projeto diante de condições imprevistas, verificação do comportamento da obra e coleta de dados com vista ao aperfeiçoamento da tecnologia brasileira no campo da Engenharia de Fundações. (CAPUTO; CAPUTO, 2017).

## 2.6 MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO QUANTO À PROVA DE CARGAS ESTÁTICAS

Para a obtenção da estimativa da capacidade de carga de uma estaca, ao menos para os estágios preliminares de projeto, se recorre à estática, experiência e a correlações utilizando resultados de ensaios de laboratório e de campo (BUDHU, 2017).

É importante a aplicação de métodos de interpretação quanto à prova de cargas estáticas, visto que, o resultado é considerado a resposta definitiva, e resultados errôneos podem desencadear grandes prejuízos, além de erros técnicos e operacionais (CINTRA, 2010).

A Prova de Carga Estática é a técnica mais tradicional de ensaio para a determinação da capacidade de carga de estacas. Este ensaio consiste, basicamente, em aplicar esforços estáticos crescentes à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais de tração, compressão ou transversais (CINTRA; AOKI; TSURA, GIACHETI, 2013).

Na Prova de Carga Estática, o elemento da fundação é solicitado por um ou mais macacos hidráulicos, empregando-se um sistema de reação estável. Para tanto, é comum o uso de vigas metálicas e ancoragens embutidas no terreno. Consiste basicamente em aplicar esforços estáticos crescentes à estaca e registrar os deslocamentos correspondentes (NBR 12.131/92).

O tipo de ensaio mais comum envolve a aplicação de carregamentos de compressão à estaca, em estágios crescentes, registrando-se os deslocamentos correspondentes. O conjunto constituído pela estaca, macaco hidráulico e sistema de reação deve ser projetado e montado de modo a se garantir que a carga aplicada atue na direção desejada. É importante ainda assegurar que o carregamento previsto seja alcançado com sucesso. A análise dos dados obtidos em campo traz informações importantes, tais como, curva carga x deslocamento, capacidade de carga da estaca, recalque associado à carga de trabalho, parcelas de resistência de ponta e atrito lateral, coeficiente de segurança do estaqueamento. O fato de se conseguir simular, em verdadeira grandeza, os carregamentos reais de uma construção, observando a resposta da fundação a essas cargas (NBR-6122/10).

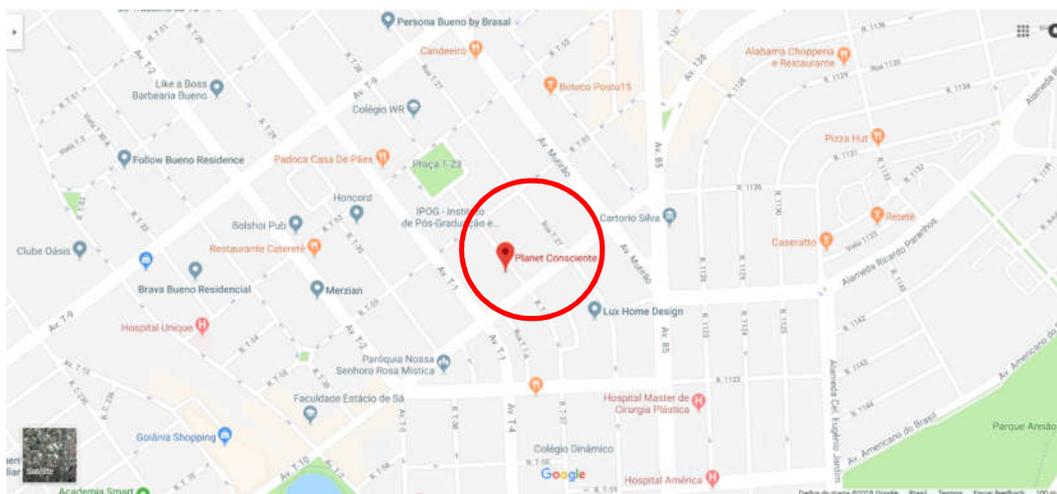
Segundo a NBR 12 131 / 2006 essas provas de cargas estáticas devem ser realizadas na fase de projeto, sendo fundamental a presença do projetista em todas as etapas do ensaio, tendo dados de especificação, dimensionamento, execução e por fim análise dos resultados (CAPUTO, 2017).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 DADOS DA OBRA

Este estudo de caso contém os resultados das provas de carga realizadas sobre as estacas BD e AZ pertencentes ao bloco central da fundação (P8,P9,P10,P12...), ambas do tipo hélice contínua, nomeadas neste relatório como ensaios PC1 e PC2, situadas na obra de construção do Residencial Planet Consciente Garden, localizado na rua T-34, Qd. 104, Lt. 13/15, St. Bueno, Goiânia – GO.

Figura 7: Residencial Planet Consciente Garden, localizado na rua T-34, Qd. 104, Lt. 13/15, St. Bueno, Goiânia



Fonte: Google Maps, 2018

Os ensaios e o presente relatório são de interesse da empresa: Consciente Construtora E Incorp. SPE 008 Ltda.

Neste estudo de caso são apresentados os gráficos carga x recalque com as cargas em escala aritmética, além dos gráficos tempo x deslocamento para cada estágio de carga aplicado às estacas. Complementarmente, também é apresentada uma avaliação da carga de ruptura das estacas ensaiadas por meio da metodologia proposta pela NBR 6122/2010. Destaca-se que a locação do ensaio foi realizada pela contratada em comum acordo com o a contratante e a projetista.

### 3.2 MÉTODOS PARA ANÁLISE DO CASO

Como previamente visto na metodologia desse trabalho, foi realizado um estudo de caso em uma obra vertical situada na cidade de Goiânia GO, onde foi realizado provas de carga estática. Em seguida analisou-se se estas atenderam aos requisitos estabelecidos pela NBR 6122/ 2010 e NBR 12131:2005 – Estacas – Prova de carga estática. Assim, o presente estudo realizou uma análise comparativa quanto à técnica empregada para avaliação de previsão de capacidade de carga (estática) de acordo com as normas brasileiras.

Foi necessário um levantamento dos aspectos geológicos, geotécnico do local, sondagem a percussão SPT e estaqueamento.

Utilizou-se de comparação dos resultados das provas de carga estática de acordo com apontamentos de previsão da capacidade de carga utilizando valores do ensaio de SPT e os métodos de Aoki-Velloso (1975) e do Décourt-Quaresma (1978, 1982), devido estes serem utilizados amplamente em projetos de fundação. Para as prova de capacidade de cargas estáticas foram escolhidas 2 (duas) estacas para realizar o ensaio.

Figura 8: equipamentos prontos para realizar a prova de carga

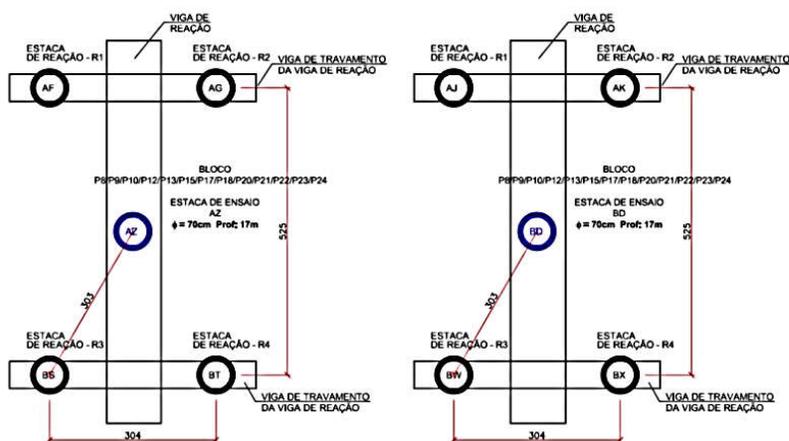


Fonte: elaborado pelo autor

Adotou-se como sistema de reação para as estacas ensaiadas, uma viga metálica de 6 metros de comprimento 110 cm de altura e 50 cm de espessura, ancorada em barras de aço

comum, concretadas no interior de estacas de reação tipo hélice contínua. Foram executadas duas estacas em cada extremidade da viga (Figura 9 e 10). Sobre as estacas de ensaio foram confeccionados blocos de coroamento com seção de 0,9 m x 0,9 m e 0,9 m de altura. O sistema de reação foi executado pela contratante e as informações sobre os elementos de reação e sobre as estacas ensaiadas por ela fornecidas. As características das estacas ensaiadas estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 9: Desenho esquemático da configuração de montagem dos ensaios



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 10: Montagem do sistema de reação, aplicação de carga e medição dos deslocamentos



Fonte: elaborado pelo autor

**Tabela 1: Características das estacas ensaiadas**

Prova de	Estaca	Tipo	Diâmetro (m)	Comprimento	Data do Ensaio
----------	--------	------	--------------	-------------	----------------

Carga		de projeto (m)			
PC1	BD	Hélice Contínua	0,70	17,0	10/10/2017
PC2	AZ	Hélice Contínua	0,70	17,0	12/10/2017

Fonte: elaborado pelo autor

As provas de carga realizadas foram do tipo estática lenta a compressão, seguindo as prescrições da NBR 12131/2006. O carregamento foi iniciado por uma carga de contato, passando-se a seguir a um carregamento correspondente a no máximo 20% da carga de projeto da estaca ensaiada. Os demais estágios foram incrementados também com um carregamento equivalente a no máximo 20% da carga de projeto da estaca ensaiada, sempre em relação ao estágio anterior. Após a estabilização dos deslocamentos dos últimos estágios de carga, os ensaios foram descarregados em 5 estágios monitorados. Destaca-se que para o ensaio PC2, antes do processo de descarregamento, o sistema foi mantido sob carga constante por um período de 12 horas. A Tabela 2 apresenta o carregamento máximo aplicado as estacas ensaiadas.

**Tabela 2: Cargas aplicadas aos ensaios.**

Prova de Carga	Carga Final do Ensaio (tf)	Tipo	Diâmetro (m)	Carga de Projeto <sup>1</sup>	FM <sup>2</sup>
PC1	405	Hélice Contínua	0,70	230	1,76
PC2	450	Hélice Contínua	0,70	230	1,96

1 – Segundo informações do projeto de fundações;

2 – FM – Fator de majoração em relação a carga de projeto das estacas.

Fonte: elaborado pelo autor

**Figura 11: realizando prova de carga, aplicando carga na estaca de ensaio**



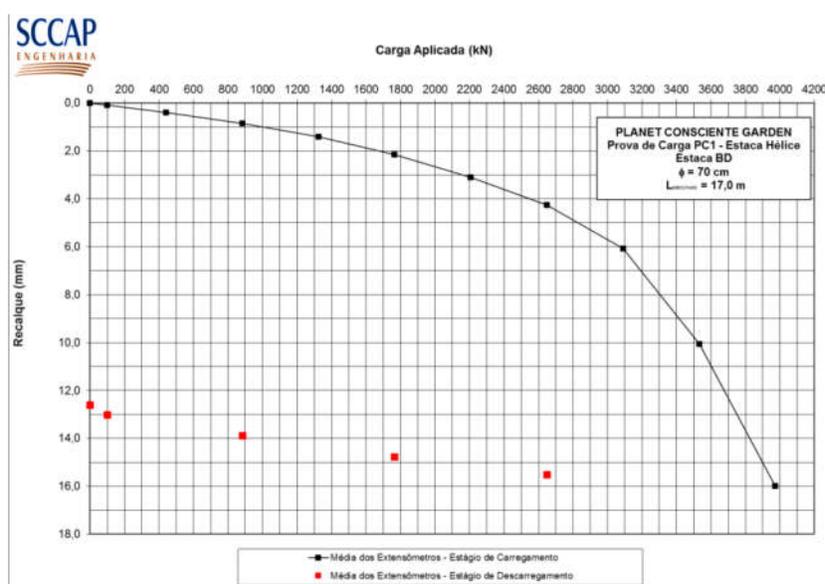
Fonte: elaborado pelo autor

Objetivando ser conclusivo sobre os resultados obtidos, fez-se uma série de análise dos resultados da prova de carga.

### 3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO DA PROVA DE CARGA

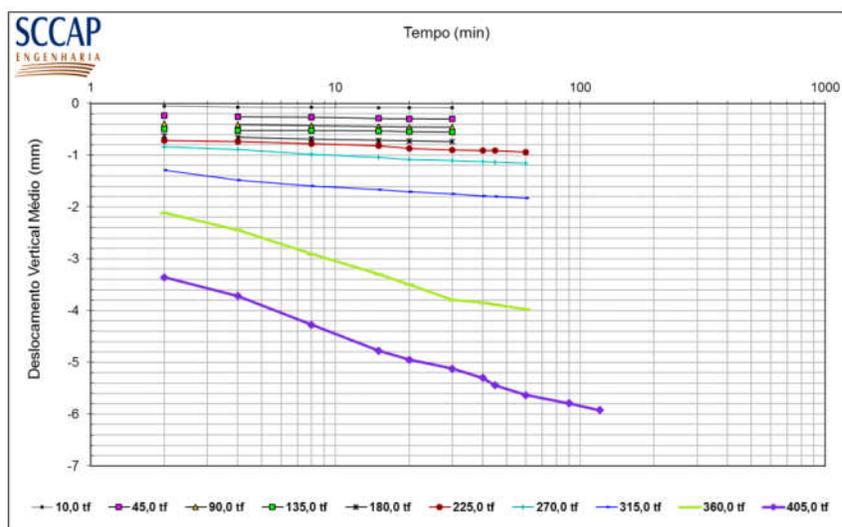
As Figuras de 12 a 16 mostram para as estacas ensaiadas, os resultados em termos do recalque último medido em função da carga aplicada, as Tabelas 3 e 4 apresentam os valores dos deslocamentos medidos no topo das estacas.

Figura 12: Curva carga x recalque, média dos medidores de deslocamento – Estaca PC1.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 13: Curvas tempo x deslocamento – Estaca PC1



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 3: Deslocamentos medidos no topo da estaca PC1.

Carga (tf)	Carga (kN)	Deslocamento Vertical				Média (mm)
		E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	98,10	-0,08	-0,09	-0,08	-0,09	-0,09
45,00	441,45	-0,40	-0,38	-0,38	-0,38	-0,39
90,00	882,90	-0,91	-0,83	-0,82	-0,84	-0,85
135,00	1324,35	-1,53	-1,38	-1,36	-1,36	-1,41
180,00	1765,80	-2,26	-2,10	-2,09	-2,13	-2,15
225,00	2207,25	-3,28	-2,99	-2,96	-3,13	-3,09
270,00	2648,70	-4,40	-4,15	-4,14	-4,31	-4,25
315,00	3090,15	-6,13	-5,88	-6,03	-6,28	-6,08
360,00	3531,60	-10,20	-9,74	-9,97	-10,30	-10,05
405,00	3973,05	-15,92	-15,63	-16,03	-16,33	-15,98
270,00	2648,70	-15,43	-15,22	-15,52	-15,85	-15,51
180,00	1765,80	-14,68	-14,46	-14,81	-15,13	-14,77
90,00	882,90	-13,68	-13,56	-13,92	-14,32	-13,87
10,00	98,10	-12,91	-12,68	-13,14	-13,34	-13,02
0,00	0,00	-12,37	-12,31	-12,71	-13,02	-12,60

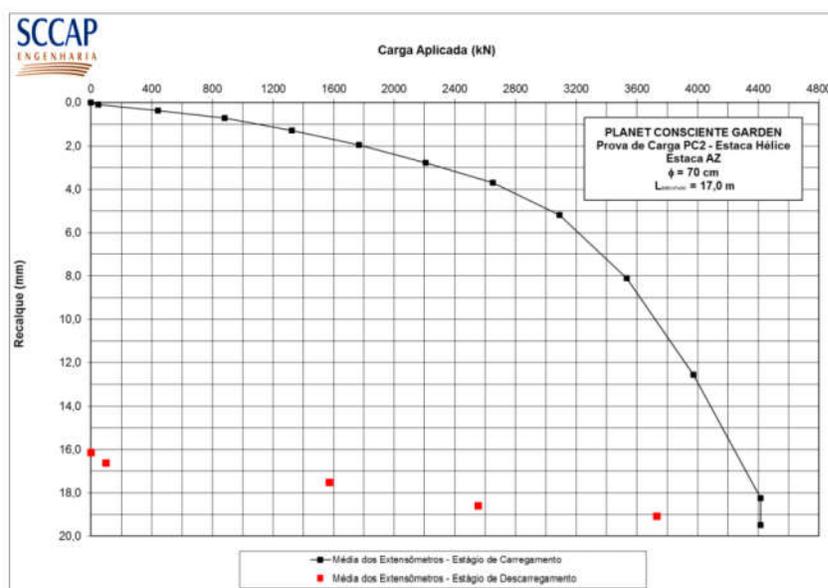
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14: Foto da realização da prova de carga 1 e detalhe das estacas prontas para realizar a prova de carga 2



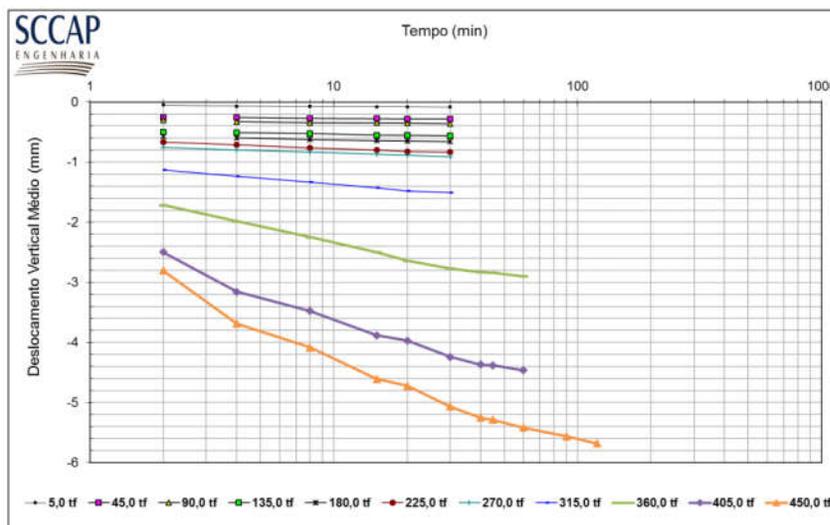
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 15: Curva carga x recalque, média dos medidores de deslocamento – Estaca PC2.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 16: Curvas tempo x deslocamento – Estaca PC2.



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 4: Deslocamentos medidos no topo da estaca PC2.

Carga (tf)	Carga (kN)	Deslocamento Vertical					Média (mm)
		E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	E4 (mm)		
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,00	49,05	-0,08	-0,09	-0,08	-0,09	-0,09	
45,00	441,45	-0,44	-0,44	-0,40	-0,18	-0,37	
90,00	882,90	-0,90	-0,97	-0,80	-0,23	-0,73	
135,00	1324,35	-1,42	-1,58	-1,41	-0,75	-1,29	
180,00	1765,80	-2,01	-2,24	-2,18	-1,36	-1,95	
225,00	2207,25	-2,81	-3,09	-3,08	-2,15	-2,78	
270,00	2648,70	-3,65	-3,99	-4,11	-3,04	-3,70	
315,00	3090,15	-5,09	-5,51	-5,69	-4,51	-5,20	
360,00	3531,60	-7,88	-8,41	-8,67	-7,44	-8,10	
405,00	3973,05	-11,81	-13,33	-13,20	-11,91	-12,56	
450,00	4414,50	-18,33	-18,97	-18,39	-17,28	-18,24	
450,00	4414,50	-19,58	-19,99	-19,38	-18,95	-19,48	
380,00	3727,80	-19,16	-19,54	-18,99	-18,57	-19,07	
260,00	2550,60	-18,73	-19,05	-18,48	-18,12	-18,60	
160,00	1569,60	-17,73	-17,95	-17,28	-17,06	-17,51	
10,00	98,10	-16,77	-17,25	-16,39	-16,09	-16,63	
0,00	0,00	-16,47	-16,67	-15,74	-15,64	-16,13	

Fonte: elaborado pelo autor

As Figuras 17 e 18 apresentadas para as provas de carga realizadas, o critério de ruptura usualmente adotado pela engenharia de fundações na avaliação dos resultados de

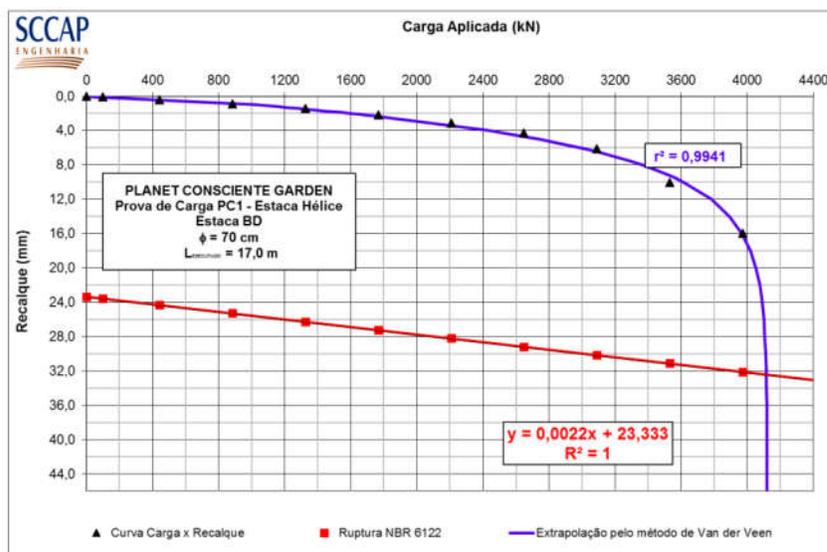
provas de carga, sendo o critério apresentado pela NBR 6122/2010 que define a ruptura da estaca quando a reta formada pela equação:

### Equação 2

$$P.L/E.A + D/30$$

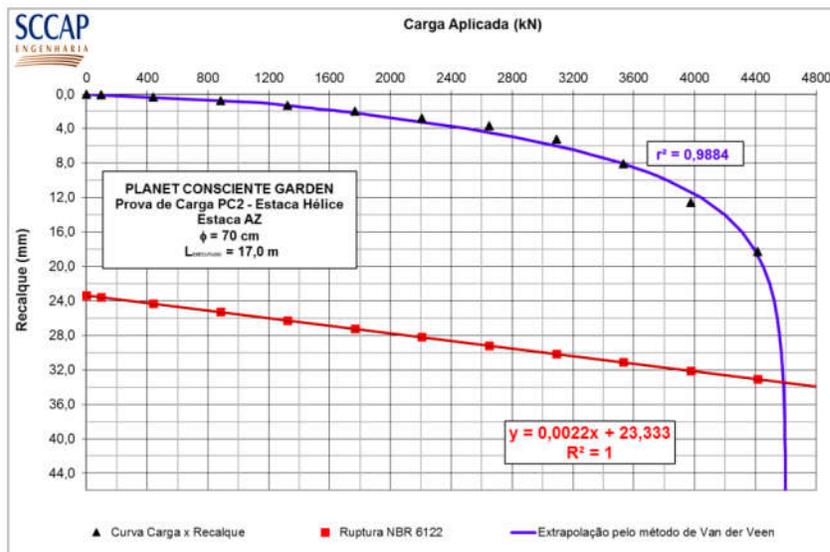
Intercepta a curva carga x recalque da estaca. Destaca-se que, para a apresentação do critério citado acima, a curva carga x recalque dos ensaios realizados foram extrapoladas fazendo-se o uso do método de Van der Veen (1953). É importante salientar que a apresentação deste critério neste relatório tem por fim única e exclusivamente informar ao cliente as condições de carga última das estacas ensaiadas, não sendo a intenção do corpo técnico da SCCAP Engenharia definir o critério de ruptura a ser adotado na obra, pois esta é uma decisão a ser tomada pelo projetista em comum acordo com o construtor. Além do que, outros fatores podem ser levados em consideração para definição dos deslocamentos verticais admissíveis para as estacas, tais como, os recalques diferenciais e distorcionais permitidos pelas normas de projeto estrutural e de desempenho de estruturas de concreto armado.

Figura 17: Curva carga x recalque – Critérios de ruptura – PC1.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18: Curva carga x recalque – Critérios de ruptura – PC2.



Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 5 apresenta para as provas de carga realizadas o valor da carga de ruptura pelo critério apresentado acima.

**Tabela 5: Carga de ruptura – critério usual da engenharia de fundações**

Prova de Carga	Carga de Ruptura (tf)	
	Critério – NBR 6122/2010	Fator de Segurança em Relação as Cargas de Projeto das Estacas
PC1	420	1,83
PC2	470	2,04

Fonte: elaborado pelo autor

O conjunto de resultados apresentados mostra-se coerente e poderá subsidiar o projetista e o executor na definição do comportamento das fundações profundas sob carregamentos verticais a compressão. Destaca-se que, considerando a carga de “ruptura” definida pelo método apresentado nas Figuras 17 e 18, o fator de segurança em relação as cargas de trabalho foram, para as estacas dos ensaios PC1 e PC2, respectivamente 1,83 e 2,04, que são em ambos os casos superiores ao fator de segurança mínimo exigido pela NBR 6122/2010 norma brasileira de fundações em avaliações por meio de provas de carga.

Destaca-se que apesar da apresentação nesse relatório dos critérios de ruptura por meio da metodologia proposta pela NBR 6122 / 2010, cabe ao projetista de fundações definir

se as análises aqui apresentadas devem ser ou não consideradas na avaliação do estaqueamento da obra, lembrando que os ensaios foram conduzidos levando-se em consideração as cargas de projeto das estacas (230tf). Porém, as cargas efetivas de trabalho (carga do pilar dividida pelo número de estacas no bloco) são em geral inferiores as de projeto, e dependem de fatores tais como posição da estaca dentro do bloco e a rigidez atribuída à estaca nas premissas de projetos dos blocos que trabalham como *radier* estaqueado.

Outros fatores externos ao projeto, tais como, consumo de concreto e pressões de concretagem utilizadas na instalação das estacas, também podem influenciar no comportamento das estacas da obra, e devem ser avaliados em âmbito global. Sendo assim as análises aqui apresentadas devem ser validadas pelo projetista das fundações.

## CONCLUSÃO

Ficou confirmado ao longo da pesquisa, assim como visto nas notas introdutórias que, que ao iniciar o projeto de uma determinada obra, é fundamental que o profissional engenheiro avalie vários aspectos, e um dos mais relevantes refere-se ao conhecimento do solo e suas características. É a partir desse conhecimento que o profissional desenvolverá o projeto e optará pelos melhores métodos quanto à segurança e qualidade.

Pode-se destacar a afirmação de que, embora existam métodos teóricos e semiempíricos para determinação da capacidade de carga em estacas, a realização do ensaio de Prova de Carga Estática apresenta-se como a maneira mais confiável de dimensionar e/ou conferir as cargas de projeto de uma fundação profunda, sendo o método que representa de forma real o comportamento de uma fundação profunda (estaca).

Foi possível atingir o objetivo dessa pesquisa que era ressaltar a aplicação de prova com energia crescente em análise de mobilização e resistência do sistema estaca-solo, por meio de carga estática de diferentes estágios de carregamento, abordando, inclusive, um estudo de caso em uma obra vertical situada na cidade de Goiânia GO, onde foi realizado provas de carga estática. Analisou-se o atendimento aos requisitos estabelecidos pela NBR 6122/ 2010 e NBR 12131:2005 – Estacas – Prova de carga estática. Assim, o presente estudo realizou uma análise comparativa quanto à técnica empregada para avaliação de previsão de capacidade de carga (estática) de acordo com as normas brasileiras.

Foram utilizados comparação dos resultados das provas de carga estática de acordo com apontamentos de previsão da capacidade de carga utilizando valores do ensaio de SPT e os métodos de Aoki-Velloso (1975) e do Décourt-Quaresma (1978, 1982), devido estes serem utilizados amplamente em projetos de fundação.

Os resultados demonstraram que, e o relatório técnico de validação (Anexo 1) confirma, que o projeto tem todas as informações necessárias para a execução, as estacas estão bem posicionadas. O relatório técnico de validação avalia a obra com o fator segurança global significativa.

Através do estudo foi possível concluir brevemente que ao iniciar obra é fundamental levantamento topográfico, geológicos, geotécnicos e também perfil da obra que será executada, para então decidir sistema de estrutura e cargas necessárias (fundações). É importante que o profissional engenheiro leve em consideração a magnitude das cargas que a obra geotécnica deve suportar, pois cada tipo de carga ou combinação destas pode apresentar respostas diferentes.

Vale reiterar que há duas classes de cargas, sendo a estática, e a dinâmica. Dessa forma, cada qual apresenta provas de cargas diferentes, no caso de prova estática esta busca resposta definitiva e eliminação de erros que possam causar prejuízos a obra devido erros técnicos e operacionais.

## REFERÊNCIAS

AOKI, N.; VELLOSO, D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles.** In: PAN AMERICAN CSMFE, 5., 1975, Buenos Aires. Proceeding. Buenos Aires, 1975. v 1, p367-376.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control.** Faculty of Engineering, The University of Birmingham. Birmingham, 2000.

BARROS, Carolina. **Apostila de Edificações.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IFET. Pelotas, 2011.

BUDHU, Muni. **Fundações e estruturas de contenção.** 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPÚTO, J. Martinho. **Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra.** 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CINTRA, José Carlos A. **Fundações por estacas: projeto geotécnico.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

COSTA, Carlos Alexandre da. Sob governo do PSL, **Minha Casa Minha Vida vira Casa Brasileira.** Disponível em: <https://noticias.r7.com/eleicoes-2018/sob-governo-do-psl-minha-casa-minha-vida-vira-casa-brasileira-19102018>. Acesso em: 08/2019.

DÉCOURT, L.; QUARESMA, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. In: CBMSEF, 6, 1978, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1978. V. 1, p. 45-53.

DIEESE. **Dados recentes spread de risco.** Disponível em: <https://www.dieese.org.br/livro/2012/livroSituacaoTrabalhoBrasil.pdf>. Acesso em: 08/2019.

DUHAN, S; LEVY, M; POWELL, P. Information systems strategies in knowledge-based SMEs: the role of core competencies. **European Journal of Information Systems** 10, p. 25-40, 2001.

EXAME. **Nobel premia trajetórias dedicadas a prever futuro de preços.** Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/nobel-premia-trajetorias-dedicadas-a-prever-futuro-de-precos>. Acesso em: 09/2018..

EXAME. **Pesquisa de imóveis do Ibope 2011.** Disponível em: <http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/noticias/pesquisa-de-imoveis-do-ibope-2011-rio-de-janeiro>. Acesso em: 09/2018.

FERREIRA, Marcelo Menando. **Estudo de fundação: Execução de sapata de grande dimensão.** Brasil 2009

GEHBAUER, F.; EGGENSPERGER, M.; ALBERTI, M. E.; NEWTON, S. A. Planejamento e gestão de obras: um resultado prático da cooperação técnica Brasil-Alemanha. Curitiba: Editora CEFET-PR, 2002.

IPEA. **Déficit Habitacional.** Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20656](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=20656)

Déficit Habitacional, Acesso em: Acesso em: 09/2018.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Sociedade e economia: estratégias de crescimento e desenvolvimento / organizadores.** Brasília : Ipea, 2009.

JOPPERT Jr, I. **Fundações e contenções de edifícios.** São Paulo – SP: Pini, 2008. 221p.

MAGALHÃES, P.H.L. **Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque de estacas hélice contínua via provas de carga.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MARCHEZINI, Silva Fava. Comparação entre Métodos Estáticos e Dinâmicos de Previsão de Capacidade de Carga em Estacas Assentes em Solo Tropical. **Dissertação de Mestrado** - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2013.

MARQUES JUNIOR, Luiz José; PLONSKI, Guilherme Ary. Gestão de projetos em empresas no Brasil: abordagem "tamanho único?". **Gest. Prod.**, São Carlos , v. 18, n. 1, 2011 .

MILITITSKY, Jarbas. **Patologias das fundações.** 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

NBR 12131/2006. **Estacas – Prova de carga estática.** Disponível em: <https://edoc.site/nbr-12131-2006-estacas-prova-de-carga-estatica-metodo-de-ensaio-pdf-free.html>. Acesso em: 08/2019.

NBR 12131:2005 – **Estacas – Prova de carga estática – Método de ensaio**

NBR 6122. **Projeto e execução de fundações,** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2010.

NBR. 8681. 2002. Comitê Brasileiro de Construção CivilCE-02:124.15 - **Comissão de Estudo de Estruturas de Concreto Simples, Armado e Protendido.**

NOGUEIRA, Corrêa Celso. **Prova de Carga Estática Prévia em Estaca Hélice Contínua Monitorada no Interior do Estado de São Paulo.** XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica O Futuro Sustentável do Brasil passa por Minas COBRAMSEG 2016.

PMBOK. **Project Management Institute.** Um Guia do Conjunto de Conhecimento do Gerenciamento de Projetos – PMBOK Guide. Edição 2014.

PMI, **Project Management Institute. Organizational Project Management Maturity Model (OPM3).** Project Management Institute Inc, 2003.

RUIZ, Carlos Cezar de La Plata. **Fundamentos de mecânica para engenharia : estática / Carlos Cezar de La Plata Ruiz ; organização Nival Nunes de Almeida.** 1. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2017.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção,** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002

TAKAHASHI, Tadao. 2012. **Sociedade da Informação no Brasil**: Livro Verde. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/18940.html>. Acesso em: 09/2018.

VAN DER VEEN, C. **Bearing capacity of a pile**. In: International conference soil mechanics foundation engineering, 3., 1953, Zurich. Proceedings... Zurich, 1953. v. 2.

VARGAS, Ricardo Viana. **Gerenciamento de Projetos**: estabelecendo diferenciais competitivos. 5.ed.Rio de Janeiro, Ed. Brasport, 2005.

VELLOSO, Dirceu Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **Fundações**. São Paulo: Saraiva, 2010.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**. 10 ed. São Paulo: Pini, 2009.

## **ANEXOS**

### **Anexo 1 –**



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Geneveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

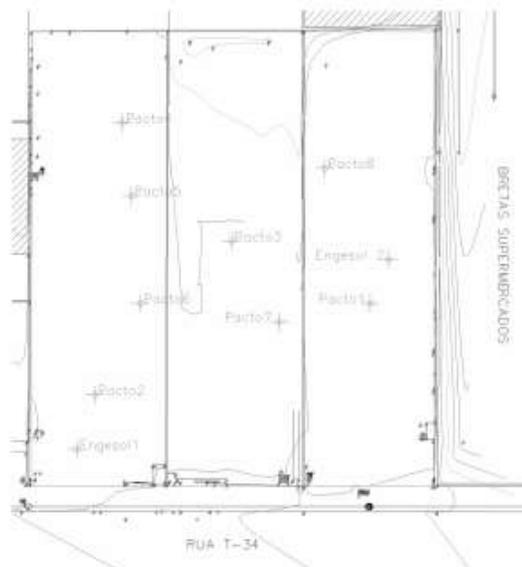


Figura 1 – Localização das sondagens

Na Figura 2 mostra a capacidade de carga, para a estaca da prova de carga e para cada diâmetro e profundidade adotado em projeto, considerando os 2 furos de sondagem da Engesol e 5 furos da Pacto (SP2, SP3, SP5, SP7, SP8) foram descartados o SP4 e SP6 devido a pequena profundidade alcançada, o SP1 devido a grande diferença de resultados com a média das sondagens.

O método de cálculo é a média entre Antunes & Cabral (1996) e Decourt & Quaresma (1978/82/87/96). Para furos de sondagem que atingiram o impenetrável antes da profundidade de projeto, foi considerado o Nspt de 40 golpes até a profundidade necessária.

Estaca / Sondagem	Eng1	Eng2	Pacto1	Pacto2	Pacto3	Pacto5	Pacto7	Pacto8	média sem Pacto1
Prova de carga diam. 70 - 17m	230	212	149	232	224	189	208	194	<b>213</b>
diam 60, prof. 16m-4m iniciais	165	163	114	176	170	148	160	150	<b>162</b>
diam 70, prof. 17m-4m iniciais	201	200	139	215	207	181	196	184	<b>198</b>
diam 70, prof. 16m-4m iniciais	187	185	122	201	194	166	182	170	<b>184</b>
diam 70, prof. 13m-4m iniciais	145	143	107	159	149	115	134	121	<b>138</b>

Figura 2 – Capacidade de carga das estacas



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Geneveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

Para todas as estacas da obra, exceto a da prova de carga, foi considerado um corte inicial de 4m sem solo, no bloco de 107 estacas devido ao poço do elevador e altura do bloco, e nos demais devido ao processo executivo que o solo abaixo do radier perde resistência.

### 3.2. Análise das estacas e blocos.

Para o quadro de cargas do projeto de estruturas apresentado, a pior situação de carregamento foi a do Fz máximo, e os resultados apresentados a seguir serão para essa situação.

Para a análise do projeto de fundações foi utilizado o programa de análise numérica Garp, que considera a interação entre os elementos da fundação, permite a caracterização do perfil do solo por camadas, pode trabalhar com radier com altura e formato variados.

#### A – Bloco P1/P2/P6, P4/P5/P7, P25/P27/29 e P26/P28/P31/P63

Na verificação do bloco isoladamente, o recalque estimado para cada pilar é de 1.5cm. O fator de segurança das estacas individualmente somente em 2 casos é 1.48 e 1.46, porém o FS global do conjunto de estacas e radier é 3.06.

A armação de todas as estacas passam para as cargas solicitadas.

A armação dos blocos é calculada conforme o momento no interior do bloco. As armações dos blocos estão bem dimensionadas. Segue abaixo o momento no bloco nas duas direções.

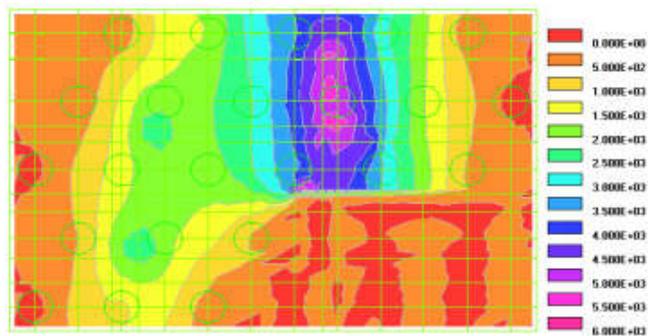


Figura 3 - Momento My (kN.m/m)



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Geneveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

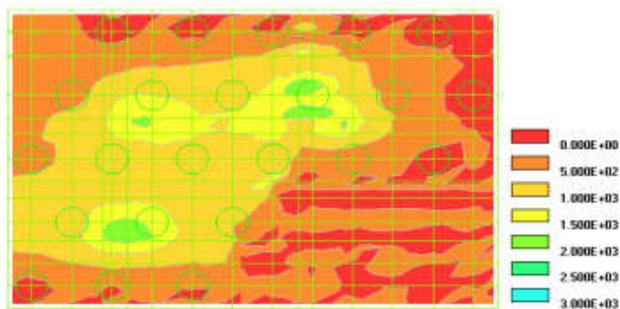


Figura 4 - Momento Mx (kN.m/m)

Trecho (projeto)	Momento (kN.m/m)	Área de aço necessária	Utilizou no projeto
Trecho A1	2.000	147cm <sup>2</sup>	200cm <sup>2</sup>
Trecho A2	5.000	383cm <sup>2</sup>	400cm <sup>2</sup>
Trecho B	2.000	109cm <sup>2</sup>	152cm <sup>2</sup>
Trecho C	1.500	117cm <sup>2</sup>	170cm <sup>2</sup>
Trecho E	2.000	165cm <sup>2</sup>	250cm <sup>2</sup>

Obs.: As áreas de aço estão computadas para a largura da faixa.

#### *B – Bloco P3 e P30*

Na verificação do bloco isoladamente, o recalque estimado para cada pilar é de 1.3cm. O fator de segurança das estacas individualmente estão todos acima de 1.6 e o FS global do conjunto de estacas e radier é 2.21.

A armação de todas as estacas passam para as cargas solicitadas.

A armação dos blocos é calculada conforme o momento no interior do bloco. As armações dos blocos estão bem dimensionadas. Segue abaixo o momento no bloco nas duas direções.



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Geneveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

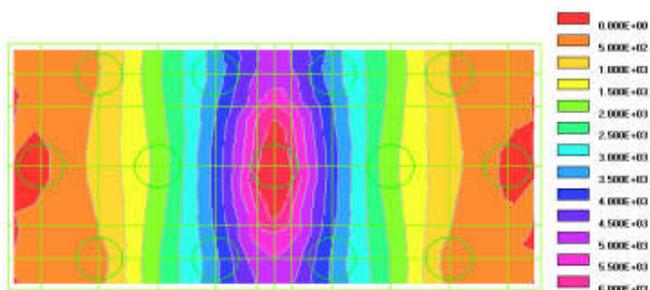


Figura 5 - Momento My (kN.m/m)

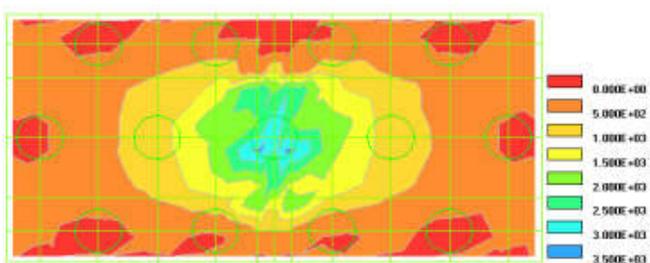


Figura 6 - Momento Mx (kN.m/m)

Trecho (projeto)	Momento	Área de aço necessária	Utilizou no projeto
Trecho A	6.000 kN.m/m	530cm <sup>2</sup>	648cm <sup>2</sup>
Trecho B1	3.000 kN.m/m (momento no pico)	504cm <sup>2</sup>	488cm <sup>2</sup>
Trecho B2	976.000kN.m (momento distribuído)	205cm <sup>2</sup>	

No trecho B como o momento varia muito pode-se calcular a armação pelo maior momento (Trecho B1) ou considerando o momento em cada distância do eixo x (trecho B2), na 1ª situação o momento necessário é bem maior que na 2ª situação. A armação de projeto passa para a 2ª situação.

#### C – Bloco P11/P16 e P14/P19

Na verificação do bloco isoladamente, o recalque estimado para cada pilar é de 1.2cm. Para o fator de segurança das estacas individualmente somente 1 estaca está com 1.47, porém o FS global do conjunto de estacas e radier é 2.91.

A armação de todas as estacas passam para as cargas solicitadas.

A armação dos blocos é calculada conforme o momento no interior do bloco. As armações dos blocos não foram conferidas, pois o detalhe deste bloco no projeto de fundações ainda não foi entregue. Segue abaixo o momento no bloco nas duas direções.

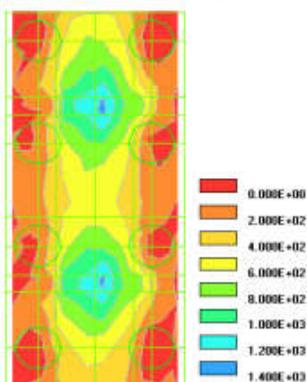


Figura 7 - Momento My (kN.m/m)

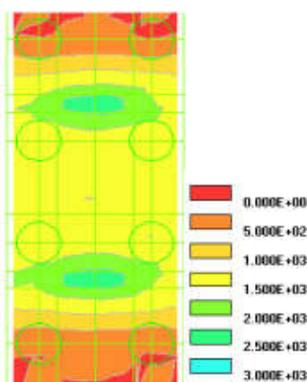


Figura 8 - Momento Mx (kN.m/m)

Trecho (projeto)	Momento	Área de aço necessária	Utilizou no projeto
Trecho A	1.200 kN.m/m	243cm <sup>2</sup>	Sem projeto
Trecho B	2.500 kN.m/m	150cm <sup>2</sup>	Sem projeto

Obs.: As áreas de aço estão computadas para a largura da faixa.



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Genoveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

*D – Bloco P8/P9/P10/P12P/P13/P15/P17/P18/P20/P21/P22/P23/P24*

Na verificação do bloco isoladamente, o recalque estimado é:

- P8, P22: 3,5,
- P9, P12, P13, P17, P18, P24: 3,2,
- P15, P20, P21: 3,8.

O fator de segurança global do conjunto de estacas e radier é 2,77.

A armação de todas as estacas passam para as cargas solicitadas, deve-se corrigir nome das armações N9 e N10 no corte genérico das estacas.

A armação dos blocos é calculada conforme o momento no interior do bloco e altura do bloco. Verificou-se a armação do bloco para a altura de projeto e com 30cm maior, não houve diferença significativa no diagrama de momentos, ou seja a armação permaneceria a mesma para essa alteração de altura. Segue abaixo o momento no bloco nas duas direções.

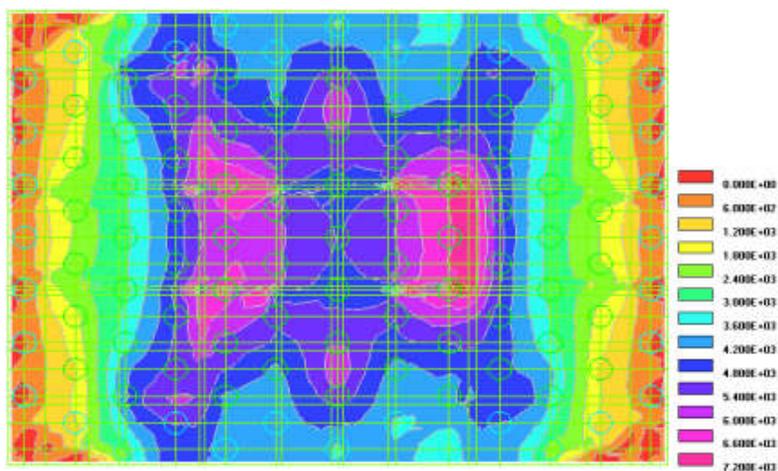


Figura 9 - Momento My (kN.m/m)



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Geneveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

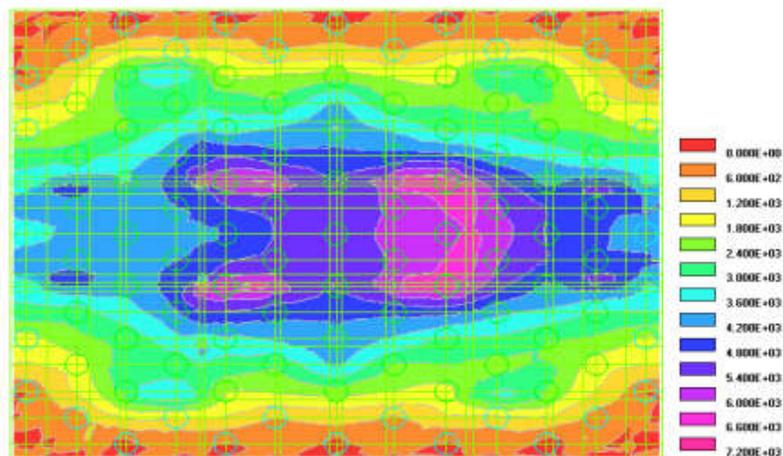


Figura 10 - Momento Mx (kN.m/m)

Trecho (projeto)	Momento (kN.m/m)	Área de aço necessária	Utilizou no projeto
Trecho A (x2)	5.000	178cm <sup>2</sup>	182cm <sup>2</sup>
Trecho B - borda	3.500	732cm <sup>2</sup>	1.014cm <sup>2</sup>
Trecho B - centro	7.000	1.464cm <sup>2</sup>	1.864cm <sup>2</sup>
Trecho C - borda	2.000	123cm <sup>2</sup>	312cm <sup>2</sup>
Trecho C - centro	4.500	278cm <sup>2</sup>	384cm <sup>2</sup>
Trecho D - borda	3.500	831cm <sup>2</sup>	1.209cm <sup>2</sup>
Trecho D - centro	6.500	1.608cm <sup>2</sup>	2.338cm <sup>2</sup>

Obs.: As áreas de aço estão computadas para a largura da faixa.

Nova sugestão de armação para o trecho C e D:

Trecho C, na borda: alterar 24Ø32mm + 24Ø25mm para 24Ø32mm,

Trecho C, no centro: manter 24Ø32mm + 24Ø32mm

Trecho D, na borda: alterar 93Ø32mm + 93Ø25mm para (x2)93Ø25mm,

Trecho D, no centro: alterar (x2)93Ø32mm+(x2)85Ø25mm para (x2)101Ø25mm ou (x2)93Ø25mm+(2x)85Ø25mm.



Av. das Indústrias, qd. 151, It 47, n. 601,  
sala 104, Setor Santa Geneveva, Goiânia-GO  
(62) 98139-2266 / 3207-4408

---

##### **5. CONCLUSÕES**

De forma geral o projeto está com todas as informações necessárias para a execução, as estacas estão bem dimensionadas e os blocos com armação suficiente, foram feitas algumas sugestões de alteração de armação conforme solicitação do contratante.

O fator de segurança global está maior que 2 em todos as fundações.

Apesar de constar no relatório o recalque de cada pilar, deverá ser realizado a estimativa de recalque da obra como um todo, para melhor avaliação da distorção angular.

Sendo o que tínhamos para o momento nos colocamos a disposição para quaisquer dúvidas.

Atenciosamente,

---

**Eng. Civil Denise Vaz de Campos, Msc Geotecnia**  
**CREA 8623/D-GO**