



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

EMANUEL SILVA PORTO

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CARGA APLICADA E RECALQUE EM
ENSAIOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA EM UMA OBRA NA CIDADE DE
ITAITUBA (PA)**

**ITAITUBA-PA
2025**

EMANUEL SILVA PORTO

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE CARGA APLICADA E RECALQUE EM
ENSAIOS DE PROVA DE CARGA ESTÁTICA EM UMA OBRA NA CIDADE DE
ITAITUBA (PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, com objetivo de êxito na conclusão do curso na Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Universitário Itaituba.

Orientadora: Prof^a Ma. Marcela Santos da Silva

**ITAITUBA-PA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- P853a Porto, Emanuel Silva
Avaliação da relação entre carga aplicada e recalque em ensaios de prova de carga estática em uma obra na cidade de Itaituba (PA) / Emanuel Silva Porto. – Itaituba (PA), 2025.
57 p.: il.
Inclui bibliografias.
- Orientador: Marcela Santos da Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus de Itaituba, Bacharelado em Engenharia Civil.
1. Prova de carga estática. 2. Estaca hélice contínua. 3. Comportamento carga-recalque. 4. Engenharia geotécnica. 5. Solos de baixa resistência. I. Silva, Marcela Santos da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 690

Bibliotecário-Documentalista: Ronne Clayton de Castro Gonçalves – CRB2/ 1410



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao vigésimo oitavo dia do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e cinco, às 10h, realizou-se de forma remota via *Google Meet* através do link: <https://meet.google.com/tuz-uyeo-sct>, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente Emanuel Silva Porto, intitulado: “**Avaliação da relação entre carga aplicada e recalque em ensaios de prova de carga estática em uma obra na cidade de Itaituba-PA**”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pela professora Ma. **Marcela Santos da Silva**, orientadora do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, o professor Dr. **Everton André Pimentel Batelo** e o professor Dr. **Gérson Jacques Miranda dos Anjos**. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 9,0. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, **Marcela Santos da Silva**, na qualidade de professora orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 28 de fevereiro de 2025.

Presidente/orientador(a): _____
Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELA SANTOS DA SILVA
Data: 28/02/2025 11:58:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____
Documento assinado digitalmente
gov.br GERSON JACQUES MIRANDA DOS ANJOS
Data: 28/02/2025 16:36:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____
Documento assinado digitalmente
gov.br EVERTON ANDRE PIMENTEL BATELO
Data: 03/03/2025 17:43:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico esse trabalho a DEUS,
á minha mãe, meu pai minha vó
e meus amigos próximos..

“Senhor, eu sei que eu sou pequeno e falho
Então, me ajude a trilhar
Eu sei que a estrada é estreita
E não vai ser fácil, mas vou caminhar” - KayBlack

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus, por me conceder a dádiva da vida e a oportunidade de viver cada dia com propósito e aprendizado. Sua presença tem sido meu alicerce em todos os momentos dessa jornada.

Agradeço imensamente à minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando incondicionalmente. À minha avó, Martenair Maria, que desde a minha infância demonstrou carinho e dedicação, fazendo tudo ao seu alcance para meu bem-estar. Aos meus pais, Eliane Lucena e Manoel Porto, cujos esforços e sacrifícios são inestimáveis. Desde a minha infância, fui prioridade em suas vidas, e seu compromisso sempre foi me proporcionar as melhores condições para crescer e me tornar uma pessoa melhor. Nunca permitiram que eu me preocupasse com nada além dos meus estudos, garantindo total apoio para que eu pudesse me dedicar integralmente à minha formação. Minha família é, sem dúvida, o pilar fundamental da minha trajetória, e tudo que sou hoje devo a eles e a Deus.

Aos amigos que encontrei ao longo da faculdade, meu sincero agradecimento por tornarem essa caminhada mais leve e enriquecedora. Cada um, à sua maneira, me ensinou algo valioso. A Carlos Henrique, cuja pureza de coração e parceria de sempre querer ajudar me inspiraram a ser uma pessoa melhor e boa para com o próximo; a Jeicyane Damasceno, gentil, mas firme, que proporcionou conversas e reflexões valiosas sobre a vida e sua determinação e postura de mulher me fazem admirá-la cada dia mais; a Lucca Adib, uma amizade inesperada, mas uma das mais significativas que construí ao longo do curso, sempre presente, cuidadoso e disposto a ajudar seja nas ocasiões mais improváveis, alguém que pode chamar de amigo e contar para os melhores e piores momentos; a Marcela Santos, que foi mais que uma professora, tornando-se uma verdadeira mãe como disse em sua primeira aula, preocupada não apenas com nossa formação acadêmica, mas também com nosso bem-estar emocional; e a Rayanne Freitas, cuja determinação para lutar contra as adversidades da vida e independência sempre me serviram de inspiração, sendo uma amiga que nunca hesitou em me aconselhar e zelar pelo meu crescimento pessoal. Aos meus professores, minha gratidão pela paciência, pelo conhecimento transmitido e pelo apoio que contribuíram para minha formação como futuro profissional. Também agradeço aos profissionais terceirizados da manutenção e da segurança do prédio, que sempre foram parceiros e tornaram o ambiente mais acolhedor e agradável.

Por fim, esta jornada ainda não chegou ao fim, mas olho para trás com gratidão e a certeza de que "o que um dia foi prece, hoje é realidade". Sei que Deus esteve comigo em cada passo, e que tive uma base sólida para enfrentar desafios, com o suporte da minha família e dos meus amigos.

Vó, mãe, pai, esse é apenas o começo. Prometo continuar me esforçando para lhes proporcionar ainda mais orgulho.

RESUMO

O trabalho desenvolvido tem como objetivo analisar o comportamento de estacas tipo hélice contínua, submetidas a ensaios de prova de carga estática, considerando o perfil geológico do bairro Jardim América, na cidade de Itaituba. O estudo se justifica pela necessidade de compreender a interação solo-estaca em solos de baixa resistência, garantindo segurança e eficiência nos projetos de fundação. A metodologia adotada envolveu o acompanhamento da execução de aproximadamente 300 estacas, assim como a realização de ensaios de prova de carga estática em três estacas selecionadas, conforme as diretrizes estabelecidas na NBR 16.903 (ABNT, 2020). Os resultados foram analisados com base na relação carga-recalque, utilizando medições detalhadas que foram demonstradas através de representação gráfica e tabelas, permitindo a verificação da capacidade de carga das fundações e a adequação dos projetos estruturais.

Palavras-chave: Prova de carga estática, Estaca hélice contínua, Comportamento carga-recalque, Engenharia geotécnica, Solos de baixa resistência.

ABSTRACT

The developed work aims to analyze the behavior of continuous flight auger piles subjected to static load tests, considering the geological profile of the neighborhood Jardim América in the city of Itaituba. The study is justified by the need to understand the soil-pile interaction in low-strength soils, ensuring safety and efficiency in foundation projects. The adopted methodology involved monitoring the execution of approximately 300 piles, as well as conducting static load tests on three selected piles, following the guidelines established in NBR 16.903 (ABNT, 2020). The results were analyzed based on the load-settlement relationship, using detailed measurements presented through graphical representation and tables, allowing for the verification of foundation load capacity and the adequacy of structural designs.

Keywords: Static load test, Continuous flight auger pile, Load-settlement behavior, Low-strength soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração do ensaio SPT.....	16
Figura 2: Ilustração da sequência executiva da estaca hélice contínua monitorada .	20
Figura 3: Perfuração de estaca com trado contínuo	21
Figura 4: Limpeza do trado e concretagem.....	22
Figura 5: Posicionamento de armação	23
Figura 6: Esquema de montagem de prova de carga estática.....	30
Figura 7: Mapa de localização do Jardim América e área de estudo.....	37
Figura 8: Armadura das estacas ensaiadas.....	38
Figura 9: Armadura dos blocos de coroamento ensaiados	39
Figura 10: Locação da estaca e perfuração da estaca	39
Figura 11: Concretagem e inserção da armadura.....	40
Figura 12: Escavação do bloco e arrasamento da estaca	41
Figura 13: Concretagem do bloco de reação	41
Figura 14: Sistema de reação implementado.....	42
Figura 15: Sistema de reação utilizado.....	43
Figura 16: Esquema de colocação de relógios	44
Figura 17: Perfil do subsolo e resultados das sondagens SPT, para as Estacas C e F.	46
Figura 18: Perfil do subsolo e resultados das sondagens SPT, para a Estaca U.	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Carga x Recalque, para a Estaca C.....	47
Gráfico 2: Carga x Recalque, para a Estaca F.....	49
Gráfico 3: Relação Carga x Recalque, para a Estaca U.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores máximos e mínimos de deslocamentos, para a Estaca C.....	47
Tabela 2: Valores máximos e mínimos de deslocamentos, para a Estaca F.....	49
Tabela 3: Valores máximos e mínimos de deslocamentos, para a Estaca U.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. JUSTIFICATIVA	13
4. REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1 Solos colapsáveis e de baixa resistência	14
4.2 Ensaio SPT	15
4.3 Fundação profunda - Estaca	18
Hélice Contínua.....	18
4.3.1 Critérios normativos para determinação da quantidade de provas de carga	18
4.3.2 Método executivo	20
4.3.3 Perfuração.....	20
4.3.4 Concretagem.....	21
4.3.5 Colocação da armadura	23
4.4 Aspectos Críticos e Orientações na Execução de Estacas Hélice Contínua	24
4.4.1 Metodologia de Execução	24
4.4.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos	25
4.4.3 Desafios Comuns e Soluções Práticas.....	25
4.5 Prova de carga estática.....	25
3.5.2 Importância do ensaio	27
3.6.1 Ensaio Lento	30
4.6.2 Ensaio Rápido.....	31
4.6.3 Ensaio Misto.....	31
4.7 Tipos de Carregamentos e Descarregamentos em Provas de Carga Estática	31
4.7.1 Carregamento Progressivo.....	32
Carregamento com Picos Máximos.....	32
4.7.2 Métodos Alternativos de Carregamento	33
4.7.3 Descarregamento Gradual	34
4.8 Carga e recalque.....	34
5. METODOLOGIA.....	37
5.1 Execução das estacas.....	38
5.2 Execução do ensaio de prova de carga estática	41

6. RESULTADOS	46
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

Uma edificação é composta, de maneira geral, pelos elementos de superestrutura (vigas, pilares e laje) que são responsáveis por receber os carregamentos, sejam estes permanentes ou não, e distribuí-los para a infraestrutura (fundação), a qual, transfere o carregamento para o solo. Para a definição do tipo de fundação a ser utilizada, se faz necessário realizar uma investigação geotécnica, objetivando conhecer as características do solo, além do conjunto de ações que irão solicitar a estrutura, e o orçamento disponível, de modo que o projeto de fundação atenda aos requisitos de segurança, economia e qualidade.

Entre os tipos de fundações atualmente executadas no Brasil, destacam-se as fundações superficiais (como sapatas, blocos e radier) e as fundações profundas (como estacas e tubulões). Em obras civis que envolvem cargas elevadas, e onde os solos superficiais apresentam baixa resistência, são utilizadas fundações profundas, especialmente tubulões e estacas, destaca-se a estaca do tipo hélice contínua como uma das mais utilizadas no Brasil (RESENDE e LOPES, 2021).

Sua utilização no Brasil teve início no final da década de 1980, com uma significativa expansão e consolidação ao longo dos anos 1990. Tal avanço foi impulsionado, principalmente, pela importação de equipamentos especializados da Europa, em especial da Itália, projetados para oferecer maior torque e precisão na execução desse tipo de fundação (MAGALHÃES, 2005; NETO, 2002).

Conforme preconiza a Norma Brasileira (NBR) 16.903 (ABNT, 2020) – Prova de carga estática em fundação profunda, o ensaio de prova de carga é um método reconhecido para avaliar, com precisão, o comportamento de fundações profundas, sob condições reais de carregamento. Este método permite validar as hipóteses de projeto, avaliar a segurança estrutural e obter parâmetros essenciais para otimizar futuras fundações.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento carga x recalque de estacas hélice contínua, através da realização de provas de carga estática em três casos distintos, situados em perfis geológicos distintos, localizado na cidade de Itaituba. A pesquisa foi conduzida em campo, com acompanhamento integral, permitindo uma análise detalhada e fundamentada sobre as condições específicas do subsolo, caracterizado por solos de baixa resistência.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento Carga x Recalque em estacas hélice contínua, em solos de baixa resistência, localizado na cidade de Itaituba (PA).

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento das estacas nos estágios iniciais do carregamento.
- Verificar se os deslocamentos após a aplicação do carregamento estão de acordo com o estabelecido pela NBR 16.903 (ABNT, 2020);
- Avaliar a reação da estaca após a aplicação de carga final.

3. JUSTIFICATIVA

Compreender o comportamento das estruturas sob diferentes níveis de carga é essencial para garantir a segurança e a estabilidade das edificações. Através dos ensaios de prova de carga, é possível obter dados empíricos importantes para validar que a estrutura atenderá às solicitações impostas a ela. Ao aprimorar a compreensão da relação entre carga e recalque, o presente trabalho buscou contribuir com a otimização de projetos de fundações na região da cidade de Itaituba (PA), resultando em um uso mais eficiente de materiais e recursos

A pesquisa realizada traz uma contribuição significativa para a sociedade local, principalmente para aqueles que planejam construir superestruturas em áreas com perfis geológicos complexos, marcadas por históricos de alagamentos sazonais e solos supersaturados, características comuns em algumas regiões da cidade de Itaituba. É importante ressaltar que estudos detalhados como este, são essenciais para a formação de novos engenheiros e para o desenvolvimento contínuo do campo da geotecnia. Além disso, fornece dados empíricos que podem ser utilizados para refinar teorias existentes e desenvolver novas abordagens para a análise e o projeto de fundações, que podem ser aplicados ou analisados para a execução de estruturas na região.

O local onde foram executadas as estacas hélice contínua, e os ensaios de prova de carga estática, está situado em uma área com a presença de solos orgânicos e arenosos, conhecidos por sua baixa resistência mecânica. Essa condição foi constatada tanto por meio de observações diretas no campo, quanto por ensaios de sondagem técnica. Além disso, o histórico de supersaturação do solo, especialmente em determinadas épocas do ano.

Assim, o presente estudo proporciona um panorama detalhado e uma compreensão aprofundada do cenário geotécnico local, oferecendo uma base técnica sólida para futuros projetos e intervenções estruturais na cidade de Itaituba, com destaque para o bairro Buriti.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Solos colapsáveis e de baixa resistência

Vilar e Rodrigues (2011), afirmam que os solos colapsáveis e de baixa resistência são temas amplamente discutidos na engenharia geotécnica, devido aos riscos que apresentam em projetos de infraestrutura, como edificações e rodovias. Esses tipos de solo possuem características que os tornam suscetíveis a deformações significativas quando submetidos a umedecimento ou carregamentos. Esse comportamento é crítico para o desempenho de fundações e outras estruturas construídas sobre eles.

Os solos colapsáveis são aqueles que apresentam grande resistência na condição seca, mas sofrem uma perda brusca de volume quando são saturados, resultando em assentamentos expressivos (MARIZ, 1993). A colapsibilidade está associada à estrutura interna do solo, que geralmente é composta por grãos finos aglomerados por cimento natural ou outros agentes ligantes, como óxidos de ferro e alumínio. Segundo Tatsuoka e Shibuya (1991), tais solos são encontrados em várias partes do mundo e podem incluir solos residuais, depósitos de loess e alguns tipos de solos arenosos e argilosos.

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), a caracterização dos solos colapsáveis é essencial para evitar problemas estruturais. Testes em laboratório, como o ensaio de colapso, realizado em amostras indeformadas, permite identificar o grau de colapsibilidade, e definir as soluções de engenharia necessárias. Em regiões com solos colapsáveis, é comum utilizar técnicas como: a compactação, a drenagem e o uso de fundações profundas.

Os solos de baixa resistência são aqueles que possuem baixa capacidade de suporte, e de resistência ao cisalhamento, resultando em recalques ou instabilidade estrutural quando submetidos a cargas (TERZAGHI e PECK, 1967). Esses solos incluem solos argilosos moles, solos orgânicos, e solos com alto teor de umidade.

A NBR 6122 (ABNT, 2022), que trata do projeto e execução de fundações, destaca a importância de se realizar uma análise detalhada dos solos de baixa resistência, para determinar o tipo de fundação mais adequado. Em muitos casos, a solução envolve o uso de fundações profundas, como estacas ou tubulões, que

transferem a carga da estrutura para camadas mais resistentes do solo. Outra técnica comum é a estabilização do solo com cal ou cimento, conforme sugerido por Bowles (1996), que aumenta a resistência e a rigidez do solo superficial.

De acordo com Alonso (1987), a presença de solos colapsáveis ou de baixa resistência impõe desafios significativos ao dimensionamento de fundações, uma vez que a escolha inadequada pode resultar em recalques excessivos, trincas em edificações e até mesmo o colapso de estruturas. Schnaid (2012) afirma que uma investigação geotécnica completa é fundamental nesses casos, incluindo sondagens e ensaios de campo, como o *Standard Penetration Test* (SPT), e ensaios de laboratório, como o de compressão não confinada.

Além disso, é importante destacar que o tratamento desses solos nem sempre se limita a técnicas de fundação. Em muitos projetos, as soluções podem incluir a melhoria do solo, como o uso de colunas de brita, drenagem profunda, ou até mesmo a remoção do solo inadequado e sua substituição por um material mais estável (FREITAS, 2016).

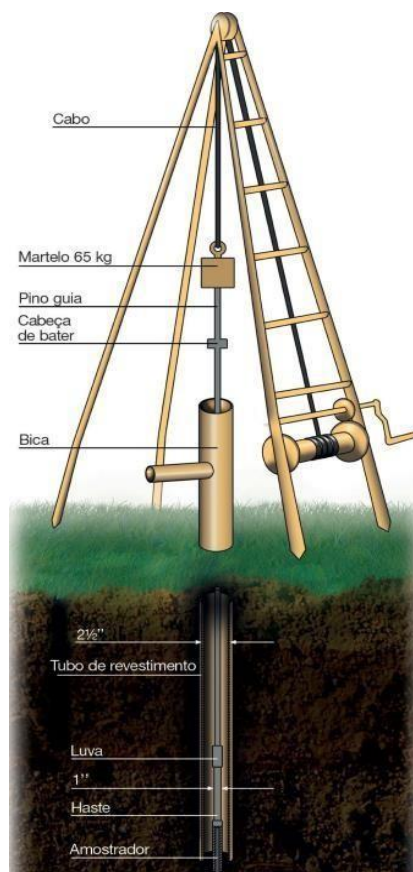
4.2 Ensaio SPT

O ensaio SPT é uma técnica amplamente utilizada na engenharia geotécnica para a caracterização do solo, sendo importante na concepção e execução de fundações profundas. Este ensaio é concebido, e normatizado pela NBR 6484 (ABNT, 2020), com o objetivo de avaliar a resistência do solo à penetração, fornecendo dados essenciais para o dimensionamento seguro e adequado de fundações em estruturas, como o índice de resistência do solo à penetração (NSPT), a identificação e classificação dos solos presentes no local, o nível do lençol freático, a estratigrafia do subsolo e a estimativa da capacidade de suporte do solo.

Schnaid e Odebrecht (2012), afirmam que o ensaio SPT representa uma medida de resistência dinâmica associada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração é feita por meio de trado e circulação de água, utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. O procedimento do ensaio envolve a cravação do mostrador no fundo da escavação (que pode estar revestida ou não), empregando-se a queda de um peso de 65 kg a partir de uma altura de 750 mm, conforme ilustrado na Figura 1. O valor SPT corresponde ao número de

golpes necessários para que o mostrador penetre 300 mm, após uma cravação inicial de 150 mm.

Figura 1: Ilustração do ensaio SPT



Fonte: Schnaid e Odebrecht (2012).

Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), os principais componentes do sistema de sondagem são:

a) Mostrador-padrão: é também conhecido como "Raymond". Apresenta diâmetro externo de $50,8 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, e um diâmetro interno de $35,9 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, conforme especificado pela. Ele é dividido em três partes: sejam elas: cabeça, corpo e sapata. A cabeça do mostrador possui dois orifícios laterais que permitem a saída de água e ar, o que facilita a retenção da amostra de solo dentro do mostrador.

b) Hastes: são tubos de aço que possuem roscas e luvas em suas extremidades, de modo a garantir a conexão adequada com o mostrador padrão. O peso da haste deve ser de 323 kN/m^2 ($3,23 \text{ kgf/cm}^2$).

c) Martelo: é o equipamento utilizado para gerar impacto. Apresenta formato cilíndrico ou prismático, com massa de 65 kg. Na prática, existem vários tipos de

martelo, e dependendo do tipo escolhido, o uso do coxim de madeira e o controle da altura de queda podem não ser necessários.

d) Cabeça de bater: esta peça recebe a energia do golpe do martelo e a transmite para a haste. Deve ser feita de aço, com um diâmetro de 83 ± 5 mm, altura de 90 ± 5 mm, e uma massa nominal entre 3,5 kg e 4,5 kg.

e) Sistema de perfuração: os métodos mais comuns para a abertura de furos de sondagem incluem o trado-concha, trado helicoidal e o trépano ou peça de lavagem.

A execução do ensaio SPT inclui, essencialmente: a locação dos furos, a perfuração, e o levantamento e liberação do martelo. No contexto das fundações de edifícios, a locação e o número de furos de sondagem são regulamentados pela NBR 8036 (ABNT, 1983) – Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edificações.

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), após o posicionamento do mostrador-padrão conectado à composição de cravação, coloca-se a cabeça de bater e, utilizando-se o tubo de revestimento como referência, marca-se na haste, com giz, um segmento de 45 cm dividido em três trechos iguais de 15 cm. Em seguida coloca-se o martelo sobre a cabeça de bater, e mede-se a penetração da composição decorrente do peso próprio do martelo, caso não ocorra penetração do mostrador igual ou maior que 45 cm, a cravação continua através da elevação do martelo em 75 cm de altura e sua liberação em queda livre por meio de sucessivos golpes, anotando-se o número de golpes necessários à cravação de cada segmento de 15 cm do mostrador-padrão.

Quando o solo é muito mole, com apenas um golpe, o mostrador-padrão pode penetrar mais que 15 cm, nesse caso, registra-se o número de golpes e sua respectiva penetração, por exemplo 1/45 (com um golpe o mostrador-padrão teve uma penetração 45 cm). Já quando o solo é muito resistente pode ser necessário um número superior a 30 golpes para a penetração dos 15 cm do amostrador-padrão, nesse caso, registra-se o número de 30 golpes com a respectiva penetração (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012).

4.3 Fundação profunda - Estaca

Hélice Contínua

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), são consideradas fundações profundas aquelas em que as cargas provenientes da superestrutura, são transmitidas ao solo através da sua base (resistência de ponta), da sua superfície lateral (resistência de fuste) ou da combinação de ambas. O comprimento da estaca deve ser superior à sua menor dimensão em planta e de, no mínimo, três metros, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões.

A estaca hélice contínua é um tipo de fundação profunda moldada "in loco", amplamente utilizada na construção civil. Sua execução consiste na introdução de um trado helicoidal que perfura o solo sem retirada completa do material escavado, seguido pela injeção de concreto sob pressão e posterior inserção da armadura metálica. Este método é eficiente em diversos tipos de solo e apresenta vantagens como a ausência de vibrações, menor impacto ambiental e alta capacidade de carga, conforme apontado por autores como AOKI e CINTRA (2000).

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022) - "Projeto e execução de fundações", a estaca hélice contínua é recomendada para situações em que há necessidade de alta resistência e controle do impacto sobre o entorno, sendo ideal para áreas urbanas ou em terrenos com solos de baixa resistência superficial. Schnaid (2012) destaca que esse método é especialmente eficaz em solos arenosos ou de baixa coesão, proporcionando estabilidade e capacidade de carga adequadas para diversas estruturas, como edifícios e pontes.

4.3.1 Critérios normativos para determinação da quantidade de provas de carga

A determinação da quantidade de provas de carga estática a serem realizadas em uma obra que utiliza estacas hélice contínua é fundamental para garantir a segurança e a confiabilidade das fundações. Este procedimento é regulamentado principalmente pela NBR 6122 (ABNT, 2022) – Projeto e Execução de Fundações e pela NBR 16.903 (ABNT, 2020) – Fundação – Prova de Carga Estática, que estabelecem os parâmetros e diretrizes para dimensionamento, execução e validação das fundações profundas.

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), a quantidade de provas de carga estática a ser realizada depende de diversos fatores relacionados à obra, e às condições do terreno. Com relação a proporção de ensaios em relação ao total de estacas, a norma recomenda que, para fundações de estacas, as provas de carga estática sejam realizadas em aproximadamente 1% a 2%, do total de estacas executadas. Essa amostragem é considerada representativa para validar as hipóteses de projeto, especialmente em obras de médio e grande porte.

Em obras com um número reduzido de estacas, a norma estabelece que pelo menos uma prova de carga estática é obrigatória. Esse ensaio é essencial para garantir que as condições locais atendam às exigências normativas e de segurança.

- Condições Geotécnicas do Solo

Em terrenos com alta heterogeneidade ou com histórico de baixa resistência, a quantidade de ensaios pode ser aumentada para abranger diferentes condições geotécnicas. Isso é especialmente relevante em áreas com solos orgânicos, arenosos ou sujeitos a variações sazonais de saturação.

- Localização e Condições das Estacas

As provas de carga devem priorizar estacas localizadas em regiões críticas do projeto, como: Áreas com maiores cargas estruturais; Proximidade de taludes ou encostas; locais onde o solo apresenta menor resistência ou maior potencial de recalque.

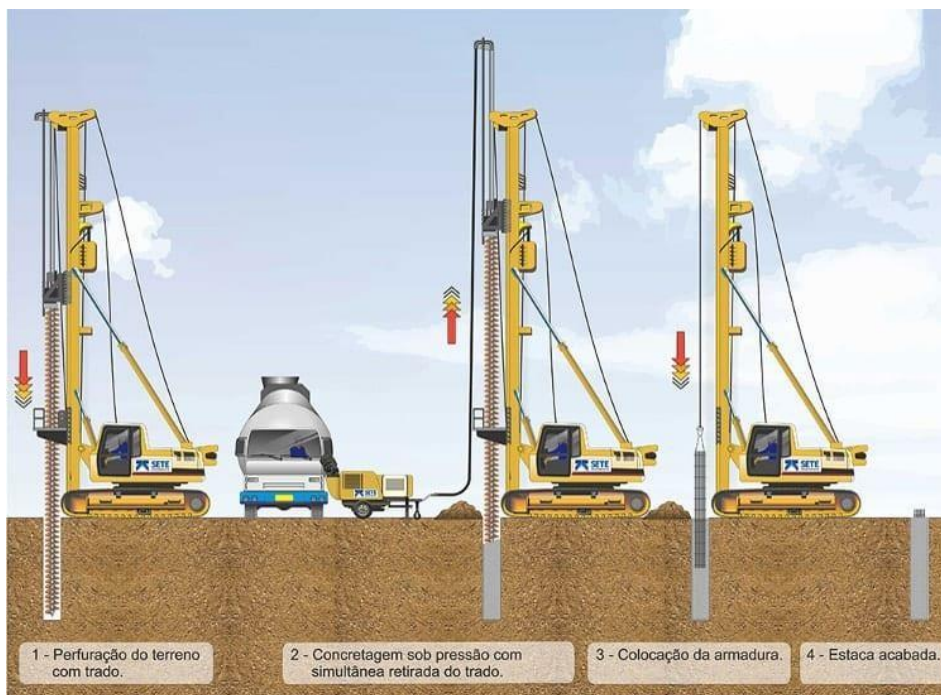
- Características do Projeto

Para obras que envolvem diferentes configurações de carga ou estacas com dimensões variadas, é necessário selecionar estacas que representem as condições mais desafiadoras, garantindo que os resultados sejam aplicáveis a todo o projeto.

4.3.2 Método executivo

O processo executivo da estaca hélice contínua envolve três principais etapas: a perfuração do solo, a injeção de concreto que ocorre simultaneamente à retirada da hélice, e, por fim, a introdução da armadura metálica no concreto fresco, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2: Ilustração da sequência executiva da estaca hélice contínua monitorada



Fonte: Total Construção (2024).

4.3.3 Perfuração

Primeiramente, o terreno é perfurado utilizando um trado contínuo que gira. Esse movimento de rotação é proporcionado pela mesa giratória do equipamento, que aplica um torque suficiente para vencer a resistência do solo, ilustrado na Figura 3.

A haste de perfuração é composta por uma hélice espiral montada ao redor de um tubo central. Em terrenos mais resistentes esses dentes podem ser substituídos por pontas de vídia (PROBST, 2018).

Na extremidade inferior dessa haste, há dentes (ou garras) projetados para cortar o solo. Para evitar a entrada de solo ou água no tubo central durante a escavação, uma tampa metálica provisória é colocada na extremidade da hélice, sendo posteriormente expulsa pelo concreto no início da concretagem.

Figura 3: Perfuração de estaca com trado contínuo



Fonte: TECGEO Sondagens e Fundações (2023).

A profundidade de perfuração é estabelecida de acordo com o projeto e, durante todo o processo, o trado da hélice deve permanecer no lugar para evitar o alívio de tensões no solo. Essa característica permite a execução de estacas hélice contínuas tanto em solos coesivos quanto arenosos, independentemente da presença do lençol freático.

Durante a perfuração, um sistema de monitoramento registra em tempo real a profundidade de penetração, o torque aplicado pela mesa rotativa, a velocidade de avanço e a rotação do trado. Conforme a resistência do solo aumenta, a relação entre a velocidade de avanço e a rotação do trado diminui.

Para minimizar os efeitos do desconfinamento devido à remoção excessiva do solo, a velocidade de penetração do trado deve ser igual ou bastante próxima ao produto da velocidade de rotação do trado pelo seu passo. Quando a velocidade de penetração do trado é muito maior, a probabilidade de prendê-lo é grande. Em contrapartida, quando essa velocidade é muito menor o trado funciona como um transportador provocando, assim o desconfinamento do solo circundante com a consequente perda de capacidade de carga (MAGALHÃES, 2005).

4.3.4 Concretagem

Após atingir a profundidade estabelecida no projeto por meio da perfuração com trado contínuo, inicia-se, de maneira simultânea, a etapa de concretagem da estaca. Esse processo consiste na injeção do concreto através do tubo central do trado, com bombeamento realizado a partir do caminhão-bomba. Antes do início da

concretagem, o trado é elevado aproximadamente 30 cm para permitir a remoção da tampa provisória, garantindo a continuidade adequada do processo executivo (MAGALHÃES, 2005).

Nesse estágio, a retirada do trado ocorre de forma lenta e contínua, simultaneamente à injeção do concreto. Em terrenos constituídos predominantemente por solos arenosos, recomenda-se que o trado seja girado lentamente na mesma direção da perfuração, a fim de minimizar perturbações no solo circundante (MAGALHÃES, 2005). A Figura 4 ilustra o processo de extração do trado e a remoção manual dos resíduos acumulados entre suas lâminas, conforme a estaca é concretada.

Figura 4: Limpeza do trado e concretagem



Fonte: www.powerfulfundacoes.hpg.ig.com.br/hélice.html. Acesso em: 22 novembro (2024).

Para evitar a formação de vazios durante a retirada da hélice do terreno e garantir o preenchimento adequado do fuste com concreto, é essencial que a aplicação do concreto seja feita com pressão de injeção positiva ou, pelo menos, neutra. O operador deve monitorar esses parâmetros para prevenir possíveis estrangulamentos e seccionamento do fuste da estaca (MAGALHÃES, 2005).

Durante a extração da hélice, o solo preso nas lâminas deve ser removido manualmente ou com a ajuda de um limpador mecânico, sendo então transportado para fora da área de trabalho.

Normalmente, o concreto é aplicado na estaca até alcançar a superfície de trabalho, podendo ser nivelado abaixo dessa superfície. Nesses casos, é importante considerar a colocação da armadura e a estabilidade do furo na seção não concretada,

para garantir que o concreto não se contamine com o solo. Em geral, a concretagem é feita além da cota de nivelamento para garantir a expulsão do concreto que possa estar contaminado com solo (MAGALHÃES, 2005).

4.3.5 Colocação da armadura

Após a conclusão da concretagem da estaca, é necessário realizar a instalação da armadura no concreto ainda fresco, o que apresenta desafios próprios. A armadura longitudinal deve ser projetada de forma adequada, considerando seu peso, rigidez e comprimento (PROBST, 2018).

A colocação da armadura pode ser feita manualmente, com o auxílio da própria mesa da perfuratriz, ou com a pá-carregadeira usada para a remoção do material escavado. Embora o uso de um vibrador para auxiliar na colocação da armadura seja uma prática recomendada pela literatura internacional, ela é pouco utilizada no Brasil (PROBST, 2018). Na Figura 5 verifica-se a colocação da armadura feita de forma manual.

Figura 5: Posicionamento de armação



Fonte: WMS Engenharia (2016).

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2022), as estacas submetidas a esforços de compressão normalmente não necessitam de armação, podendo, de acordo com a análise do projetista, ser colocada apenas uma armação de ligação com o bloco. Em estacas submetidas a esforços de tração ou transversais, os quais necessitam de uma

armadura longa, é maior a utilização de espirais em substituição aos estribos circulares, evitando, com isso, emendas por transpasse fato este que dificultaria a colocação da armadura.

Sugere-se um comprimento mínimo da armadura, abaixo da cota de arrasamento, de 3 m para as estacas com diâmetro de até 50 cm e 5 m para as demais (VELOSSO, 2011; ALONSO, 2000).

4.4 Aspectos Críticos e Orientações na Execução de Estacas Hélice Contínua

A técnica de execução da estaca hélice contínua é considerada relativamente recente no Brasil, ganhando destaque no início da década de 1990. Apesar de amplamente utilizada, essa técnica requer atenção em diversos aspectos para evitar problemas durante sua execução. De acordo com autores como NETO (2002) e SCHNAID (2012), os principais desafios estão relacionados à metodologia empregada, às condições do terreno e à manutenção dos equipamentos envolvidos no processo.

4.4.1 Metodologia de Execução

Alguns cuidados devem ser tomados durante a execução das estacas para garantir a eficiência do processo e a conformidade com as normas técnicas, como a NBR 6122 (ABNT, 2022) – Projeto e Execução de Fundações. Entre os pontos críticos, destacam-se:

Evitar o travamento do trado: Durante a introdução no solo ou na concretagem, o travamento pode ocorrer devido a fatores como excesso de resistência do terreno ou desgaste dos equipamentos.

Controle de desvios e desaprumos: É essencial evitar desvios na locação e desaprumos superiores aos limites estabelecidos pelas normas. Isso pode comprometer a capacidade de carga e a estabilidade da fundação.

Monitoração adequada: A execução sem o devido monitoramento ou com sistemas de monitoração defeituosos pode resultar em falhas graves, como concretagem insuficiente ou problemas no posicionamento da armadura.

4.4.2 Manutenção Preventiva dos Equipamentos

De acordo com Schnaid (2012), a manutenção dos equipamentos é fundamental para evitar interrupções e garantir a qualidade das estacas executadas. A literatura técnica enfatiza a importância de práticas como:

Substituição de peças desgastadas: Cabos, trados empenados ou gastos, e sensores defeituosos devem ser trocados regularmente.

Revisão da bomba de concreto: A calibração e manutenção periódica do sistema de bombeamento são cruciais para assegurar a homogeneidade e a continuidade da concretagem.

Inspeção do equipamento: Realizar inspeções prévias ao início da execução ajuda a identificar potenciais problemas que possam impactar o desempenho.

4.4.3 Desafios Comuns e Soluções Práticas

De acordo com Schnaid (2012), alguns problemas frequentes na execução de estacas hélice contínua incluem a ruptura do trado, a obstrução na concretagem e a presença de vazios no solo após a retirada do trado. Para mitigar esses problemas, Schnaid (2012) sugere que haja i) um planejamento cuidadoso da execução, ii) a capacitação da equipe técnica, e um iii) acompanhamento técnico contínuo.

4.5 Prova de carga estática

Camargo e Albuquerque (2022) a prova de carga estática é um dos métodos mais tradicionais e confiáveis para verificar a capacidade de carga de estacas, sendo amplamente utilizada no dimensionamento de fundações profundas, este ensaio consiste em aplicar uma carga crescente sobre a estaca e medir seus deslocamentos, permitindo que se obtenham dados diretos sobre o comportamento da fundação sob cargas reais. AOKI e CINTRA (2000), autores de referência no campo da engenharia geotécnica, afirmam que este ensaio é considerado o método mais preciso para avaliar a capacidade de suporte de estacas, uma vez que reproduz as condições reais de carregamento das estruturas.

De acordo com a NBR 16.903 (ABNT, 2020) – Prova de carga estática em fundação profunda, o procedimento envolve a aplicação de carga axial, que pode ser de compressão ou tração, diretamente sobre a estaca, com o objetivo de verificar sua

resistência e o comportamento de recalque. A prova de carga estática é classificada em dois tipos: a de ensaio de ruptura, onde se busca atingir a capacidade última da estaca, e a de ensaio de trabalho, que avalia a estaca sob cargas menores, representativas das condições de serviço.

Camargo e Albuquerque (2022) destaca a importância da prova de carga estática na validação de projetos geotécnicos, uma vez que os dados obtidos com o ensaio oferecem subsídios para ajustar o dimensionamento das estacas, evitando tanto o superdimensionamento quanto a subestimação da capacidade de carga.

Além disso, Velloso e Lopes (2011) ressaltam que a prova de carga estática contribui para a redução de incertezas geotécnicas, já que o comportamento real do solo e da fundação é diretamente avaliado. Este método também é considerado essencial para a segurança das obras, especialmente em projetos que envolvem fundações profundas em solos de baixa resistência.

4.5.1 Recomendações normativas

De acordo com a NBR 16.903 (ABNT, 2020), a prova de carga estática deve seguir um conjunto de etapas rigorosas, desde a preparação da estaca até o monitoramento dos resultados:

i) **Preparação da Estaca:** A estaca que será testada deve ser cuidadosamente preparada e limpa para garantir que a aplicação da carga seja uniforme. A estaca deve ser executada conforme o projeto, respeitando as especificações do diâmetro, profundidade e materiais.

ii) **Instrumentação e Equipamentos:** O equipamento utilizado para a aplicação da carga deve ser calibrado e adequado ao tipo de estaca e à carga projetada. O sistema de aplicação da carga pode incluir macacos hidráulicos, placas de aço para distribuir a carga, e células de carga para medir a força aplicada. O deslocamento da estaca é monitorado por dispositivos como deflectômetros ou medidores de recalque.

iii) **Aplicação da Carga:** A carga deve ser aplicada de maneira gradual, em etapas bem definidas. A NBR 16.903 (ABNT, 2020) recomenda que a carga seja incrementada até atingir valores superiores à carga de projeto, ou até a ruptura da

estaca, em caso de ensaio de carga máxima. Em cada etapa, deve-se aguardar até que o recalque se estabilize antes de aumentar a carga.

iv) Registro dos Resultados: Durante o ensaio, o deslocamento da estaca deve ser registrado continuamente. Segundo Camargo e Albuquerque (2022), é fundamental que os dados sejam monitorados em intervalos regulares para verificar a resposta da estaca sob cada nível de carga.

v) Critérios de Ruptura: A norma estabelece critérios para determinar a ruptura ou a carga máxima suportada pela estaca. Isso pode ser baseado na capacidade de suporte último ou no deslocamento limite. Velloso e Lopes (2011) apontam que a escolha do critério de ruptura depende das especificidades do projeto e do comportamento observado durante o ensaio.

3.5.2 Importância do ensaio

De acordo com Schnaid (2012), a execução da prova de carga estática é um procedimento indispensável para assegurar a segurança e a durabilidade das fundações em obras de grande porte. Esse ensaio envolve a aplicação de cargas progressivas sobre a estaca e a medição dos recalques que ocorrem ao longo do processo. Dessa forma, os engenheiros podem verificar se a estaca foi dimensionada corretamente e se o solo oferece a resistência necessária para suportar a estrutura. O objetivo é avaliar o comportamento real da fundação sob cargas, confirmando se ela atenderá às condições de serviço projetadas, evitando falhas como recalques excessivos ou até mesmo o colapso da fundação.

De acordo com Schnaid (2012), a prova de carga estática é especialmente importante em situações em que há incertezas geotécnicas, como variações nas condições do solo, ou em projetos de alta complexidade que exigem uma validação precisa do comportamento da fundação. Esse ensaio oferece dados empíricos fundamentais que permitem aos engenheiros ajustar ou confirmar os parâmetros projetados, validando previsões feitas em laboratório ou por modelos numéricos. Com isso, garante-se uma base sólida para decisões críticas durante a construção.

Além de validar o dimensionamento das estacas, a prova de carga estática também proporciona informações valiosas sobre o comportamento do solo sob condições reais de carga. Segundo Aoki e Cintra (2000), o teste permite uma melhor

compreensão da interação solo-estaca, fornecendo insights sobre a capacidade de suporte e o desempenho das fundações. Esse entendimento é essencial para projetos localizados em terrenos complexos ou com camadas de solo heterogêneas, onde as condições geotécnicas podem variar consideravelmente. O uso adequado da prova de carga estática, seguindo as normas estabelecidas pela NBR 16.903 (ABNT, 2020), permite não apenas aumentar a segurança estrutural, mas também otimizar o uso de materiais e reduzir custos em projetos de infraestrutura.

Velloso e Lopes (2011), apontam que esse ensaio é amplamente utilizado em obras de infraestrutura, pontes e edifícios altos, onde a precisão no dimensionamento das fundações é crítica para o sucesso do projeto. Ao fornecer dados confiáveis sobre a capacidade de carga, a prova de carga estática contribui para a sustentabilidade e a eficiência dos projetos, minimizando o risco de recalques futuros e falhas estruturais.

4.5.3 Procedimento executivo do ensaio

O procedimento executivo da prova de carga estática é amplamente normatizado pela NBR 16.903 (ABNT, 2020), que define os critérios e métodos para a realização desse ensaio. Esse teste é essencial para avaliar a capacidade de carga de fundações profundas, como estacas, e consiste na aplicação de cargas crescentes sobre a estaca até atingir uma determinada carga limite, com o objetivo de medir os recalques e a resistência do solo.

A primeira etapa envolve a preparação da estaca que será submetida ao teste. Segundo a NBR 16.903 (ABNT, 2020), é crucial que a estaca esteja devidamente executada conforme o projeto, respeitando as especificações de profundidade, diâmetro e posicionamento.

Conforme a NBR 16.903 (ABNT, 2020), a prova de carga estática consiste em aplicar gradativamente esforços estáticos à estaca e monitorar os deslocamentos correspondentes. Essa norma é aplicável a todos os tipos de estacas, independentemente do método de execução ou instalação no solo.

Os resultados obtidos na prova de carga são apresentados por meio de uma curva que correlaciona o acréscimo de carga aos deslocamentos verticais medidos. Conhecida como curva carga versus recalque, essa representação gráfica

é amplamente utilizada para estimar tanto a carga de trabalho quanto a capacidade última da estaca (ROMANINI, 2019).

De acordo com Eichelberger (2022), os principais objetivos da prova de carga estática incluem:

- Identificar a capacidade de carga do sistema solo-estaca e compará-la com as previsões do projeto.
- Avaliar a contribuição da carga resistida pelo atrito lateral e pela resistência de ponta da estaca.
- Determinar a rigidez do conjunto solo-estaca sob a aplicação da carga de projeto.
- Mensurar o recalque associado a uma determinada carga aplicada.

A aparelhagem utilizada no ensaio é composta por dispositivos de aplicação de carga e instrumentos de medição, organizados da seguinte forma:

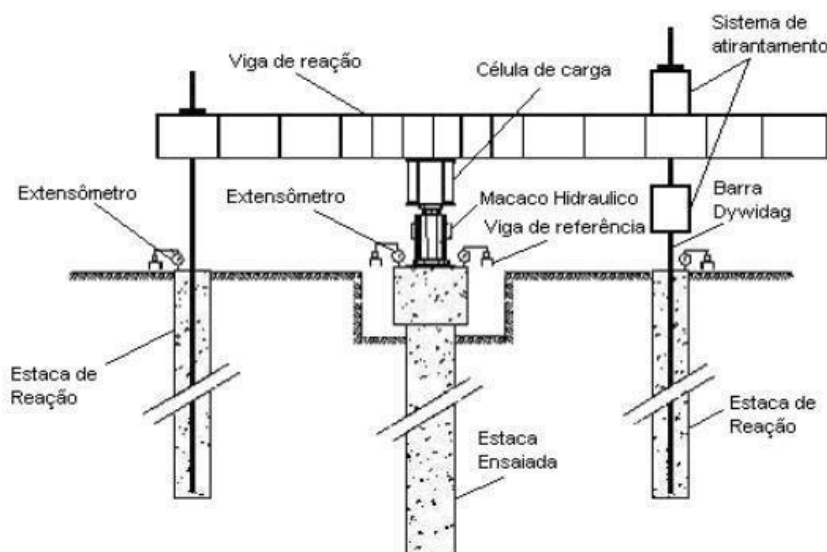
- Macacos Hidráulicos: Um ou mais macacos hidráulicos, acionados por bombas manuais ou elétricas, são utilizados para aplicar as cargas.
- Sistema de Reação: O sistema de reação é geralmente constituído por estacas de reação armadas ou tirantes projetados para suportar esforços de tração. Esses elementos devem ser dimensionados para resistir a uma carga de tração pelo menos 50% superior à carga máxima prevista no ensaio (SCALLET, 2011).

Os dispositivos de medidas referente às cargas aplicadas no topo na estaca podem ser compostos por:

- Medidores de Carga: A medição da carga aplicada pode ser realizada por meio de um manômetro acoplado ao sistema do macaco hidráulico ou por uma célula de carga.
- Deflectômetros: Para deslocamentos verticais no topo da estaca, são utilizados quatro (4) deflectômetros posicionados em dois eixos ortogonais. Para deslocamentos transversais, a medição é realizada com dois (2) ou mais deflectômetros dispostos no plano ortogonal ao eixo da estaca.

A Figura 6 apresenta um esquema de montagem de prova de carga estática.

Figura 6: Esquema de montagem de prova de carga estática



Fonte: SCALLET (2011)

4.6 Tipos de ensaios

Com base na NBR 16.903 (ABNT, 2020), a execução de provas de carga estática pode ser realizada por três metodologias: ensaio lento, rápido ou misto. A seguir, detalham-se as características de cada método:

3.6.1 Ensaio Lento

O ensaio lento é conduzido por meio de carregamento em estágios iguais e sucessivos, com cada carga aplicada limitada a um máximo de 20% da carga de trabalho prevista para a estaca.

As medições de deslocamento devem ser realizadas imediatamente após a aplicação da carga, com leituras registradas nos intervalos de 2, 4, 8, 15, 30, 60 e 120 minutos, até que seja atingida a estabilização. O tempo mínimo de estabilização entre as leituras deve ser de 30 minutos. Sob a orientação da NBR 16.903 (ABNT, 2020), considera-se que os deslocamentos estão estabilizados quando a diferença entre as leituras realizadas nos tempos t , $2t$, $4t$ não ultrapassar 5% do deslocamento total ocorrido no mesmo estágio de carregamento.

Em conformidade com a NBR 16.903 (ABNT, 2020), com relação ao procedimento de descarregamento, este deve ser realizado em pelo menos quatro estágios, com os deslocamentos sendo mantidos até a estabilização, utilizando o mesmo critério aplicado no carregamento.

4.6.2 Ensaio Rápido

Sob a orientação da NBR 16.903 (ABNT, 2020), no ensaio rápido, o carregamento também ocorre em estágios iguais e sucessivos, mas cada carga aplicada é limitada a 10% da carga de trabalho prevista.

Em cada estágio, a carga deve ser mantida por 10 minutos, independentemente da estabilização dos deslocamentos.

- Leituras obrigatórias: As medições de deslocamento devem ser realizadas no início e no fim de cada estágio. Após atingir a carga máxima, devem ser registradas cinco leituras adicionais nos intervalos de 10, 30, 60, 90 e 120 minutos.
- Descarregamento: Deve ser conduzido em cinco estágios de 10 minutos cada, com leituras dos deslocamentos correspondentes. Após 10 minutos do descarregamento total, são necessárias mais duas leituras aos 30 e 60 minutos.

4.6.3 Ensaio Misto

Segundo a NBR 16.903 (ABNT, 2020), o ensaio misto combina características dos métodos lento e rápido:

- Inicialmente, realiza-se o carregamento de forma lenta até atingir 1,2 vezes a carga de trabalho da estaca.
- Após essa etapa, o ensaio segue com o método de carregamento rápido.

4.7 Tipos de Carregamentos e Descarregamentos em Provas de Carga Estática

A prova de carga estática é um dos ensaios mais importantes para a validação do desempenho de fundações profundas, como estacas, verificando sua capacidade de carga e comportamento de recalque sob carregamentos aplicados de forma controlada. O procedimento está normatizado pela NBR 16.903 (ABNT, 2020), que especifica os métodos e diretrizes a serem seguidos.

Em conformidade com a NBR 16.903 (ABNT, 2020), o ensaio consiste na aplicação de cargas progressivas sobre o elemento estrutural, acompanhado pela medição dos deslocamentos resultantes. Além disso, o processo inclui o descarregamento gradual, para observar o comportamento elástico ou residual da fundação. Os métodos de carregamento e descarregamento utilizados nas provas de

carga estática são cruciais para garantir resultados confiáveis e incluem diferentes abordagens, conforme descrito a seguir.

4.7.1 Carregamento Progressivo

De acordo com a NBR 16.903 (ABNT, 2020), no método de carregamento progressivo, cargas são aplicadas em incrementos fixos e sucessivos, até atingir a carga máxima especificada no projeto ou o limite técnico do ensaio. Esse tipo de carregamento permite observar o comportamento da fundação em diferentes níveis de esforço.

Características do Carregamento Progressivo:

Incrementos de carga: Normalmente correspondem a 10% a 20% da carga de trabalho da estaca.

Duração de cada estágio: Cada incremento é mantido até que os deslocamentos estabilizem ou durante um período fixo, geralmente entre 15 a 60 minutos, conforme especificado pela NBR 16.903 (ABNT, 2020).

Medição: A cada incremento, os deslocamentos verticais são medidos com alta precisão, utilizando comparadores ou transdutores de deslocamento.

Objetivo: Permitir a análise da relação carga-recalque em diferentes níveis de solicitação, identificando deformações elásticas, plásticas e o limite de ruptura.

Carregamento com Picos Máximos

Nesse método, a carga é aplicada progressivamente até atingir o pico máximo estabelecido, que geralmente corresponde ao dobro da carga de trabalho da estaca. Após atingir o pico, a carga é mantida por um período definido para avaliar a resistência ao longo do tempo.

Características do Carregamento com Pico Máximo:

Manutenção da carga máxima: Normalmente por 12 a 24 horas, dependendo da finalidade do ensaio.

Avaliação de desempenho: Observa-se a capacidade de sustentação do elemento sem recalques significativos ao longo do tempo.

Objetivo: Verificar a segurança e a estabilidade da fundação sob condições extremas de carga.

4.7.2 Métodos Alternativos de Carregamento

Conforme a NBR 16.903 (ABNT, 2020), em algumas situações, podem ser utilizados métodos alternativos de carregamento, dependendo das características da obra e das condições do solo:

Carregamento Rápido: O carregamento rápido é uma metodologia em que a aplicação de cargas sobre o elemento estrutural é realizada em um curto intervalo de tempo. Esse método é geralmente utilizado em situações que requerem uma avaliação preliminar ou em obras que demandam respostas rápidas sobre a capacidade de carga da fundação.

Aplicação de carga: A carga é aplicada de forma contínua e progressiva, sem pausas prolongadas entre os incrementos, diferentemente do carregamento lento, onde há estabilização em cada etapa.

Monitoramento: Os deslocamentos são monitorados em tempo real, utilizando instrumentos de alta precisão, como relógios comparadores ou transdutores de deslocamento.

Objetivo: Determinar a relação carga-recalque de forma expedita, identificando rapidamente a capacidade de carga da estaca.

Carregamento Cíclico: O carregamento cíclico é uma metodologia que consiste em aplicar e retirar cargas repetidamente sobre o elemento estrutural. Esse método é útil para avaliar o comportamento da fundação sob condições dinâmicas ou de carregamento variável, como em fundações sujeitas a vibrações ou ciclos repetitivos de carga e descarga.

Ciclos de carga e descarga: A carga é aplicada em incrementos, como no carregamento progressivo, mas com a diferença de que, em cada estágio, ela é retirada parcialmente antes de ser aumentada novamente.

Monitoramento dos deslocamentos: Os deslocamentos são medidos durante cada ciclo, permitindo avaliar a recuperação elástica, as deformações plásticas e os recalques acumulados.

Objetivo: Estudar o comportamento da fundação em condições de fadiga e identificar o impacto de carregamentos repetitivos ao longo do tempo.

4.7.3 Descarregamento Gradual

Velloso e Lopes (2011), após o pico de carregamento, o ensaio passa para a fase de descarregamento, na qual as cargas são reduzidas de forma gradual, em etapas correspondentes aos incrementos aplicados durante o carregamento.

Características do Descarregamento Gradual:

Redução por etapas: As cargas são removidas em incrementos iguais aos utilizados no carregamento.

Observação de recalques residuais: Durante o descarregamento, mede-se o retorno da estaca ao estado inicial para determinar deformações elásticas e plásticas residuais.

Objetivo: Avaliar a recuperação da estaca após a remoção das cargas e identificar possíveis deformações permanentes.

4.8 Carga e recalque

Schnaid (2012), o ensaio consiste na aplicação gradual de cargas sobre uma estaca e na medição dos recalques associados, fornecendo dados reais sobre o comportamento da fundação. Após a execução do ensaio, a análise dos resultados se concentra principalmente na relação entre a carga aplicada e o recalque observado, fornecendo informações fundamentais para a validação ou ajuste dos projetos de fundações.

De acordo com a NBR 16.903 (ABNT, 2020), o processo envolve a aplicação progressiva de carga sobre a estaca, onde cada estágio da carga é mantido até que o recalque se estabilize ou atinja uma variação mínima em um intervalo de tempo pré-determinado. O objetivo é verificar como a fundação se comporta à medida que a carga é aumentada, identificando o ponto de ruptura ou a carga de trabalho, conforme descrito por AOKI e CINTRA (2000).

O recalque corresponde à deformação vertical da estaca sob o efeito da carga aplicada. Durante o ensaio, são registrados os deslocamentos em função do tempo e da carga aplicada, sendo esses dados cruciais para a análise posterior.

Schnaid (2012) destaca que a precisão no registro do recalque é essencial, pois ele permite avaliar não apenas a capacidade de suporte da estaca, mas também o comportamento do solo subjacente, como a compressibilidade e a capacidade de absorver cargas ao longo do tempo.

A análise da prova de carga estática envolve a interpretação gráfica da relação entre a carga aplicada e o recalque medido, geralmente apresentada em forma de gráfico carga x recalque. A curva resultante desse gráfico permite identificar dois pontos principais:

Carga de Ruptura: A carga de ruptura é o ponto em que o recalque se torna excessivo ou contínuo, sem estabilização. A NBR 16.903 (ABNT, 2020) especifica que a carga de ruptura ocorre quando o recalque atinge 10% do diâmetro da estaca, ou conforme critérios de ruptura elástica determinados pelos engenheiros de projeto.

Carga de Trabalho: É a carga máxima que pode ser aplicada à estaca sem que ocorra recalque excessivo. Segundo Bowles (1996), a carga de trabalho deve ser menor do que a carga de ruptura, garantindo um fator de segurança adequado para a fundação e prevenindo deformações que comprometam a estrutura a longo prazo.

Durante a análise, os engenheiros comparam os resultados obtidos no ensaio com as previsões do projeto. Velloso e Lopes (2011) afirmam que, quando a carga aplicada está dentro dos limites de recalque especificados, a estaca pode ser considerada segura e eficiente. Caso contrário, ajustes no dimensionamento das fundações ou o uso de técnicas de reforço podem ser necessários.

A avaliação da conformidade de uma estaca submetida ao ensaio de prova de carga estática é baseada em critérios normativos rigorosos. A NBR 16.903 (ABNT, 2020) estabelece que a estaca deve apresentar recalques compatíveis com a carga de trabalho prevista, garantindo que os deslocamentos estejam dentro dos limites aceitáveis para a segurança da estrutura. Além disso, a norma determina que o recalque residual, ou seja, a deformação remanescente após a remoção da carga, deve ser mínimo para assegurar a estabilidade da fundação.

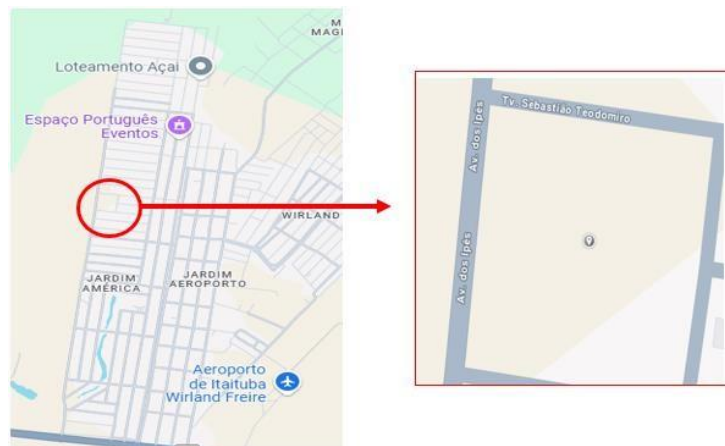
Segundo Terzaghi e Peck (1967), a análise da taxa de recalque e dos deslocamentos residuais é fundamental para garantir o desempenho adequado das

fundações ao longo do tempo. O monitoramento desses parâmetros permite avaliar a resposta do solo-estaca sob diferentes condições de carregamento, auxiliando na validação do dimensionamento e na detecção de possíveis problemas que possam comprometer a integridade estrutural da edificação.

5. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em um canteiro de obras localizado na cidade de Itaituba, no Bairro Jardim América, conforme ilustra o mapa da Figura 7.

Figura 7: Mapa de localização do Jardim América e área de estudo.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2025)

O planejamento e os métodos utilizados foram divididos em duas etapas distintas, visando assegurar um delineamento claro e objetivo do estudo.

A primeira etapa da pesquisa consistiu no acompanhamento da execução de aproximadamente 300 estacas hélice contínua, em um empreendimento denominado "Obra A".

A segunda etapa envolveu o acompanhamento da execução das provas de carga estática, conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 16.903 (ABNT, 2020). Essa norma estabelece a recomendação de que 1% do total de estacas executadas seja submetido ao ensaio de prova de carga estática ou, no mínimo, 10% para cada conjunto de 100 estacas. Diante disso, considerando que o projeto contemplou aproximadamente 300 estacas, a empresa responsável definiu a realização de três ensaios de prova de carga estática, visando garantir a segurança e a qualidade da obra.

Para a seleção das estacas a serem ensaiadas, a equipe de planejamento adotou o critério de realizar ao menos um ensaio por edificação presente no empreendimento. Dado que o projeto engloba um conjunto de edificações, como teatro, quadras poliesportivas e espaços voltados ao atendimento ao público, foi estabelecido que, como em cada prédio contempla cerca de 100 estacas, uma delas

seria escolhida para ensaio. A seleção das estacas ocorreu conforme atingiam a resistência necessária para o arrasamento e a posterior concretagem do bloco de reação, possibilitando a realização dos ensaios de maneira eficiente e garantindo o avanço adequado da construção.

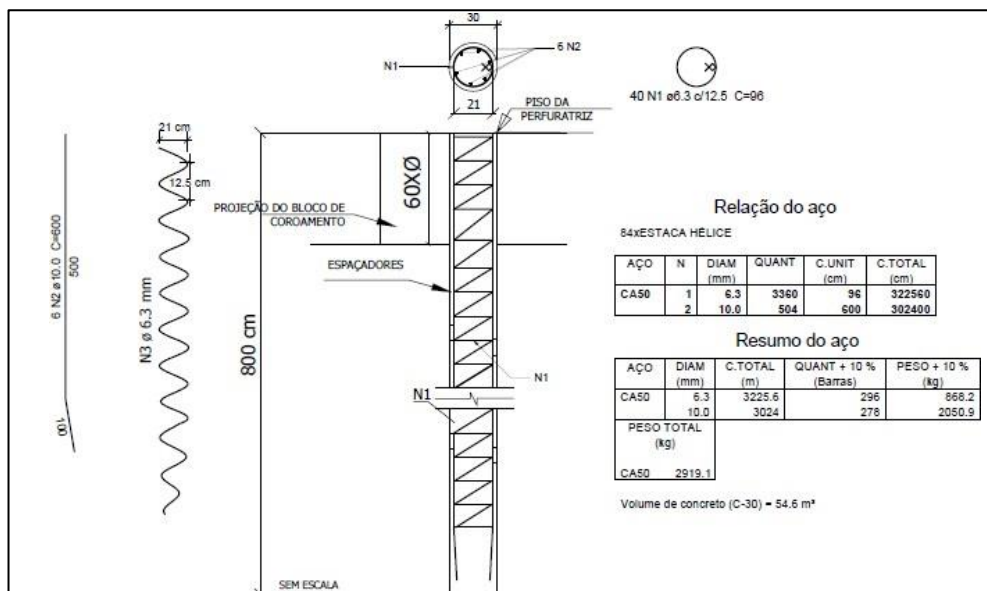
Para fins de identificação no presente estudo, as estacas selecionadas foram denominadas Estaca C, Estaca F e Estaca U.

5.1 Execução das estacas

Para a obtenção dos parâmetros de resistência do solo local, foram realizados quatro ensaios de SPT, no ano de 2023, na área de estudo indicada na Figura 7.

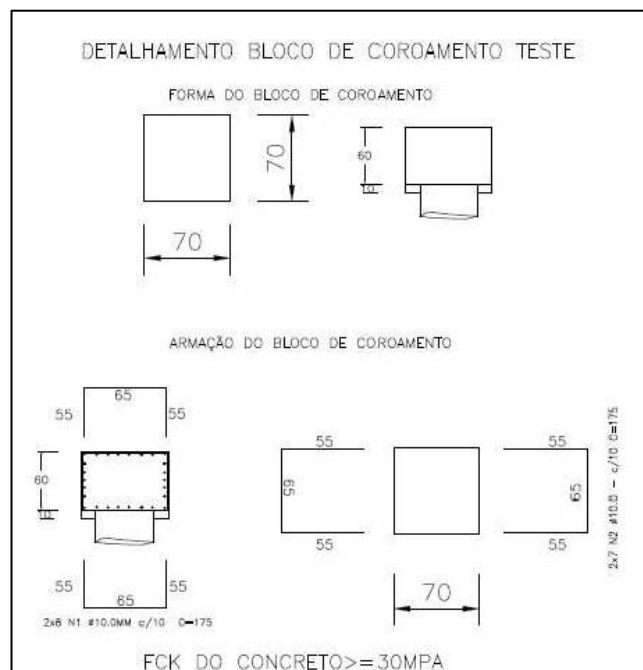
A execução das estacas hélice contínua teve início em março de 2024, totalizando a implantação de 284 estacas. Estas apresentavam aproximadamente 8,00 m de comprimento, 30 cm de diâmetro, e a mesma configuração de armadura, tanto para as estacas, quanto para os blocos de reação, conforme ilustram as Figuras 8 e 9.

Figura 8: Armadura das estacas ensaiadas



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Figura 9: Armadura dos blocos de coroamento ensaiados



Fonte: Acervo pessoal (2025).

Para a execução da perfuração das estacas, foi utilizado o suporte técnico da equipe de topografia, que detinha todos os projetos contendo as coordenadas fornecidas pelo setor de engenharia. O trabalho da topografia é de extrema importância em atividades dessa natureza, pois garante a precisão no posicionamento das estacas, prevenindo erros como excentricidades, que podem resultar em problemas estruturais, e comprometer a qualidade da fundação.

A escavação das estacas foi realizada com o uso de uma perfuratriz equipada com trado helicoidal, com 8,50 metros de comprimento, conforme ilustra a Figura 10. Esse equipamento assegurou a eficiência e a conformidade com os parâmetros técnicos exigidos para a execução.

Figura 10: Locação da estaca e perfuração da estaca.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

A concretagem das estacas foi realizada imediatamente após a conclusão do processo de perfuração. Este procedimento consistiu na retirada do trado helicoidal ao término da escavação, simultaneamente à injeção de concreto, garantindo a integridade da estaca durante toda a operação. Finalizada a concretagem, foi efetuada a inserção da armadura na estaca, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11: Concretagem e inserção da armadura.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

A resistência do concreto, foi um parâmetro importante avaliado na fase de execução das estacas. Tal monitoramento foi realizado pelo setor de qualidade, com o apoio da empresa terceirizada, responsável pela execução dos ensaios de resistência a compressão do concreto. O acompanhamento permitiu verificar que as estacas ensaiadas alcançaram a resistência requerida, de 30 MPa, em média 28 dias após a concretagem, garantindo a conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos no projeto.

Após a verificação quanto a resistência, foi iniciada a escavação para a construção do bloco de reação. Esse procedimento precedeu o arrasamento das estacas, que é um procedimento necessário, de modo a preparar as estacas para a concretagem do bloco de reação, elemento essencial para a realização das provas de carga estática, Figuras 12 e 13.

Figura 12: Escavação do bloco e arrasamento da estaca.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Figura 13: Concretagem do bloco de reação.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

É importante destacar que os blocos de reação utilizados para os ensaios foram previamente armados e concretados exclusivamente para esse propósito. Após a conclusão dos ensaios, esses blocos não foram aproveitados para uso posterior, sendo integralmente arrasados.

Em alguns casos, o arrasamento foi realizado de forma mais aprofundada, seguido da execução de novos blocos com armaduras específicas para atender às exigências do projeto.

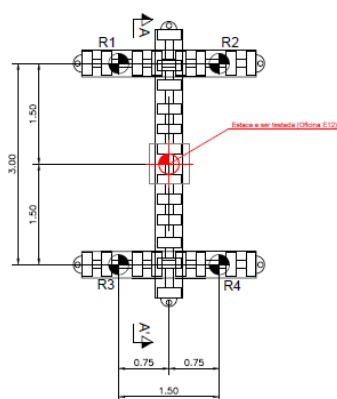
5.2 Execução do ensaio de prova de carga estática

Foram executadas três provas de carga a compressão, de acordo com as diretrizes estabelecidas na NBR 16.903 (ABNT, 2020), utilizando o método de


carregamento lento e controlado, em estacas localizadas em diferentes locais do canteiro de obras.


O procedimento do ensaio, iniciou com a montagem do sistema de reação, composto por quatro estacas do tipo hélice contínua monitorada, interligadas por vigas de aço que resistiam às cargas produzidas por meio do macaco hidráulico. A disposição dos componentes do sistema assegurou que a estaca ensaiada fosse solicitada de forma vertical, garantindo a precisão dos resultados, conforme ilustram as Figuras 14 e 15.

Figura 14: Sistema de reação implementado.



LEGENDA:

 ESTACA A SER ENSAIADA A COMPRESSÃO - HÉLICE CONTÍNUA D=30cm - 60,0 tf (2,0 X A CARGA DE TRABALHO) - OFICINA E12.

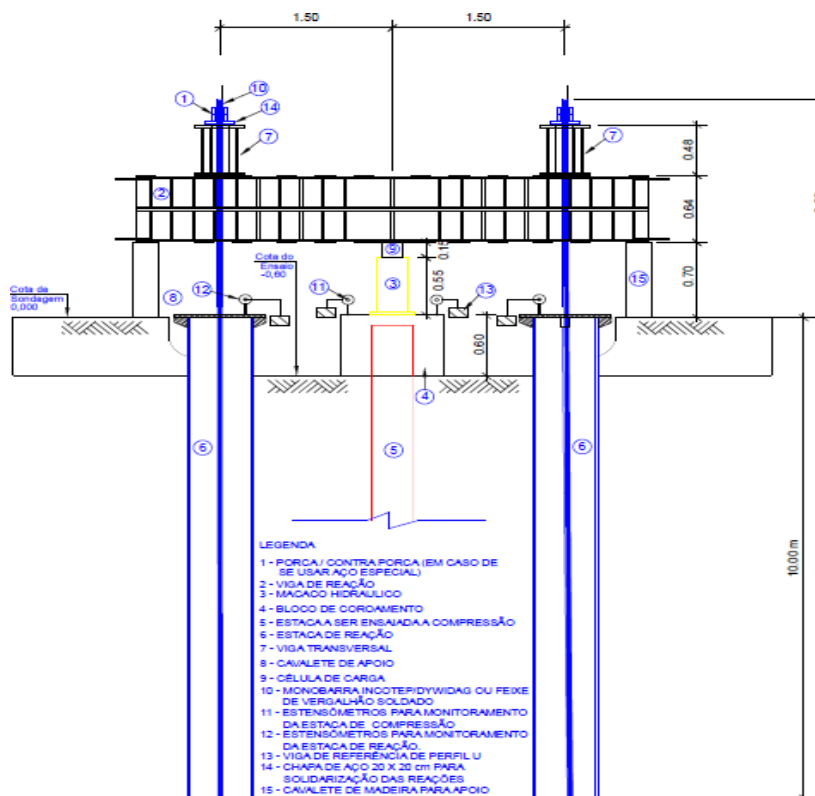
 ESTACA DO SISTEMA DE REAÇÃO - (HÉLICE CONTÍNUA) - 15,0tf DE TRAÇÃO, O COMPRIMENTO DE CRAVAÇÃO DEVERÁ SER DE 14m A PARTIR DA COTA DE SONDAGEM.

OBS 1: PARA A DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO MÍNIMO DAS ESTACAS DE REAÇÃO, ADOTOU-SE O MÉTODO DA MÉDIA DOS AUTORES, COM FATOR REDUTOR DE ATRITO LATERAL DE TRAÇÃO 0,7 E FATOR DE SEGURANÇA 2.

OBS 2: COTAS EM METRO.

Fonte: Acervo pessoal (2025).

Figura 15: Sistema de reação utilizado.



Fonte: Acervo pessoal (2025).

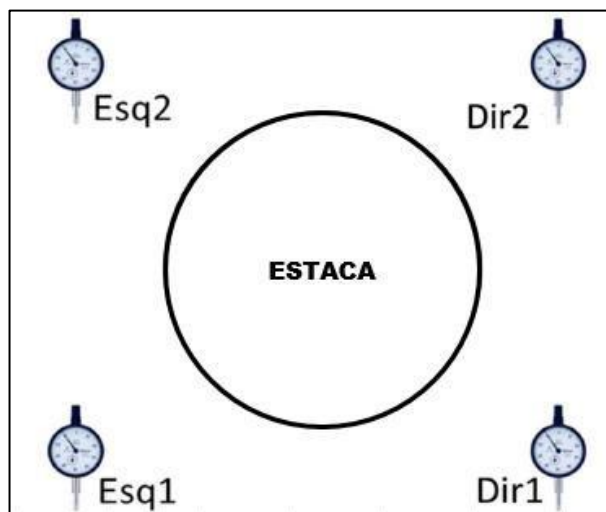
Após a conclusão da montagem do sistema de reação, destinado à execução do ensaio de prova de carga, foi iniciado o processo de aplicação das cargas de forma progressiva e controlada. As cargas máximas aplicadas às estacas C, F e U foram, respectivamente, 40 tf, 60 tf e 60 tf, valores esses que correspondem a aproximadamente duas vezes a carga vertical permanente média prevista por estaca nas edificações. Esse procedimento seguiu as diretrizes normativas, assegurando a avaliação adequada do desempenho das fundações sob solicitações extremas.

Cada estaca permaneceu carregada por um período de 12 horas, após foi iniciado o processo de descarregamento.

As medições dos deslocamentos verticais foram realizadas utilizando quatro relógios comparadores, posicionados estrategicamente ao longo do eixo axial de cada estaca. Os relógios apresentavam precisão de 0,01 mm, conforme exigido pelas normas técnicas.

A disposição dos instrumentos foi planejada para garantir a captura precisa dos deslocamentos em diferentes pontos da estaca testada, conforme representado na Figura 16.

Figura 16: Esquema de colocação de relógios.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Os ensaios realizados permitiram avaliar, com precisão, o comportamento carga-recalque das estacas hélice contínua monitorada sob diferentes condições de carregamento. Os resultados obtidos forneceram informações fundamentais para validar o dimensionamento das fundações e para garantir a segurança e a estabilidade das estruturas projetadas.

Todos os ensaios foram realizados a partir das 19h, horário estabelecido estrategicamente para ocorrer uma hora após o término do expediente da obra. Essa decisão foi tomada pelas lideranças e pelo setor de planejamento, uma vez que a equipe responsável pela execução do ensaio ressaltou a necessidade de um ambiente sem vibrações nas proximidades para garantir a precisão dos dados obtidos.

Destaca-se que não foi necessário interditar vias de trânsito próximas ao canteiro de obras, pois as ruas situadas no perímetro eram classificadas como vias locais, caracterizadas por um tráfego reduzido, o que minimizou impactos à mobilidade urbana.

A coleta de dados do ensaio foi realizada manualmente, utilizando-se uma tabela previamente fornecida pela empresa responsável pela execução dos testes. Esse documento continha campos específicos para o registro de eventuais ocorrências que não estavam previstas na execução do ensaio. Após a conclusão das

provas de carga, os dados obtidos foram organizados e transferidos para um sistema computacional, onde foram sintetizados em uma tabela eletrônica.

Com base nessa estrutura, foi gerado um gráfico representativo, possibilitando uma análise mais precisa da performance das estacas testadas. O principal objetivo dessa análise foi interpretar o comportamento das estacas sob diferentes condições de carga, além de avaliar a adequação do sistema solo-estaca em relação ao projeto estrutural.

coloração cinza-claro e areia amarela. Em níveis mais profundos, foi identificado um horizonte composto por argila orgânica arenosa.

Em virtude da similaridade dos laudos de sondagem, a apresentação dos resultados foi dividida em duas partes, sendo a primeira referente as Estacas C e F, e em seguida, para a Estaca U.

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios e máximos de deslocamentos observados para a Estaca C, durante a aplicação do carregamento, tanto na faixa correspondente à carga vertical permanente média de trabalho, quanto no carregamento máximo alcançado nos ensaios.

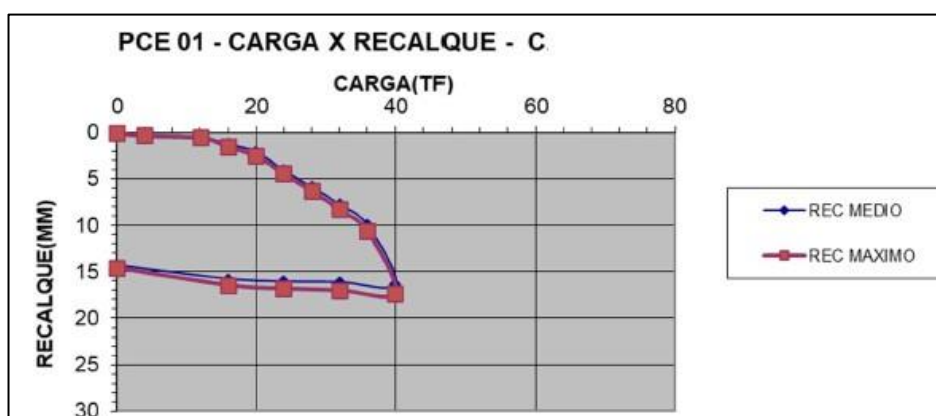
Tabela 1: Valores máximos e mínimos de deslocamentos, para a Estaca C.

Prova de carga	Estaca	Carga de trabalho máxima (tf)	Carga máxima de ensaio (tf)	Deslocamento vertical médio (mm)	Deslocamento vertical máximo (mm)
PCE 01	C	20	-	2,00	2,46
		-	40	16,35	17,31

Fonte: Acervo pessoal (2025)

O comportamento da estaca C nos estágios iniciais de carregamento foi analisado a partir dos dados apresentados na Tabela 1, e no Gráfico 1, que mostra a relação entre Carga x Recalque. Observa-se que, nas primeiras aplicações de carga, até 10 toneladas, os deflectômetros registraram deslocamentos inferiores a 1 mm, indicando que o deslocamento da estaca nesse intervalo é praticamente desprezível.

Gráfico 1: Carga x Recalque, para a Estaca C.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Ao atingir sua carga de trabalho nominal de 20 toneladas-força (tf), o deslocamento máximo observado foi de apenas 2 mm, considerado irrelevante em termos de impacto estrutural. Durante o aumento progressivo da carga, verificou-se que a cada incremento de 4 toneladas, o deslocamento da estaca aumentava aproximadamente 1 mm, demonstrando uma progressão proporcional e estável no comportamento da fundação.

No último estágio de carregamento, no qual a estaca foi submetida ao dobro da carga de trabalho nominal (40 tf), o deslocamento acumulado foi de 16,35 mm. De acordo com a NBR 16.903 (ABNT, 2020) – Prova de Carga Estática em Estacas, o recalque máximo permitido é de 10% do diâmetro da estaca. No caso da Estaca C, cujo diâmetro é de 30 cm, o deslocamento limite seria 30 mm (3 cm). Como o deslocamento observado foi de 16,35 mm (1,635 cm), a estaca está dentro dos limites normativos e, portanto, apta para uso.

Durante o estágio de descarregamento, o comportamento da estaca não foi completamente elástico, evidenciado pelo fato de que ela não retornou ao seu estado inicial. Embora tenha deslocado 16,35 mm no pico do carregamento, ao atingir cargas abaixo da carga de trabalho nominal, o deslocamento permaneceu próximo ao recalque máximo. Apenas quando a carga foi reduzida para 10 toneladas ou menos, o deslocamento estabilizou em 15 mm, mantendo-se constante até o final do descarregamento. Esse comportamento demonstra que a estaca apresentou deslocamentos residuais, sem retornar completamente à sua posição original.

Durante a execução da prova de carga da Estaca C, a atividade foi iniciada conforme o planejado. No entanto, após a segunda aplicação de carga, ocorreu uma interrupção no fornecimento de energia elétrica. Como o sistema de aplicação de carga utilizado no centro do bloco de reação era operado por um macaco hidráulico elétrico, a imposição das cargas foi comprometida.

Diante dessa situação, e visando garantir a precisão dos dados obtidos, optou-se por reiniciar o ensaio desde o início, assegurando que não houvesse interferências que pudessem comprometer a confiabilidade dos resultados.

A análise do comportamento da Estaca F, também tomou como base os dados coletados em campo, apresentados na Tabela 2, e no Gráfico 2.

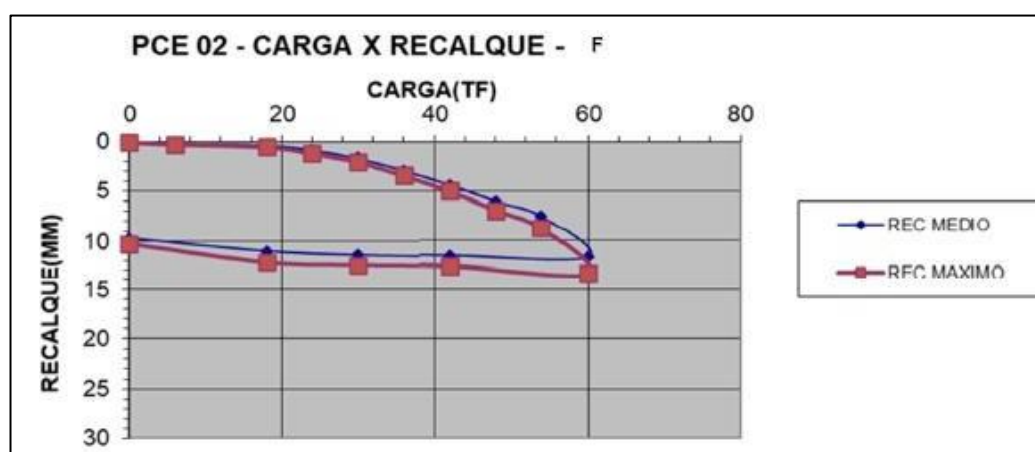
Tabela 2: Valores máximos e mínimos de deslocamentos, para a Estaca F.

Prova de carga	Estaca	Carga de trabalho máxima (tf)	Carga máxima de ensaio (tf)	Deslocamento vertical médio (mm)	Deslocamento vertical máximo (mm)
PCE 02	F	30	-	1,66	2,05
		-	60	11,72	13,39

Fonte: Acervo pessoal (2025)

Durante as cargas iniciais, que correspondem a aproximadamente 20 toneladas, ou cerca de 30% da carga máxima aplicada, observa-se que o recalque da estaca é irrelevante, não ultrapassando 1 mm, conforme é apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2: Carga x Recalque, para a Estaca F.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Conforme o incremento de carga foi aplicado e atingiu 50% da carga máxima de ensaio, correspondente à carga de trabalho da estaca, observou-se que os deslocamentos permaneceram dentro do limite estabelecido pela NBR 16.903 (ABNT, 2020), não ultrapassando 5% do valor permitido. Esse resultado evidencia um comportamento estrutural estável e seguro da fundação.

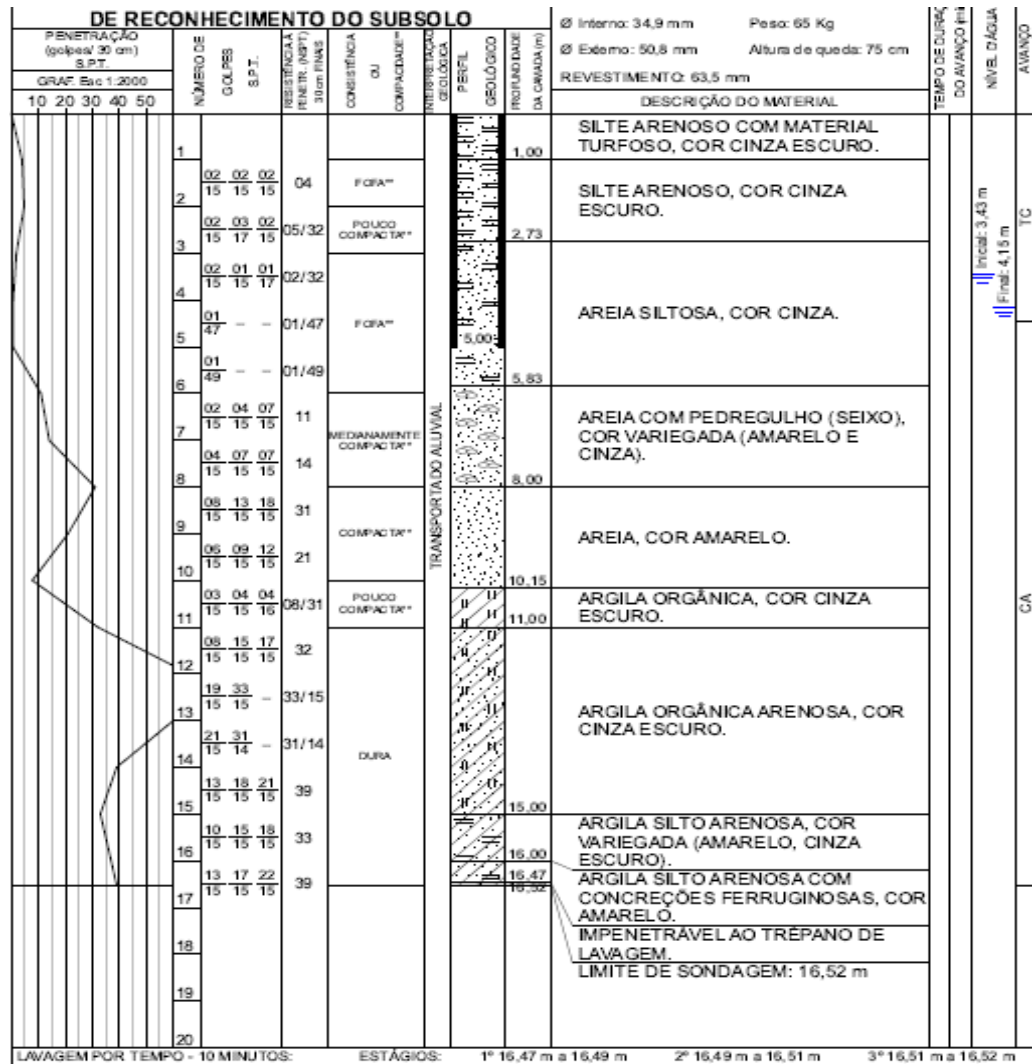
Os deslocamentos mais significativos, começaram a ser registrados a partir do incremento de carga na ordem de 60% da carga máxima de ensaio, que corresponde cerca a 40 toneladas. No Gráfico 2, é possível observar que nesse ponto, o deslocamento atingiu 5 mm, e, a partir daí, para cada incremento de 4 toneladas, os deslocamentos foram proporcionais.

Ao estágio final do ensaio, para a carga máxima de teste, equivalente a 60 toneladas, o deslocamento acumulado foi de 13,39 mm, mostrando que a estaca atende aos critérios normativos, por não ter ultrapassado o limite aceitável de 30 mm (3 cm), equivalente a 10% do diâmetro da estaca, que é de 30 cm.

Durante o descarregamento, a estaca não apresentou um retorno significativo ao estado inicial. A recuperação foi gradual e limitada, resultando em um deslocamento residual de 11 mm após o término do descarregamento. Isso indica que a estaca teve uma recuperação de apenas 2 mm.

A Estaca U, apresentou um perfil de solo diferente das Estacas C e F, conforme ilustra a Figura 18 .

Figura 18: Perfil do subsolo e resultados das sondagens SPT, para a Estaca U.



Fonte: Acervo pessoal (2025).

A análise do perfil do solo, conforme apresentado na imagem 18, indica que os primeiros metros são compostos por um solo siltoso arenoso de coloração cinza

escuro. Entre as cotas de 3 a 5 metros, observa-se a predominância de uma areia siltosa, mantendo a tonalidade cinza. A partir dos 5 metros de profundidade, o solo apresenta uma compactação média, com a presença de areia com pedregulhos, variando entre as cores amarela e cinza, até atingir aproximadamente 8 metros.

Após essa profundidade, verifica-se a predominância de uma areia amarela, que se estende até a cota de 10,15 metros, onde começa a ocorrer uma transição para um solo de características tipicamente orgânicas, evidenciado por sua coloração cinza escuro. Em sequência, observa-se uma camada de argila siltosa arenosa, que persiste até a cota de 16,47 metros. A partir desse ponto, o solo torna-se impenetrável à sondagem, sendo classificado como um terreno de elevada resistência, caracterizando-se como solo duro.

A análise do comportamento da Estaca U, apresentado na Tabela 3 e no Gráfico 3, demonstrou resultados consistentes e satisfatórios. Nos estágios iniciais de aplicação de carga, a estaca apresentou deslocamentos mínimos, com recalques inferiores a 1 mm, comportamento que se manteve até atingir a sua carga de trabalho nominal, de 30 toneladas, quando o deslocamento registrado foi de 1 mm e o deslocamento médio permaneceu em 0,68 mm.

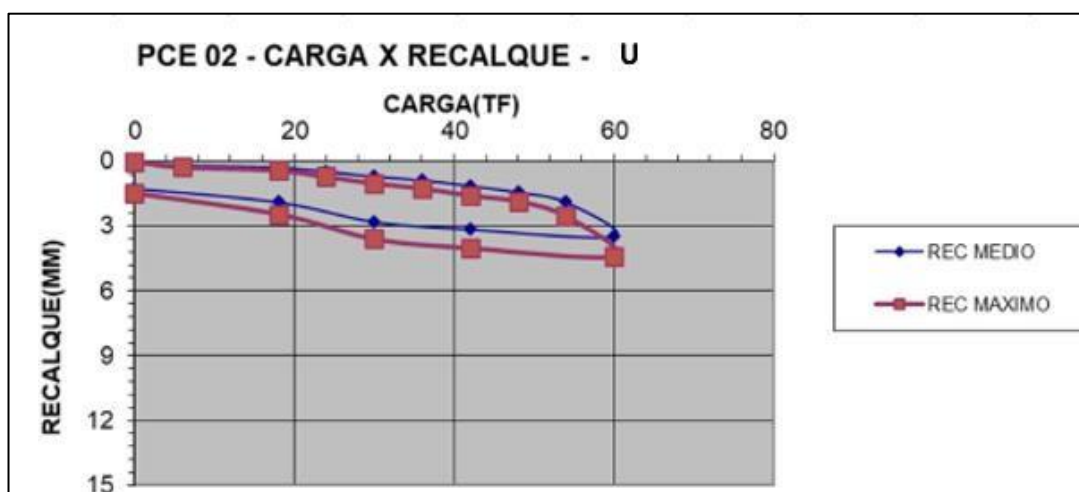
Tabela 3: Valores máximos e mínimos de deslocamentos, para a Estaca U.

Prova de carga	Estaca	Carga de trabalho máxima (tf)	Carga máxima de ensaio (tf)	Deslocamento vertical médio (mm)	Deslocamento vertical máximo (mm)
PCE 03	U	30	-	0,68	1
		-	60	3,45	4,39

Fonte: Acervo pessoal (2025)

Após a aplicação de 50% da carga máxima do ensaio, a estaca continuou a apresentar um comportamento estável, sem deslocamentos significativos. Durante o incremento de cargas, o deslocamento mais relevante foi observado na última carga aplicada, na qual o deslocamento variou de 2,78 mm a 4,39 mm, representando o único salto significativo em relação aos demais estágios do ensaio.

Gráfico 3: Relação Carga x Recalque, para a Estaca U.



Fonte: Acervo pessoal (2025)

Ao final das aplicações de carga, constatou-se que a estaca deslocou apenas 14% do limite admissível estabelecido pela norma, considerando que o recalque máximo permitido pela NBR 16.903 (ABNT, 2020) seria de 30 mm (equivalente a 10% do diâmetro da estaca). Assim, a estaca está plenamente apta para o uso, atendendo aos critérios normativos.

Durante o processo de descarregamento, observou-se que a estaca se manteve aproximada de seu deslocamento final até atingir a carga correspondente à sua carga de trabalho. A partir desse ponto, iniciou-se o retorno do deslocamento, que, após a retirada total das cargas, estabilizou-se em aproximadamente 2 mm, evidenciando a presença de uma deformação residual mínima, tendo uma característica bem presente de elasticidade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar o comportamento carga-recalque de estacas do tipo hélice contínua, submetidas a ensaios de prova de carga estática, em um contexto geotécnico caracterizado por solos de baixa resistência na cidade de Itaituba (PA). Para garantir a representatividade dos ensaios, foram selecionadas e monitoradas três estacas dentro de um universo de aproximadamente 300 estacas executadas na obra "A", conforme as diretrizes estabelecidas pela NBR 16.903 (ABNT, 2020).

Os ensaios realizados nas estacas C e F demonstraram que, nas fases iniciais de carregamento, os deslocamentos permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela norma, indicando um comportamento estrutural estável. Os deslocamentos mais significativos foram observados apenas quando a carga aplicada ultrapassou 50% da carga máxima do ensaio, comportamento que se manteve coerente ao longo dos testes. Após o descarregamento, os recalques residuais evidenciaram um comportamento parcialmente plástico dessas estacas. Essa característica pode ser atribuída à presença de solos argilosos no solo, que apresentam menor elasticidade quando comparados a solos arenosos, além da predominância de camadas medianamente compactas e pouco compactas, que influenciam na resposta ao carregamento.

Por outro lado, a estaca U apresentou comportamento distinto em dois aspectos principais. Primeiramente, os deslocamentos registrados durante as etapas iniciais de carregamento e até 50% da carga máxima foram consideravelmente menores do que aqueles observados nos outros dois ensaios. Além disso, após a aplicação da carga total do experimento, o deslocamento residual foi mínimo em comparação aos demais. A segunda diferença marcante foi a maior recuperação elástica dessa estaca após o descarregamento, evidenciando um retorno significativo próximo à sua posição original. Esse comportamento pode ser explicado pelo perfil geológico identificado no ensaio SPT, que contém camadas de solos arenosos mais compactos, favorecendo maior rigidez e menor deformação permanente.

A análise dos resultados confirma a viabilidade técnica da utilização de estacas hélice contínua em solos de baixa resistência, desde que os critérios normativos sejam rigorosamente seguidos e que haja um controle executivo adequado

durante a execução das fundações. A aplicação dos ensaios de prova de carga estática demonstrou ser essencial para validar o dimensionamento estrutural das fundações, garantindo segurança e eficiência para as edificações.

Portanto, este estudo contribui para o aprimoramento das práticas construtivas, reforçando a importância da investigação geotécnica detalhada e da realização de ensaios de campo para a validação do desempenho das fundações profundas. Como recomendação para estudos futuros, sugere-se a ampliação da amostragem dos ensaios e a avaliação de métodos de melhoria do solo, a fim de otimizar o desempenho das estacas em contextos geotécnicos semelhantes e proporcionar uma base de conhecimento mais ampla para a engenharia de fundações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Norma Brasileira 6122: Projeto e execução de fundações.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2022.

_____- ABNT. **Norma Brasileira 6484: Solo – Sondagem de simples reconhecimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2020.

_____- ABNT. **Norma Brasileira 8036: Programação de sondagens de simples reconhecimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1983.

_____- ABNT. **Norma Brasileira 16903: Prova de carga estática em fundação profunda.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2020.

ALMEIDA NETO, J. A. de. **Análise do Desempenho de Estacas Hélice Contínua e Ômega: Aspectos executivos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

ALONSO, U. R. **Complementação do banco de dados de provas de carga estáticas em estacas hélice contínua.** 5º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, p. 517 – 526. São Paulo, 2004.

ALONSO, U. R. **Reavaliação do método de capacidade de carga de estaca hélice contínua proposto por Alonso em 96 para duas regiões geotécnicas distintas.** 4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, p. 425 – 429. São Paulo, 2000b.

ANTUNES, W. R. e CABRAL, D. A. **Capacidade de carga de estacas hélice contínua.** 3º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, p. 105 – 109. São Paulo, 1996.

AOKI, N. **A new dynamic load test concept.** XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro, 1989.

AOKI, N. e VELLOSO, D. A. **An approximate method to estimate the bearing capacity of piles.** V Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, p. 367 – 376. Buenos Aires, 1975.

AOKI, N. e CINTRA, J. C. A. **Fundações por Estacas: Teoria e Prática.** Editora Pini. 2000.

BOWLES, J. E. **Foundation Analysis and Design.** McGraw-Hill. 1996.

CAMARGO, L. F. E. e ALBUQUERQUE, P. H. M. A. **Análise normativa de ensaio de prova de carga estática e estudo de caso em ponte de concreto armado.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil,

Universidade Federal do Pará. Tucuruí, 2022.

EICHELBERGER, L. V. **Avaliação da capacidade de carga geotécnica em estacas a partir dos métodos semiempíricos e provas de cargas estáticas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade federal de Santa Maria. Santa Maria, 2022.

GOOGLE MAPS. **Mapa**. Google Maps. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/place/Usina+da+Paz+-+Itaituba/@-4.2350722,-56.0160075,18z/data=!4m6!3m5!1s0x925fd9923d510557:0xe3272488ddcc174c!8m2!3d-4.2350722!4d-56.0148605!16s%2Fg%2F11svjrs9nb!5m2!1e4!1e2?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDIwNS4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D

MAGALHÃES, P. H. L. **Avaliação dos métodos de capacidade de carga e recalque de estacas hélice contínua via prova de carga**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

NETO, J. A. A. **Análise do desempenho de estacas hélice contínua e ômega – Aspectos executivos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2002.

PROBST, C. A., AGUIAR, M. F. P., MENDES, G. C. M. e OLIVEIRA, F. H. L. **Análise comparativa de métodos de determinação da capacidade de cargas em estacas hélice contínua com ensaios de prova de carga estática realizados em Uberaba – MG**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: Geotecnia em desenvolvimento. Salvador, 2018

RESENDE, G. P. e LOPES, R. M. **Comparativo entre fundações profundas: estaca hélice contínua e mini franki**. Monografia (Graduação de Engenharia Civil), Unievangélica. Anápolis, 2021.

ROMANINI, A. **Análise geotécnica em estcas hélice contínua no Município de SINOP – MT**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2019.

SCALLET, M. M. **Comportamento de estcas escavadas de pequeno diâmetro em solo laterítico e colapsível da Região de Campinas/SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2011.

SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas Aplicações na Engenharia Geotécnica**. Oficina de Textos, 2012.

SCHNAID, F. e ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas Aplicações na Engenharia Geotécnica, 2ª Edição**. Oficina de Textos. São Paulo, 2012.

TATSUOKA, F. e SHIBUYA, S. **Deformation characteristics of soils and rocks from field and laboratory tests. Keynote Lecture for Session 1**. 9th Asian Regional Conf on SMFE, v. 2, p. 101 – 170. Bangkok, 1991.

TECGEO SONDAGENS E FUNDAÇÕES. **Estacas Trado Mecânico**. TecGeo Sondagens e Fundações. Disponível em: <https://www.tecgeo.com.br/servicos/estacas-trado-mecanico-5>

TERZAGHI, K. e PECK, R. B. **Soil Mechanics in Engineering Practice**. John Wiley & Sons. 1967.

TEIXEIRA, A. L. **Estudo de caso de fundação em estaca tipo hélice contínua em sites de mineração: dimensionamento e análise comparativa**. Monografia (Especialização em Estruturas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

TOTAL CONSTRUÇÃO. **Estaca Hélice Contínua**. Total Construção. Disponível em: https://www.totalconstrucao.com.br/estaca-helice-continua/#google_vignette

VELLOSO, D. A. e LOPES, F. R. **Fundações – Teoria e Prática**. Editora Oficina de Textos. 2011.

WMS ENGENHARIA. **3ª Visita – Colocação de armadura sobre forma de madeira e concretagem**. WMS Engenharia. 2016. Disponível em: <https://engwms.blogspot.com/2016/06/3-colocacao-de-armadura-sobre-forma-de.html>