



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



IANY ANDRADE DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA COM
PONTA EM SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA E ALTA RESISTÊNCIA**

Maceió
2021

IANY ANDRADE DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA COM
PONTA EM SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA E ALTA RESISTÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito para
obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliane Andréia
Figueiredo Marques

Coorientadora: Eng.^a Carlla Rafaella Barros de
Andrade

Maceió

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Valter dos Santos Andrade

S237c Santos, Iany Andrade dos.

Comparação do desempenho de estaca hélice contínua com ponta em solo de baixa resistência e alta resistência / Iany Andrade dos Santos, Maceió – 2021.

63 f. : il.

Orientadora: Juliane Andréia Figueiredo Marques.

Coorientadora: Carlla Rafaella Barros de Andrade.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 52-53.

Anexos: f. 54-63.

1. Estaca. 2. Estaca hélice contínua. 3. Prova de Carga. 4. Desempenho.
I. Título.

CDU: 624.154

Folha de Aprovação

AUTORA: IANY ANDRADE DOS SANTOS

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA COM
PONTA EM SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA E ALTA RESISTÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito para
obtenção do título de Engenheira Civil.

ASSINATURAS:

Dr^a Juliane Andréia Figueiredo Marques, UFAL (orientadora)

Eng^a Carlla Rafaella Barros de Andrade, UFPE (coorientadora)

BANCA EXAMINADORA:

Luciana Correia Laurindo Martins Vieira, UFAL (avaliador interno)

Karlisson André Nunes da Silva, UFAL (avaliador externo)

AGRADECIMENTOS

À minha professora orientadora, Dr.^a Juliane Andréia Figueiredo Marques, pela sua orientação, dedicação, confiança e paciência para comigo na realização deste trabalho de conclusão de curso.

À minha co-orientadora, prima e também amiga, Eng.^a Carlla Rafaella Barros de Andrade, por toda orientação, conforto, direcionamento e dedicação me auxiliando para tornar este trabalho real.

Ao professor Dr. Eduardo Lucena, meu tutor e conselheiro, minha total gratidão pelos anos de convivência e dedicação que contribuíram diretamente na minha formação acadêmica e de conduta.

À AGM Geotécnica LTDA, por incentivar e investir na pesquisa, ciência e tecnologia, sobretudo por proporcionar os meios para realização deste trabalho.

Aos meus amigos petianos, mais velhos e mais novos, que puderam tornar mais leve cada dia de convivência na nossa sala incrível. Pelos momentos de descontração, dicas e orientações, muito obrigada.

À Universidade Federal de Alagoas, por ter me proporcionado uma experiência de superação e por todo conhecimento, e oportunidades que tive ao longo da graduação.

Aos meus amigos de turma, que tornaram tudo mais leve e me auxiliaram a enfrentar todos esses anos de graduação. Aos que se foram, juntamente com o passar dos períodos e as dificuldades e especialmente aos que ficaram até o fim compartilhando esse sentimento de fim de curso, vocês tiveram grande participação na minha jornada.

Aos meus pais e minha irmã, Francisco Andrade da Silva, Cícera Maria dos Santos e Izabela Andrade dos Santos, os seres humanos mais incríveis do mundo, que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos, bons e ruins. Sou grata por todo sacrifício que fizeram e fazem para me ver bem, feliz e realizando os meus sonhos. Obrigada pelo amor e pela família incrível que me apoia e me incentiva, amo vocês mais que tudo.

À minha filhinha, Maria Clara, que ainda se encontra na minha barriga, mas já é motivo de tanta alegria e de me fazer querer ser melhor a cada dia.

À Deus, por ter me proporcionado tudo isso que agradei, por todos os livramentos e graças alcançados em minha vida, por não me abandonar mesmo nos momentos em que eu menos mereço. Obrigada por todo cuidado e proteção.

RESUMO

SANTOS, I. A. **COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA COM PONTA EM SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA E ALTA RESISTÊNCIA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

A Engenharia de Fundações é uma área fundamentada em análise, prática e cautela para a tomada de decisões e soluções para os problemas que se apresentam (ANDRADE, 2003). As fundações são essenciais por se tratar de um elemento estrutural caracterizado pela função de distribuir as cargas no solo de modo a não provocar danos na estrutura da edificação a ser construída, ao terreno, e nas construções circunvizinhas. Os cálculos de capacidade de carga, assim como a previsão de profundidade dos elementos de fundação, necessitam que haja exploração do subsolo para o conhecimento da forma, composição e infraestrutura das camadas dos solos, desta forma, foi realizada a investigação por meio do Standard Penetration Test (SPT). O objetivo do presente trabalho é fazer uma análise comparativa do desempenho de estacas hélice contínua com pontas apoiada em solos de baixa resistência, com N_{spt} em torno de 4, e alta resistência, com N_{spt} em torno de 30, em um terreno localizado próximo à beira mar, na cidade de Maceió-AL. Utilizando os métodos de Décourt e Quaresma (1978), Antunes e Cabral (1996) e Prova de Carga tornou possível comparar o comportamento das estacas. Pôde-se verificar com o método semiempírico de Décourt e Quaresma que a resistência de ponta tem influência de 35%, para a estaca longa, e 9% para a estaca mais curta. Pelas provas de carga observou-se que para a estaca em solo com N_{spt} 4, houve um recalque de 45% a mais que a em N_{spt} 30, mas que ambos são considerados adequados para estacas do tipo hélice contínua. Desta forma, é considerado que, para pilares com menor carga, como pilares de periferia, as estacas apoiadas em solo com menor resistência tornam-se mais qualificadas, principalmente levando em consideração a economia de material e mão de obra.

Palavras chave: Estaca, Hélice Contínua, Desempenho e Prova de Carga.

ABSTRACT

SANTOS, I. A. **COMPARISON OF CONTINUOUS PROPELLER CUTTING WITH TIP ON LOW STRENGTH AND HIGH STRENGTH SOIL.** Course Completion work (Graduation - Bachelor of Civil Engineering) - Federal University of Alagoas, Maceió.

Foundation Engineering is an area based on analysis, practice and caution for decision making and solutions to the problems that arise (ANDRADE, 2003). Foundations are essential because they are a structural element characterized by the function of distributing loads on the ground so as not to cause damage to the structure of the building to be built, to the land, and to the surrounding buildings. The carrying capacity calculations, as well as the prediction of depth of the foundation elements, require the exploration of the subsoil for the knowledge of the form, composition and infrastructure of the soil layers, thus, the investigation was carried out using the Standard Penetration Test (SPT). The objective of the present work is to carry out a comparative analysis of the performance of continuous helix piles with tips supported on low resistance soils, with N_{spt} around 4, and high resistance, with N_{spt} around 30, in a land located close to the edge. sea, in the city of Maceió-AL. Using the methods of Décourt and Quaresma (1978), Antunes and Cabral (1996) and Load Test made it possible to compare the behavior of the cuttings. It was possible to verify with the semi-empirical method of Décourt and Quaresma that the cutting edge strength has an influence of 35% for the long stake and 9% for the shorter stake. Through the load tests, it was observed that for the pile in soil with N_{spt} 4, there was a settlement of 45% more than that with N_{spt} 30, but that both are considered adequate for piles of the continuous helix type. Thus, it is considered that, for pillars with less load, such as pillars on the periphery, piles supported on soil with less resistance become more qualified, especially taking into account the savings in material and labor.

Keywords: Stake, Continuous Propeller, Performance and Load Test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplificação de (a) Fundação Superficial e (b) Fundação Profunda. ...	15
Figura 2 - Principais tipos de fundações profundas: (a) Estaca, (b) Tubulão e (c) Caixaão.	16
Figura 3 - Classificação dos tipos de estacas.	17
Figura 4 - Etapas da execução de uma estaca hélice contínua.	18
Figura 5 - Estaca submetida à carga de ruptura de compressão.	20
Figura 6 - Esquema geral do sistema utilizado na execução de prova de carga.	24
Figura 7 - Localização do empreendimento.	25
Figura 8 - Disposição dos furos de sondagem	27
Figura 9 - Execução dos furos de sondagem	28
Figura 10 - Furo de Sondagem SP-1	29
Figura 11 - Furo de Sondagem SP-2	30
Figura 12 - Furo de Sondagem SP-3	31
Figura 13 - Disposição da EST-74 no perfil de sondagem mais próximo	32
Figura 14 - Disposição da EST-129 no perfil de sondagem mais próximo	33
Figura 15 - Locação das estacas de reação e EST-74 ensaiada	37
Figura 16 - Locação das estacas de reação e EST-129 ensaiada	38
Figura 17 – Comparativo metro a metro da resistência de ponta das estacas	40
Figura 18 - Comparativo metro a metro da resistência lateral das estacas	41
Figura 19 – Comparativo metro a metro da carga última das estacas	42
Figura 20 – Comparativo metro a metro da resistência de ponta das estacas	44
Figura 21 – Comparativo metro a metro da resistência lateral das estacas	45
Figura 22 – Comparativo metro a metro da carga última das estacas	46
Figura 23 - Curva Carga x Recalque da EST-74	47
Figura 24 – Curva Carga x Recalque EST-129	48
Figura 25 - Comparação das curvas Carga x Recalque	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator α_{Dec}	21
Tabela 2 – Fator β_{Dec}	22
Tabela 3 – Coeficiente característico do solo, K	22
Tabela 4 - Parâmetros que dependem do tipo de solo.....	23
Tabela 5 - Dados de execução da estaca 74	34
Tabela 6 - Dados de execução da estaca 129	35
Tabela 7 - Dados de prova de carga EST-74.....	36
Tabela 8 - Dados de prova de carga EST-129.....	38
Tabela 9 – Resumo de resultados do método Décourt e Quaresma.....	39
Tabela 10 - Resumo de resultados do método Antunes e Cabral.....	43
Tabela 11 - Quantitativo do volume de concreto	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ap	Área da Ponta da Estaca
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Diâmetro da Estaca
kN	QuiloNewton
kPa	QuiloPascal
L	Comprimento da Estaca
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetro
N	Média dos índices de resistência a penetração do ensaio SPT da camada
N _p	Índice de resistência à penetração do SPT referente à camada logo abaixo da ponta
N _{pant}	Índice de resistência à penetração do SPT referente à camada anterior à ponta
N _{pméd}	Média dos índices de resistência a penetração do SPT na ponta
N _{ppost}	Índice de resistência à penetração do SPT referente à camada posterior à ponta
NA	Nível d'Água
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
N _{SPT}	Índice de Resistência à Penetração
P	Perímetro da Ponta da Estaca
RI	Resistência de Atrito Lateral
R _p	Resistência de Ponta
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

α	Coeficiente do método Décourt e Quaresma (1996)
β	Coeficiente do método Décourt e Quaresma (1996)
β_1	Coeficiente de atrito lateral que depende do tipo de solo (Antunes e Cabral, 1996)
β_2	Parâmetro para o cálculo da resistência de ponta que depende do tipo de solo (Antunes e Cabral, 1996)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	FUNDAÇÕES	14
2.1.1	<i>Estacas Hélice Contínua</i>	17
2.2	CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA	19
2.2.1	<i>Método Décourt e Quaresma (1996)</i>	21
2.2.2	<i>Método Antunes e Cabral</i>	22
2.3	PROVA DE CARGA	23
3	ESTUDO DE CASO	25
3.1	DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA OBRA EM ESTUDO	25
3.2	SONDAGEM SPT (STANDARD PENETRATION TEST)	25
3.3	ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA	31
3.4	CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA	35
3.5	PROVAS DE CARGAS ESTÁTICAS	36
3.5.1	<i>ESTACA 74</i>	36
3.5.2	<i>ESTACA 129</i>	37
4	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	39
4.1	CAPACIDADE DE CARGA	39
4.1.1	<i>Método Décourt e Quaresma</i>	39
4.1.2	<i>Método Antunes e Cabral</i>	42
4.2	PROVA DE CARGA	46
4.2.1	<i>ESTACA 74</i>	47
4.2.2	<i>ESTACA 129</i>	47
4.2.3	<i>COMPARATIVO DAS CURVAS CARGA X RECALQUE</i>	48
4.3	QUANTITATIVO DE CONCRETO	49
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	50
	REFERÊNCIAS	52
6	ANEXOS	54

6.1	ANEXO A - CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DA ESTACA 74 PELO MÉTODO DÉCOURT E QUARESMA.	54
6.2	ANEXO B - CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DA ESTACA 129 PELO MÉTODO DÉCOURT E QUARESMA.	55
6.3	ANEXO C - CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DA ESTACA 74 PELO MÉTODO ANTUNES E CABRAL.	56
6.4	ANEXO D - CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DA ESTACA 129 PELO MÉTODO ANTUNES E CABRAL.	57
6.5	ANEXO E – CARREGAMENTO VERTICAL À COMPRESSÃO DA ESTACA 129.	58
6.6	ANEXO F – DESCARREGAMENTO VERTICAL À COMPRESSÃO DA ESTACA 129.	60
6.7	ANEXO G – CARREGAMENTO VERTICAL À COMPRESSÃO DA ESTACA 74.	61
6.8	ANEXO H – DESCARREGAMENTO VERTICAL À COMPRESSÃO DA ESTACA 74.	63

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia de Fundações é uma área fundamentada em análise, prática e cautela para a tomada de decisões e soluções para os problemas que se apresentam (ANDRADE, 2003). Os cálculos de capacidade de carga, assim como a previsão de profundidade dos elementos de fundação, necessitam que haja exploração do subsolo para o conhecimento da forma, composição e infraestrutura das camadas dos solos.

A proporção da investigação geotécnica a ser realizada, depende dos riscos envolvidos, da dimensão da obra e das características do meio físico onde está inserida. Estes fatores combinados possibilitarão a escolha da estratégia a ser efetuada no projeto (SCHNAID; ODEBRECHT, 2014). Os tipos de solos de um terreno são fatores preponderantes quando se trata da execução de fundações na Construção Civil. Conhecer o terreno a ser construído é fundamental para compreender as peculiaridades que o solo possa apresentar.

No Brasil, grande parte dos projetos de fundações profundas, que objetivam a previsão de capacidade de carga das estacas, são baseados principalmente em sondagens do tipo SPT. Através dessas sondagens são obtidos dados, como tipo de solo, índice de resistência à penetração (N_{SPT}) e posição do lençol freático. Para possibilitar a escolha do tipo de fundação, são necessários vários estudos, tendo como principal deles o conhecimento do solo em que se está trabalhando (CAPUTO, 2003).

Por meio do N_{SPT} é possível prever a capacidade de carga das fundações profundas, contudo quando se trata de previsão de capacidade de carga, as incertezas são inúmeras, fazendo com que vários pesquisadores estudassem métodos semi-empíricos para determiná-los.

Tendo sido introduzida no Brasil apenas no final da década de 80, dentre os tipos de estacas, a estaca hélice contínua vem ganhando cada vez mais visibilidade, pelas suas inúmeras vantagens no processo executivo – grande produtividade e baixo nível de vibração - pode-se observar uma crescente utilização deste método (VELLOSO; LOPES, 2010).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é fazer uma análise comparativa do desempenho de estacas hélice contínua com pontas apoiada em solos de baixa e alta resistência, em um empreendimento localizado na cidade de Maceió – AL. O trabalho busca ainda, com esse comparativo, viabilizar uma otimização de escolha da profundidade da estaca, levando em consideração a segurança e economia.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar resultados obtidos no ensaio da prova de carga;
- Comparar resultados estimados nos métodos semi-empíricos;
- Otimizar utilização de estacas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A ampla utilização das estacas hélice contínua em fundações no Brasil, torna esse elemento estrutural um objeto de grande interesse para estudos e análises. Com o intuito de possibilitar ainda mais a disseminação de seu uso, proporcionar um melhor entendimento do desempenho da estaca hélice contínua em solos de diferentes resistências e dessa forma possibilitar uma otimização do processo, analisando se há melhor viabilidade de executar estacas mais curtas mesmo com a redução da carga admissível. O presente trabalho é proposto visando garantir uma maior economia para a obra, visto que estacas mais curtas terão uma maior rapidez de execução, além da economia em materiais.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos, estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1 (Introdução) – há a inserção do tema da monografia dentro do contexto geral, expondo as justificativas e os objetivos a serem alcançados na pesquisa;

- Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica) – apresenta uma revisão da literatura técnico-científica, com intuito de situar o leitor em relação ao desenvolvimento das pesquisas no tema;
- Capítulo 3 (Metodologia) – relata aspectos considerados importantes sobre a metodologia utilizada na pesquisa, expondo os materiais e métodos empregados nos ensaios;
- Capítulo 4 (Apresentação e Interpretação dos Resultados) – apresenta os resultados obtidos e suas análises;
- Capítulo 5 (Conclusões e Sugestões) – expõe as conclusões obtidas durante a fase experimental da pesquisa e as sugestões para futuras pesquisas que forem desenvolvidas sobre o tema em pauta;
- Referências Bibliográficas – apresenta todas as referências que foram citadas ao longo deste trabalho.

Ao final estão incluídos os Anexos, onde constam as tabelas resultantes dos ensaios realizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

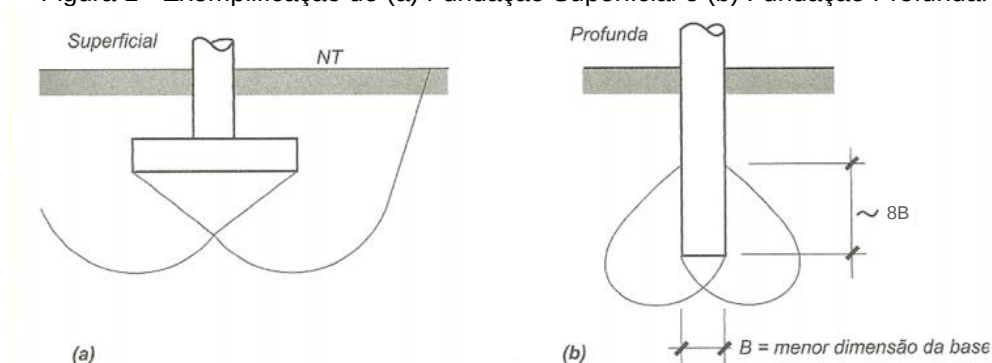
2.1 FUNDAÇÕES

Segundo Azeredo (1977) as fundações são definidas como elementos estruturais que tem como finalidade transmitir ao solo as cargas de uma estrutura. De acordo com a NBR 6122 (2019), as fundações podem ser divididas em dois grandes grupos: fundações rasas e fundações profundas.

São classificadas como fundações superficiais (ou rasas) àquelas em que a profundidade de assentamento da base é inferior ao dobro de sua menor dimensão. Alguns exemplos de fundações superficiais são as sapatas, as sapatas associadas, as sapatas corridas, os blocos e os radiers.

São classificadas como fundações profundas àquelas que são assentadas em profundidades superiores ao dobro de sua menor dimensão em planta e no mínimo 3 metros. Esse tipo de fundação transmite a carga ao solo através de sua base (resistência de ponta), através da superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas. O tubulão e as estacas são exemplos de fundações profundas.

Figura 1 - Exemplificação de (a) Fundação Superficial e (b) Fundação Profunda.



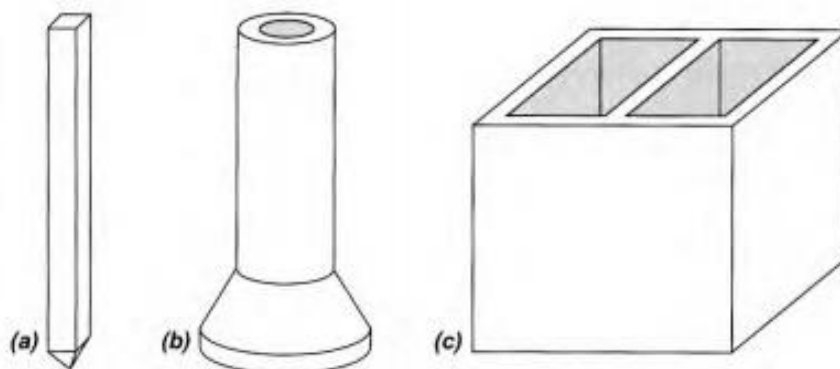
Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

Visto que o presente trabalho tem como foco o estudo das fundações profundas, este tema será abordado de forma mais prolongada.

Segundo (VELLOSO; LOPES, 2010), as fundações profundas são subdivididas em três grupos:

- Estaca - elemento de fundação profunda totalmente realizada por intermédio de ferramentas ou equipamentos, deste modo, em nenhum momento de sua execução há trabalho manual em profundidade. As estacas podem ser de diferentes materiais: madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco, argamassa, calda de cimento, ou até mesmo uma combinação dos materiais anteriores (NBR 6122, 2019).
- Tubulão - elemento de fundação profunda com formato cilíndrico que é executado de forma que ao menos em sua fase final, torna-se indispensável a descida de um operário para executar o alargamento ou somente a limpeza da sua base (NBR 6122, 2019).
- Caixão - elemento de fundação profunda com formato prismático, trata-se de uma estrutura pré-moldada e cuja instalação se dá por escavação interna. Este método construtivo não está citado na NBR 6122/2019.

Figura 2 - Principais tipos de fundações profundas: (a) Estaca, (b) Tubulão e (c) Caixaão.



Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

Dentro da classificação de fundações profundas daremos um destaque as estacas, visto que esse método construtivo é amplamente utilizado na construção civil, principalmente em solos de baixa resistência submetidos à altas tensões (VELLOSO; LOPES, 2010). Reflexo da praticidade, elevada capacidade em resistir carregamentos e também por ser solução para contenções e reforços de taludes.

Conforme a NBR 6122 (2019) as estacas podem ser classificadas conforme tipo de execução e pelo tipo de material utilizado, sendo estas: de madeira, de concreto pré-moldado e de aço cravadas (por percussão, prensagem ou vibração), estaca tipo Strauss, tipo Franki, estaca escavada (sem revestimento, com revestimento de aço - provisório ou perdido - e com escavação estabilizada por fluido), estaca raiz, microestaca injetada e estaca hélice.

De acordo com o tipo de execução, pode-se classificá-las como estacas de deslocamento, sem deslocamento ou de substituição. São chamadas “de deslocamento” àquelas que promovem a movimentação do solo para que a estaca ocupe o espaço deixado. Às “sem deslocamento” são àquelas que promovem a remoção do solo para que posteriormente haja a ocupação pela estaca. E em casos que há um pequeno deslocamento do solo, ou alguma medida para manter o equilíbrio das tensões, classifica-se de forma intermediária como “sem deslocamento”. (VELLOSO; LOPES, 2010). A classificação completa das estacas pode ser observada na figura 3.

Figura 3 - Classificação dos tipos de estacas.

Tipo de execução	Estacas
De deslocamento	Grande (i) Madeira, (ii) pré-moldadas de concreto, (iii) tubos de aço de ponta fechada, (iv) tipo Franki, (v) microestacas injetadas
	Pequeno (i) Perfis de aço, (ii) tubos de aço de ponta aberta (desde que não haja embuchamento na cravação), (iii) estacas hélice especiais ("estacas hélice de deslocamento")
Sem deslocamento	(i) Escavadas com revestimento metálico perdido que avança à frente da escavação, (ii) estacas raiz
De substituição	(i) Escavadas sem revestimento ou com uso de lama, (ii) tipo Strauss, (iii) estacas hélice contínua em geral

Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

A estaca tipo hélice contínua, que foi a escolhida para o empreendimento em questão, será tema de discussão para o tópico seguinte.

2.1.1 Estacas Hélice Contínua

De acordo com a NBR 6122 (2019), a estaca hélice contínua é um elemento estrutural de concreto moldada in loco. A execução se dá pela introdução de um trado helicoidal no solo, por rotação, onde simultaneamente à sua retirada, ocorrerá a injeção de concreto pela própria haste central do trado, e, imediatamente após a concretagem, deve-se inserir a armadura da estaca.

Este tipo de estaca foi introduzida no Brasil apenas no final da década de 80, mas ainda eram utilizados equipamentos inadequados para a sua execução. Apenas em meados da década de 90 foram exportados da Europa equipamentos que dispunham do monitoramento eletrônico das estacas hélice contínua, desta forma, possibilitou o barateamento desse tipo de estaca e tornando-a mais competitiva no mercado (MAGALHÃES, 2015).

Sua competitividade aumentou ainda mais devido as vantagens da sua utilização, como:

- Maior produtividade quando comparada a outras estacas;

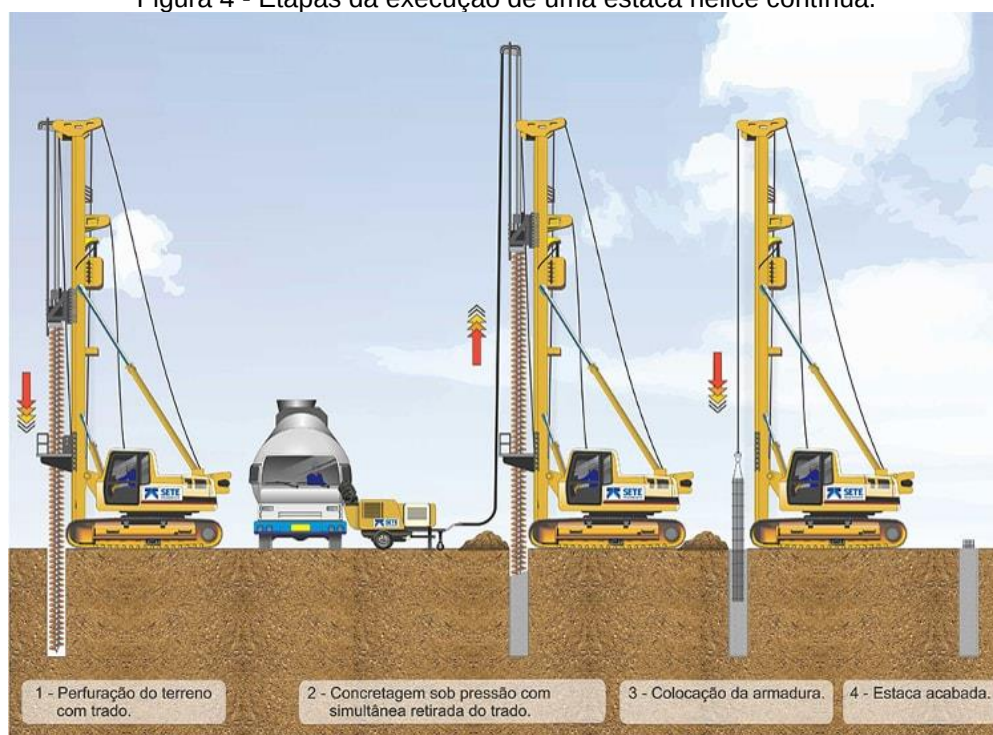
- Consegue atingir grandes diâmetros e profundidades;
- Baixo nível de vibrações no solo;
- Pode ser executada mesmo com presença do lençol freático;

Suas desvantagens também devem ser analisadas e avaliadas antes de escolher o tipo de estaca que será executada, os principais pontos desfavoráveis da utilização da hélice contínua são:

- Impossibilidade de perfurar solos com presença de rochas e matacões;
- Equipamento grande, necessitando de ampla área para execução;
- Deve ser utilizada em terrenos planos ou com pouca inclinação;

Seu método executivo, de acordo com Velloso e Lopes (2010), e conforme apresentado na Figura 4, é dividido em três estágios: perfuração, concretagem e armação.

Figura 4 - Etapas da execução de uma estaca hélice contínua.



Fonte: Fundações Sete, 2015.

Para iniciar o processo de perfuração, deve-se garantir que o equipamento apresente as características de torque e força de arranque mínimas pedidas pelo

projeto para possibilitar a execução, assim como permitir a profundidade e diâmetro especificados. A perfuração será realizada pela introdução contínua do trado por meio de rotação, até a cota de projeto, após a perfuratriz ser devidamente posicionada. Nesta fase é importante ressaltar que o trado não deve ser retirado em nenhum momento, até que seja atingido a cota de projeto.

Após alcançar a profundidade estimada para a estaca, deve-se iniciar a fase de concretagem. O concreto será bombeado ininterruptamente através de um tubo central localizado no próprio trado, este processo ocorre simultaneamente à retirada do trado do solo, com uma velocidade de extração tal que mantenha uma pressão positiva no concreto que está sendo introduzido, essa pressão do concreto garantirá que os vazios causados pela extração do trado sejam preenchidos. Durante a execução deve-se fazer o monitoramento eletrônico e registrar ao menos a velocidade de subida do trado, a pressão e o volume do concreto bombeado. Esse processo se dá até uma altura de concretagem acima da cota de arrasamento (NBR 6122, 2019).

A etapa de armação da etapa hélice contínua deve ser executada imediatamente após a finalização da concretagem e limpeza de impurezas que possa haver no topo da estaca, visto que com o passar do tempo tornar-se-á cada vez mais difícil introduzir a armadura no concreto. Para facilitar a execução a armadura deve ser enrijecida, com a ponta ligeiramente curvada em formato de cone, pode-se utilizar vibradores, o próprio trado para auxiliar o afundamento, além de se fazer uso de centralizadores, com o intuito de manter a armadura centralizada no meio da estaca.

2.2 CÁLCULO DE CAPACIDADE DE CARGA

A capacidade de carga de uma fundação é definida como a tensão transmitida pelo elemento de fundação capaz de provocar a perda do equilíbrio estático, deslocamentos que comprometam a segurança ou a sua deformação excessiva.

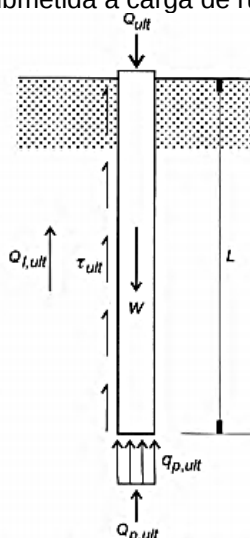
De acordo com a NBR 6122 (2019), há diferentes métodos para o cálculo de capacidade de carga, sendo eles:

- Prova de carga: é realizada de acordo com a ABNT NBR 12131, cujos resultados devem ser interpretados levando-se em consideração as relações de comportamento entre o recalque e os esforços aplicados;

- Métodos teóricos: deve-se empregar soluções teóricas conjuntamente das propriedades de resistência ao cisalhamento e compressibilidade dos solos;
- Métodos empíricos: é realizada levando apenas em consideração a classificação das camadas do solo. Esse método tem como retorno uma estimativa grosseira;
- Métodos semi-empíricos: os cálculos levam em consideração ensaios de penetração realizados in situ.

Para possibilitar o cálculo dos métodos estáticos, considera-se que há o equilíbrio entre a carga aplicada e o peso próprio da estaca juntamente com a resistência advinda do solo.

Figura 5 - Estaca submetida à carga de ruptura de compressão.



Fonte: Velloso; Lopes, 2010.

Para expressar o equilíbrio da figura 5 pode-se escrever a equação 1:

$$Q_{ult} + W = Q_{p,ult} + Q_{l,ult} \quad (1)$$

Onde:

Q_{ult} = Carga última da estaca;

W = Peso próprio da estaca;

$Q_{p,ult}$ = Capacidade de carga da ponta ou base;

$Q_{l,ult}$ = Capacidade de carga do fuste.

2.2.1 Método Décourt e Quaresma (1996)

O método foi desenvolvido, inicialmente, para estacas pré-moldadas de concreto e posteriormente foi estendido para estacas escavadas em geral. De acordo com Décourt e Quaresma, esse método apresenta um processo para a estimativa da capacidade de carga de ruptura, baseado exclusivamente em resultados de ensaios SPT. A expressão proposta é:

$$R_t = R_p + R_l = \alpha_{D\acute{e}c} \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + \beta_{D\acute{e}c} \cdot 10 \left(\frac{N_l}{3} + 1 \right) P \cdot L \quad (2)$$

Onde:

R_t = Carga última da estaca, em kN;

$\alpha_{D\acute{e}c}$ e $\beta_{D\acute{e}c}$ = coeficientes dependentes do tipo de solo e estaca (Tabela 2 e Tabela 3);

K = coeficiente em função do tipo de solo (Tabela 4);

N_p = média do valor do NSPT na cota de apoio da ponta e o imediatamente anterior e posterior;

A_p = área da ponta, em m²;

N_l = valor do NSPT, obtido fazendo-se a média dos índices de resistência à penetração do SPT ao longo do fuste da estaca, sem considerar os valores que serão utilizados na resistência de ponta;

P = perímetro do fuste, em m;

L = comprimento de embutimento da estaca, em m.

Nas tabelas 1, 2 e 3 tem-se os valores para os coeficientes que serão utilizados na equação 2. Os coeficientes dependem do tipo de solo e do tipo de estaca que será executada.

Tabela 1 – Fator $\alpha_{D\acute{e}c}$

Tipo de Solos	Tipo de Estaca - $\alpha_{D\acute{e}c}$				
	Escavadas em geral	Escavadas (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,3	0,85	1
Solos intermediários	0,6	0,6	0,3	0,6	1
Areia	0,5	0,5	0,3	0,5	1

Fonte: Décourt (1996)

Tabela 2 – Fator β_{Dec}

Tipo de Solos	Tipo de Estaca - β_{Dec}				
	Escavadas em geral	Escavadas (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,8	0,9	1	1,5	3
Solos intermediários	0,65	0,75	1	1,5	3
Areia	0,5	0,6	1	1,5	3

Fonte: Décourt (1996)

Tabela 3 – Coeficiente característico do solo, K

Tipo de Solo	Tipo de Estaca	
	Deslocamento	Escavada
	K(kPa)	K(kPa)
Argilas	120	100
Siltes argilosos	200	120
Siltes arenosos	250	140
Areias	400	200

Fonte: Décourt e Quaresma (1978)

Décourt et al. (1998) e Alonso et al. (2000) fazem a proposta da utilização de diferentes fatores de segurança para cada parcela da fórmula, deste modo, tem-se um fator de segurança 1,3 para a parcela referente ao atrito lateral, e 4 para a parcela de ponta.

2.2.2 Método Antunes e Cabral

Baseado em nove provas de cargas em estacas com diâmetros de 35, 50 e 75 cm, os autores Antunes e Cabral (1996) sugerem que a capacidade de carga de estacas hélice contínua seja estimada com:

$$Q_{ult} = \beta_1 N \pi D L + \beta_2 N \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

$$\beta_2 N \leq 4000 \text{ kPa} \quad (4)$$

Onde:

D = Diâmetro da Estaca, em m;

L = Comprimento da Estaca, em m;

N = Índice de resistência a penetração do ensaio SPT;

Q_{ult} = Carga última da estaca, em;

β_1 e β_2 = Coeficientes que dependem do tipo de solo.

Os parâmetros β que são dependentes do tipo de solo e que são utilizados na equação 3 estão dispostos na tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros que dependem do tipo de solo

Solo	β_1 (%)	β_2
Areia	4,0 a 5,0	2,0 a 2,5
Silte	2,5 a 3,5	1,0 a 2,0
Argila	2,0 a 3,5	1,0 a 1,5

Fonte: Antunes; Cabral, 1996.

O fator de segurança utilizado para o cálculo da carga admissível de projeto é de 2, caso não haja prova de carga para a determinação da carga última. Entretanto, se houver prova de carga o projetista de fundação pode reduzir o fator de segurança para 1,6.

2.3 PROVA DE CARGA

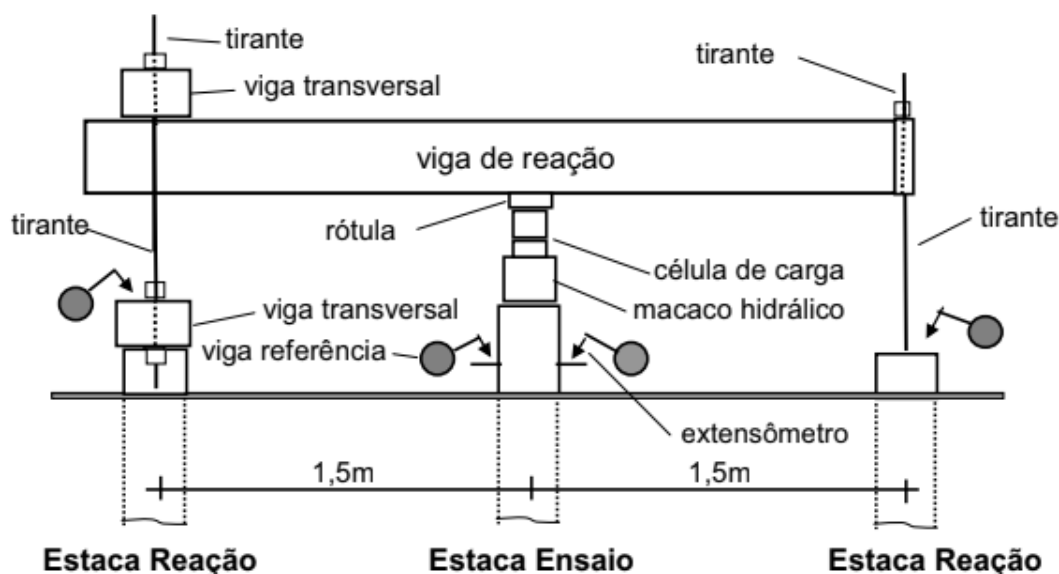
De acordo com a NBR 12131 (2020) a prova de carga tem como intuito avaliar o funcionamento de uma estaca aplicando nela esforços estáticos controladas, e simultaneamente deve-se fazer os registros de seus deslocamentos correspondentes. Os esforços aplicados podem ser axiais – tração ou compressão – ou transversais.

O ensaio em questão pode ser realizado antes de se realizar o estaqueamento, em estacas para teste, ou em estacas já construídas para a obra. Quando a prova de carga é realizada a priori, a NBR 6122 (2019) permite que seja feita uma redução no fator de segurança, proporcionando uma vantagem econômica.

Quando realizada a posteriori deve-se considerar 1% do número total de estacas da obra, mesmo que elas sejam de diferentes tipos, arredondando para uma casa decimal, e em seguida arredondar o número obtido, com uma casa decimal, para o número inteiro mais próximo (NBR 6122, 2019).

Ainda de acordo com a norma, são estabelecidos os critérios de aparelhagem e execução do procedimento. Faz-se necessário dispositivos para aplicação de cargas (macaco hidráulico) que atuarão contra o sistema de reação, além deste, deve-se ter dispositivos de medição de deslocamento, sendo utilizados os extensômetros. O esquema da montagem da prova de carga pode ser observado na figura 6.

Figura 6 - Esquema geral do sistema utilizado na execução de prova de carga.



Fonte: Almada, 2016.

A estaca a ser ensaiada deve estar devidamente caracterizada de acordo com sua geometria, método de execução e os materiais que a constituem. Antes de iniciar a execução deve-se garantir que o topo da estaca esteja devidamente preparado para receber o ensaio, de forma que não comprometa a integridade estrutural da estaca.

O tipo de carregamento da estaca dependerá de critérios do projetista, podendo se dar de forma lenta, rápida, mista ou cíclica. O carregamento dar-se-á até a ruptura ou até atingir o dobro do valor previsto para sua carga de trabalho.

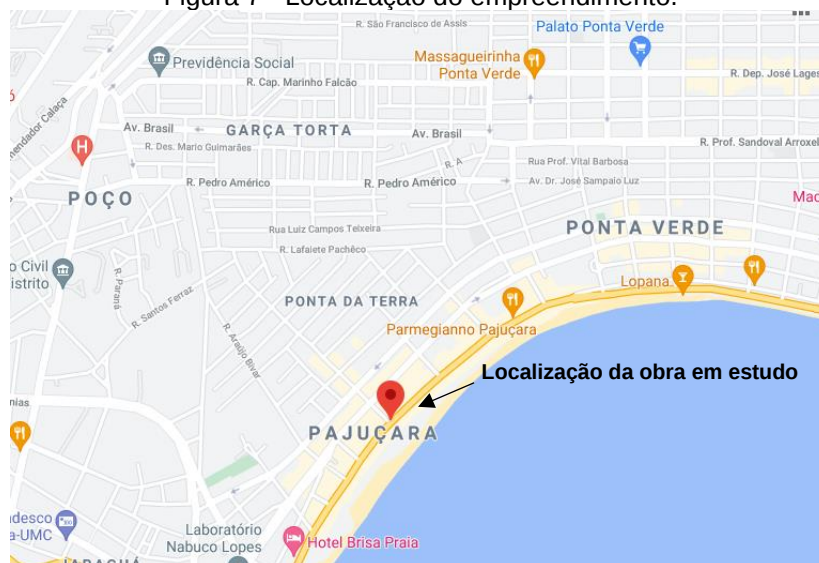
Os resultados são apresentados por um relatório que contenham uma descrição geral do ensaio, com planta de locação, data e hora do ensaio, apresentação das características do terreno, dados e características da estaca ensaiada, descrição dos sistemas de reação e de leitura empregados, e relato de ocorrências excepcionais durante o ensaio, como perturbação dos dispositivos de carga e de medição ou deformações excessivas nos tirantes.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA OBRA EM ESTUDO

Este trabalho tem como objeto de análise a fundação de um hotel, a qual foi projetada em estacas hélice contínua. O empreendimento em questão está localizado à beira mar, no bairro da Pajuçara, em Maceió-AL (figura 7).

Figura 7 - Localização do empreendimento.



Fonte: Google Maps, 2021.

3.2 SONDAGEM SPT (STANDARD PENETRATION TEST)

A investigação do solo foi realizada pela AGM Geotécnica através do *Standard Penetration Test* – SPT, os dados foram disponibilizados através do relatório de sondagem, onde nele há as informações do perfil do solo, a caracterização das camadas até a profundidade alcançada, nível de água do terreno e etc. O relatório de sondagem auxiliou no cálculo de capacidade de carga da fundação. O enfoque do estudo não é detalhar a execução da investigação do solo, mas sim, utilizar os seus dados como base para os processos que ocorrerão posteriormente.

Seguindo as instruções normativas da NBR 8036/1983, onde preconizam que devem ser efetuados a quantidade de furos de acordo com a área de projeção da construção, tem-se que para áreas entre 200m² e 1200m², deve-se prever a

quantidade de 1 furo de sondagem para cada 200m², dessa forma, a quantidade de furos para o empreendimento em questão é dado pelo cálculo abaixo:

$$\text{Área de projeção} = 19,65 \times 45,25 = 889,16\text{m}^2$$

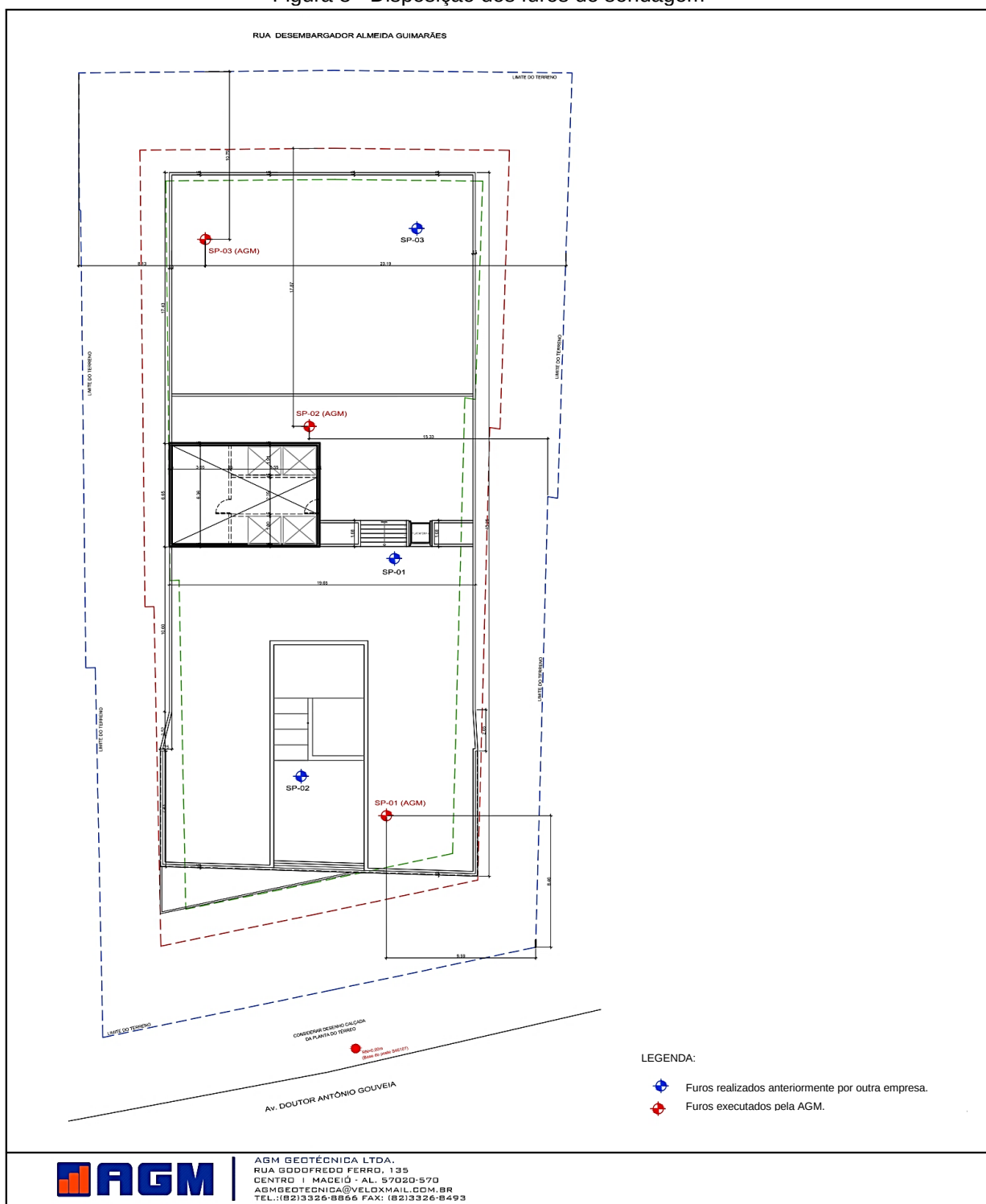
$$\text{Quantidade de furos de sondagem} = 889,16 \div 200 = 4,44 \text{ furos}$$

De acordo com o cálculo anterior deve-se arredondar a quantidade de furos para o número superior, no caso, 5 furos de sondagem deve ser a quantidade mínima efetuada.

Visto que já haviam sido executados 3 furos de sondagem por uma empresa de geotecnia anteriormente, foram realizados mais 3 furos de sondagem pela empresa AGM, totalizando 6 furos de sondagem no total, maior que a quantidade mínima prevista, seguindo o que preconiza a norma.

É de extrema importância a distribuição dos furos de sondagem, item esse exposto na norma NBR 8036/1983, que aborda como deve ser realizada a localização dos furos de sondagem em planta, devendo eles ser igualmente distribuídos em toda a área e não devem ser mantidos alinhados, para que dessa forma proporcionem a formação de diferentes perfis geotécnicos do terreno. Verifica-se na figura 8 que houve uma distribuição de furos condizente com a norma.

Figura 8 - Disposição dos furos de sondagem



Fonte: AGM Geotécnica, 2019.

Na figura 9 pode-se observar a realização dos furos de sondagem que foram executados no ano de 2019 pela empresa AGM Geotécnica, onde todos os furos foram realizados seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 6484.

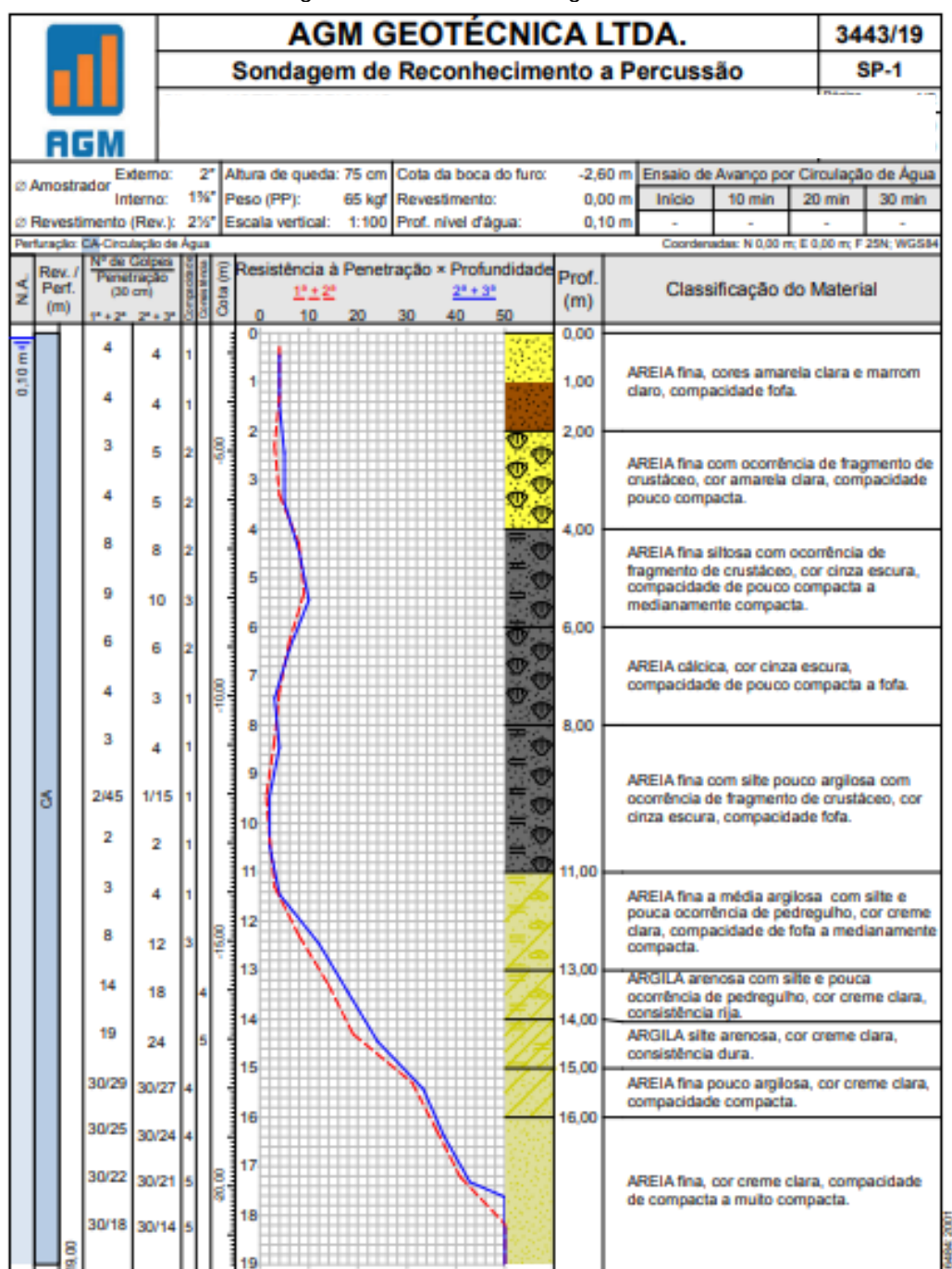
Figura 9 - Execução dos furos de sondagem



Fonte: AGM Geotécnica, 2019.

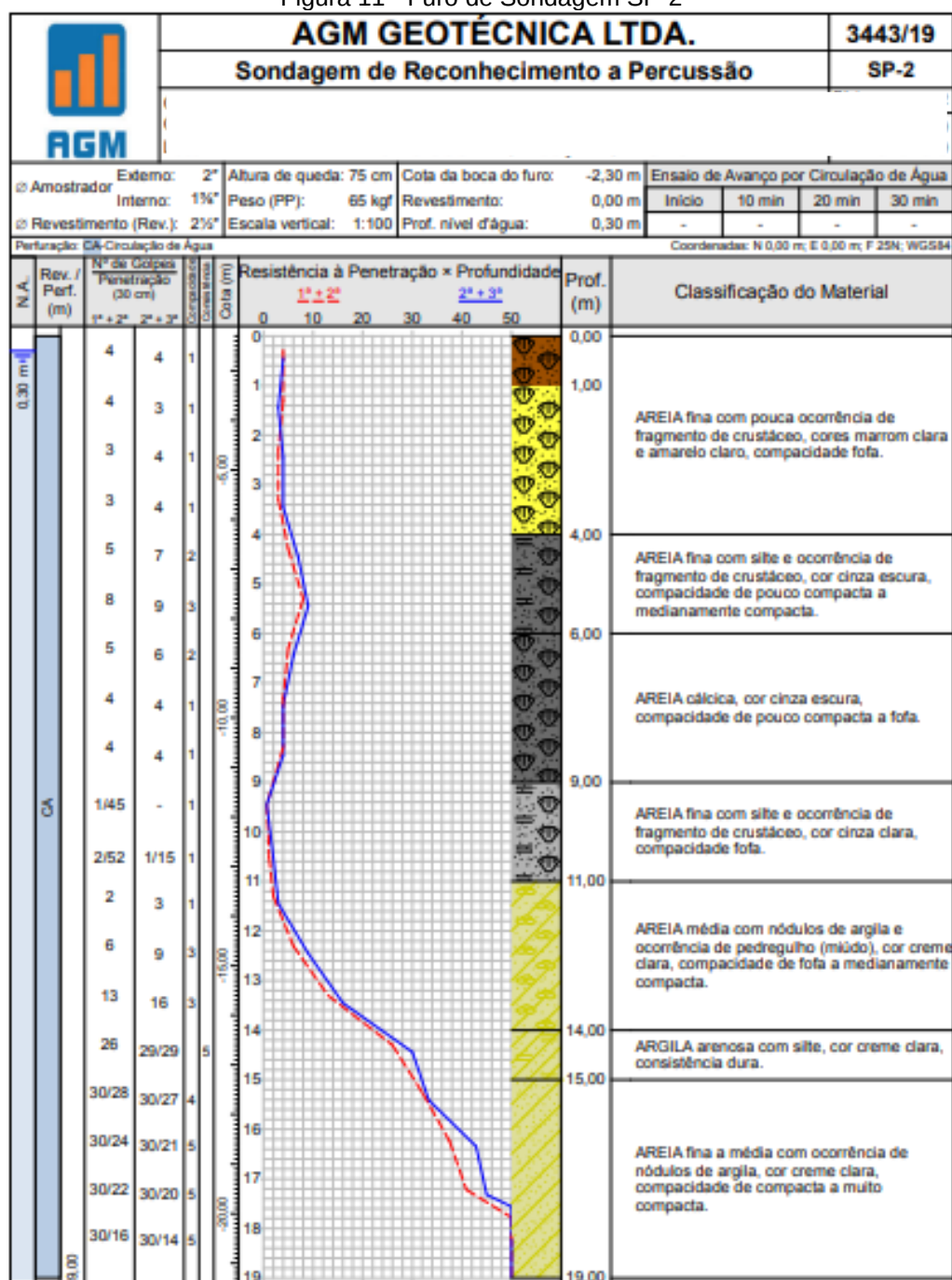
Através dos resultados alcançados com a execução desses furos, elaborou-se três perfis de sondagem do solo, expostos no relatório de sondagem disponibilizados pela empresa. Os relatórios de sondagem dos três furos em questão, mostram que o tipo de solo encontrado é predominantemente areia fina, havendo também a ocorrência de fragmentos de crustáceo e pouca ocorrência de argila e silte em suas camadas, como pode ser observado nas figuras 10, 11 e 12. As sondagens foram realizadas até 19 metros de profundidade e o nível d'água pôde ser verificado, em média, a uma profundidade de 0,25 metros. Características essas que já eram esperadas para a região em análise, por tratar-se de um terreno litorâneo.

Figura 10 - Furo de Sondagem SP-1



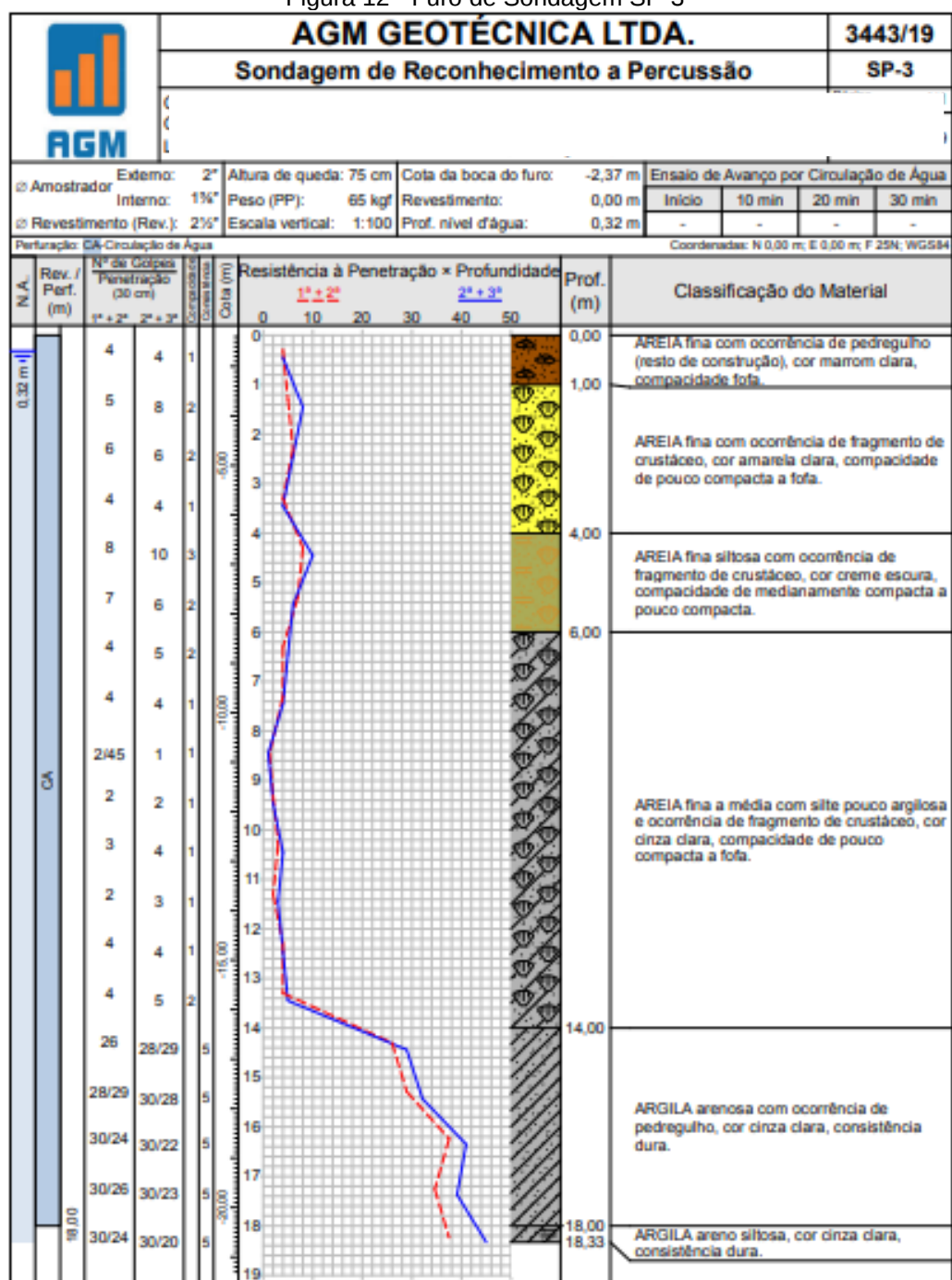
Fonte: AGM Geotécnica, 2019.

Figura 11 - Furo de Sondagem SP-2



Fonte: AGM Geotécnica, 2019.

Figura 12 - Furo de Sondagem SP-3



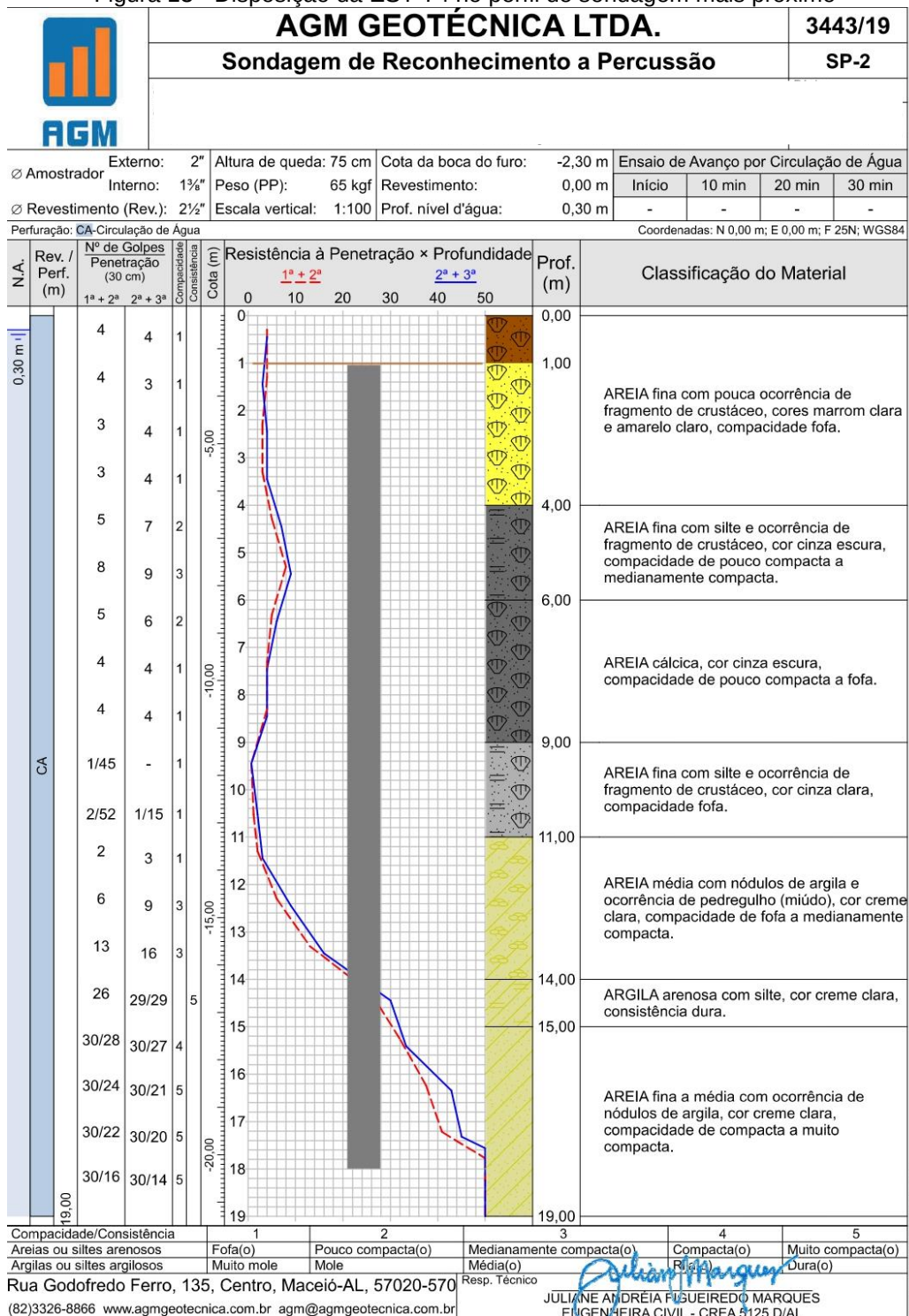
Fonte: AGM Geotécnica, 2019.

3.3 ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Para as análises proposta no trabalho em questão, foram executadas duas estacas hélice contínua monitorada, sendo uma delas a estaca padrão utilizada na obra, e a outra, uma estaca idealizada para fins de estudos. As estacas estão

dispostas nas figuras 13 e 14, situadas de acordo com o furo de sondagem mais próximo delas.

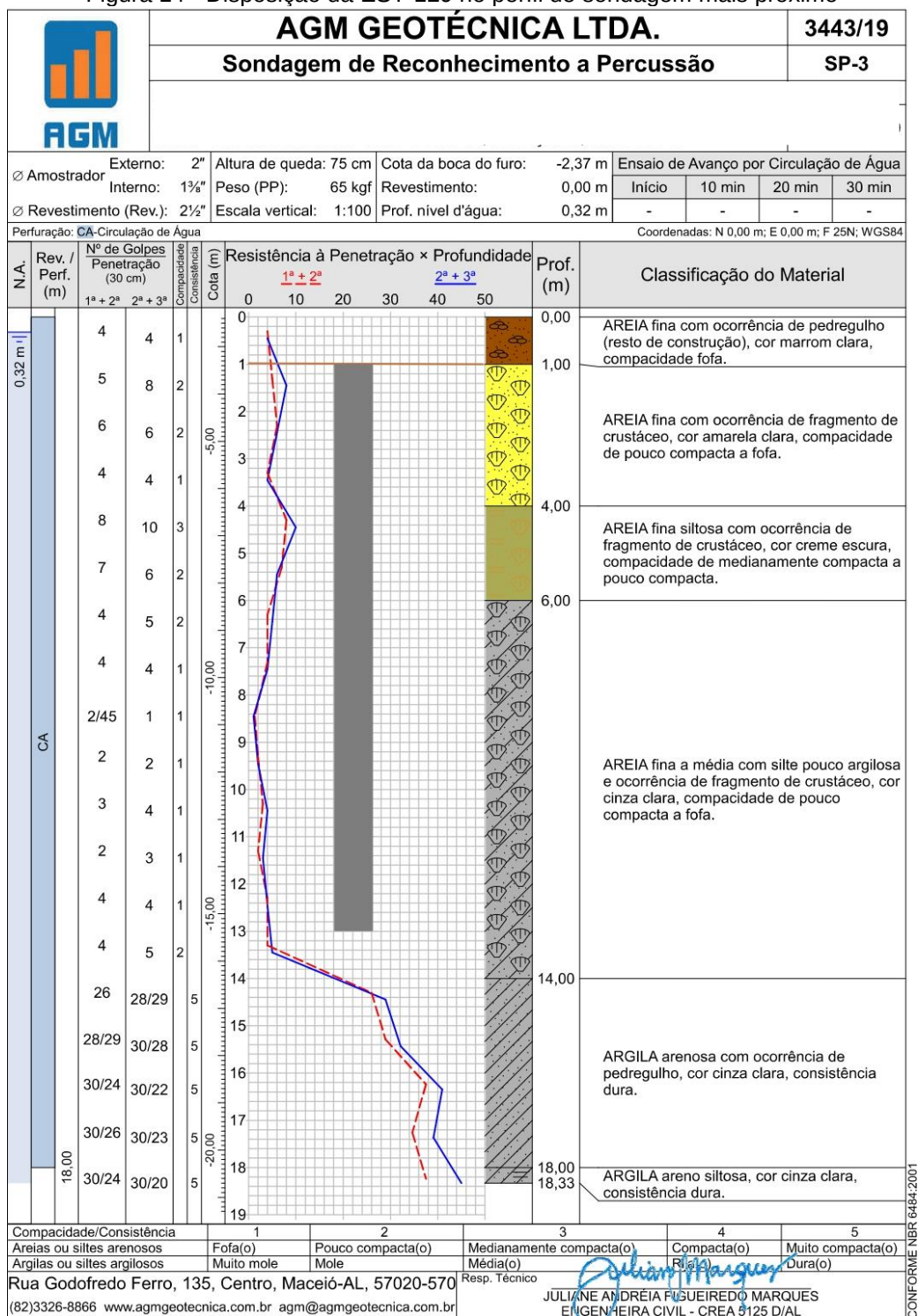
Figura 13 - Disposição da EST-74 no perfil de sondagem mais próximo



CONFORME NBR 6484:2001

Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

Figura 14 - Disposição da EST-129 no perfil de sondagem mais próximo



Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

Como pode ser identificado na locação das estacas nos perfis de sondagem apresentados nas figuras 13 e 14, ambas tiveram suas perfurações iniciadas na cota de 1 metro de profundidade.

A estaca 74, é a estaca padrão utilizada para todo o empreendimento. Pode-se observar que ela possui maior comprimento para tornar possível alcançar as camadas mais resistentes do subsolo em questão.

É apresentado na tabela 5 os dados base utilizados para a execução da estaca.

Tabela 5 - Dados de execução da estaca 74

ESTACA	EST-74
TIPO	HÉLICE CONTÍNUA
MATERIAL	CONCRETO
DIÂMETRO	Ø 500 mm
ARMADURA	5 Ø 20.0 mm
ESTRIBO	Ø 6.3 mm
COMPRIMENTO DA FERRAGEM	6 m
COMPRIMENTO DA ESTACA	17 m
FURO DE SONDAAGEM MAIS PRÓXIMO	SP-2

Fonte: Autora, 2021.

A estaca 129, é uma estaca projetada e executada para fins de estudos. Sua ponta foi assente em solo com menor resistência para tornar possível a comparação desejada no presente trabalho. Deve atentar-se, pela tabela 6, que há alteração apenas no comprimento da estaca, para possibilitar maior semelhança entre as duas estacas em questão aprimorando assim o efeito comparativo.

Tabela 6 - Dados de execução da estaca 129

ESTACA	EST-129
TIPO	HÉLICE CONTÍNUA
MATERIAL	CONCRETO
DIÂMETRO	Ø 500 mm
ARMADURA	5 Ø 20.0 mm
ESTRIBO	Ø 6.3 mm
COMPRIMENTO DA FERRAGEM	6 m
COMPRIMENTO DA ESTACA	12 m
FURO DE SONDAGEM MAIS PRÓXIMO	SP-3

Fonte: Autora, 2021.

3.4 CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CARGA DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

O presente trabalho explorou o melhor método de capacidade de carga para as estacas hélice contínua, visto isso, e de acordo com Velloso e Lopes (2010) alguns métodos foram avaliados e comparados com cerca de 100 provas de cargas por Francisco (2001), e com essa avaliação obteve-se que para a estaca hélice contínua os métodos de Décourt e Quaresma (1978) e de Antunes e Cabral (1996) obtiveram as melhores previsões dentre todos os métodos analisados. Dessa forma, esses dois métodos foram utilizados para as análises do trabalho em questão.

Através dos perfis de sondagem do solo, executados pelo ensaio SPT, utilizou-se o N_{spt} em cada ponto para a elaboração de uma planilha eletrônica de cálculo a fim de determinar a capacidade de carga pelos métodos escolhidos: Décourt e Quaresma (1978) e de Antunes e Cabral (1996).

A planilha eletrônica em questão utilizou-se das fórmulas estudadas no referencial teórico para efetuar os cálculos. Utilizando este recurso, tornou-se fácil o cálculo da capacidade de carga em cada metro de profundidade do subsolo, desta forma, facilitando a comparação dos carregamentos de cada estaca, e podendo observar as variações que ocorriam em todo o subsolo. O detalhamento dos cálculos, juntamente com os resultados obtidos, poderão ser vistos nos tópicos posteriores.

3.5 PROVAS DE CARGAS ESTÁTICAS

Foram realizados ensaios de prova de carga nas duas estacas, a fim de observar o seu comportamento, os deslocamentos ocasionados pelo carregamento e verificação da resistência. Os resultados das Provas de Carga Vertical à Compressão, executadas nas estacas Est-129 e Est-74 da obra em referência, foram apresentados em relatórios com as informações sobre sua execução. Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 12131/2006, visto que na data de execução a norma em vigência ainda era a de 2006 e somente no final do ano de 2020 houve a atualização para a versão da NBR 12131/2020.

3.5.1 ESTACA 74

A estaca ensaiada é do tipo Hélice Contínua, com diâmetro de 500mm e comprimento de 17,00 m. A carga de projeto desta estaca é 110 tf e do conjunto “bloco-sapata sobre estaca” é 126 tf. A carga máxima aplicada no ensaio foi de 270 tf. O carregamento foi realizado em 9 estágios, com tempo mínimo de duração de 30 minutos para cada estágio. Em cada um deles, foram medidos os recalques correspondentes aos tempos de 2, 4, 8, 15 e 30 minutos. A tabela 7 apresenta um resumo com as informações dos dados da prova de carga em questão.

Tabela 7 - Dados de prova de carga EST-74

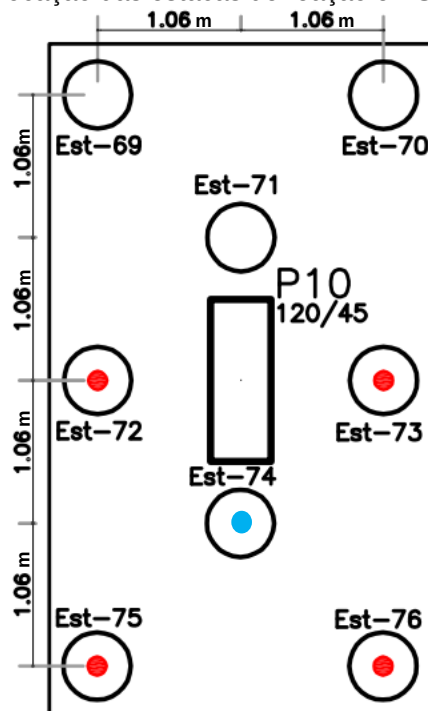
DADOS DA ESTACA 74	
TIPO DE PROVA	ESTÁTICA, COMPRESSÃO, AXIAL, LENTA
TIPO DE REAÇÃO	ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA (COMPRIMENTO 17 METROS)
APLICAÇÃO DE CARGA	LENTA
CARGA PREVISTA DO ENSAIO	300 tf
CARGA MÁXIMA DO ENSAIO	270 tf
TEMPO DE DURAÇÃO	18 HORAS

Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

Para o sistema de reação foram utilizadas quatro estacas tipo Hélice Contínua (Est-72, Est-73, Est-75 e Est-76), diâmetro de 500mm e comprimento de 17,00m, armadas com tirante monobarra DYWIDAG Ø36mm para uma carga máxima de

tração de 75tf. Estas estacas também foram monitoradas através da medição dos deslocamentos verticais em cada estágio, A carga máxima prevista para o ensaio era de 300 tf, contudo, o ensaio teve que ser paralisado com 270 tf (9º estágio) por causa do levantamento excessivo de uma das estacas de reação, por isso é importante que haja um acompanhamento do que ocorre durante o ensaio com as estacas de reação para que estas não sejam danificadas. A figura 15 apresenta a locação da estaca 74, que foi ensaiada, juntamente com a locação do conjunto de estacas de reação, que estão destacadas em vermelho.

Figura 15 - Locação das estacas de reação e EST-74 ensaiada



Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

LEGENDA:

- Estaca Ensaçada
- Estacas de Reação

3.5.2 ESTACA 129

A estaca ensaiada é do tipo Hélice Contínua, com diâmetro de 500mm e comprimento de 12,00 m. É importante ressaltar que a estaca analisada foi executada apenas para fins experimentais e de estudo, e não fez parte do projeto de fundação do edifício propriamente dito. A carga de projeto desta estaca é 80 tf e do conjunto

“bloco-sapata sobre estaca” é 94,4 tf. A carga máxima aplicada no ensaio foi de 260 tf. O carregamento foi realizado em 10 estágios, com tempo mínimo de duração de 30 minutos para cada estágio. Em cada um deles, foram medidos os recalques correspondentes aos tempos de 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, a tabela 8 apresenta os dados da prova de carga realizada na estaca 129.

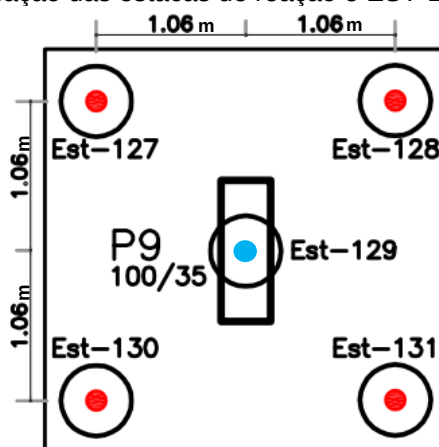
Tabela 8 - Dados de prova de carga EST-129

DADOS DA ESTACA 129	
TIPO DE PROVA	ESTÁTICA, COMPRESSÃO, AXIAL, LENTA
TIPO DE REAÇÃO	ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA (COMPRIMENTO 17 METROS)
APLICAÇÃO DE CARGA	LENTA
CARGA PREVISTA DO ENSAIO	260 tf
CARGA MÁXIMA DO ENSAIO	260 tf
TEMPO DE DURAÇÃO	19 HORAS E 30 MINUTOS

Fonte: Autora (2021).

O sistema de reação (destacado pelos pontos vermelhos) e da estaca a ensaiada pode ser observado na figura 16. Para o sistema de reação foram utilizadas quatro estacas (Est-127, Est-128, Est-130 e Est-131), sendo estas do tipo Hélice Contínua, com diâmetro de 500mm e comprimento de 17,00m, armadas com tirante monobarra DYWIDAG Ø32mm para uma carga máxima de tração de 65tf. Estas estacas também foram monitoradas através da medição dos deslocamentos verticais em cada estágio, com intuito de evitar danos em sua estrutura e prever qualquer alteração que possa ocorrer durante o ensaio.

Figura 16 - Locação das estacas de reação e EST-129 ensaiada



Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

LEGENDA:

- Estaca Ensaiada
- Estacas de Reação

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir são constituídos por tabelas e gráficos que ilustram o comportamento das estacas, separadamente e em conjunto, com relação ao carregamento aplicado e aos cálculos efetuados.

4.1 CAPACIDADE DE CARGA

4.1.1 Método Décourt e Quaresma

Os cálculos para o método escolhido foram executados em uma planilha eletrônica seguindo as fórmulas estudadas no referencial teórico deste trabalho. Para uma melhor análise, os cálculos foram feitos metro a metro até a profundidade da ponta da estaca, os cálculos completos poderão ser observados no ANEXO A e ANEXO B deste trabalho.

Pode-se observar uma tabela resumo com os dados utilizados nos cálculos e os resultados encontrados para as estacas 129 e 74, utilizando o método de cálculo de Décourt e Quaresma (1996), na tabela 9.

Tabela 9 – Resumo de resultados do método Décourt e Quaresma

	EST 129	EST 74
¹ R _p (kN) =	47,124	596,313
² R _l (kN) =	502,655	1062,207
³ R _t (kN) =	549,779	1658,521
⁴ F _{Sp} =	4	4
⁵ F _{Sl} =	1,3	1,3
⁶ R _{adm} (tf) =	40,641	98,548
⁷ α _{Déc} =	0,300	0,300
⁸ β _{Déc} =	1	1
⁹ K =	200	200

¹ Resistência de Ponta

² Resistência Lateral

³ Resistência Total

⁴ Fator de Segurança de Ponta

⁵ Fator de Segurança Lateral

⁶ Resistência Total Admissível

⁷ Coeficientes dependentes do tipo de solo e estaca

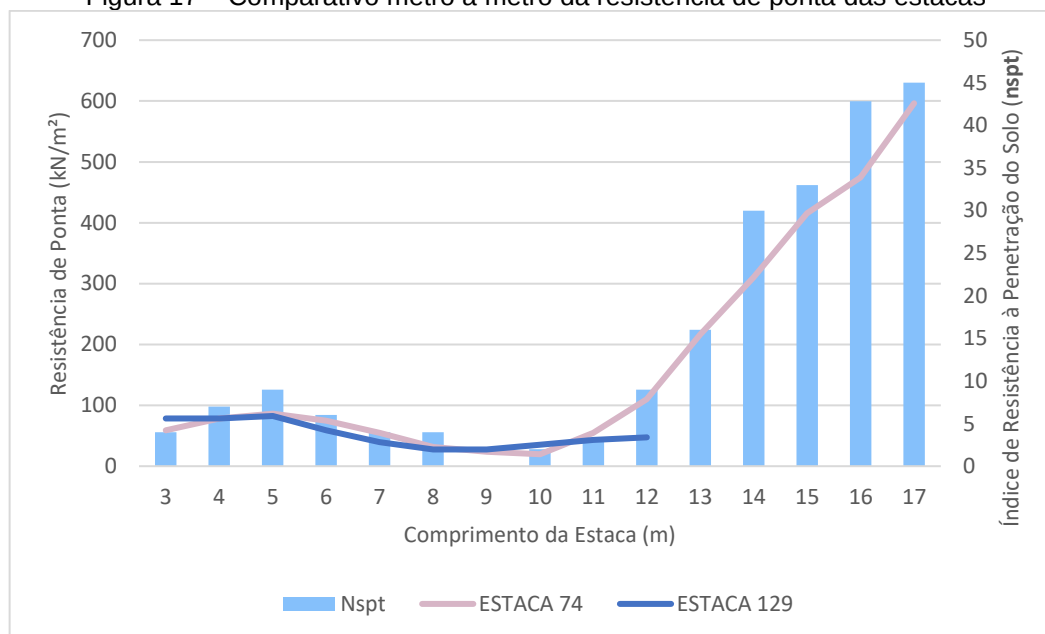
⁸ Coeficientes dependentes do tipo de solo e estaca

⁹ Coeficiente característico do solo, K

¹⁰ N _{pant} =	3	43
¹¹ N _p =	4	45
¹² N _{ppost} =	5	64
¹³ N _{pméd} =	4	45
¹⁴ A _p (m ²) =	0,196	0,196
¹⁵ N _I =	5	9
¹⁶ P (m) =	1,571	1,571
¹⁷ D (m) =	0,500	0,500
¹⁸ L (m)=	12,000	17,000

Fonte: Autora (2021).

Figura 17 – Comparativo metro a metro da resistência de ponta das estacas



Fonte: Autora (2021).

Na figura 17, pode-se observar um comparativo das resistências de ponta entre as duas estacas que estão sendo analisadas. É possível verificar que, as linhas dos dois gráficos seguem um trecho semelhante, até que se encerra a estaca 129, de

¹⁰ Valor do Nspt imediatamente antes à ponta da estaca

¹¹ Valor do Nspt mais próximo à ponta da estaca

¹² Valor do Nspt imediatamente posterior à ponta da estaca

¹³ Valor do Nspt médio dos valores próximos à ponta da estaca

¹⁴ Área da ponta da estaca

¹⁵ Valor do Nspt médio sem utilizar os valores de ponta

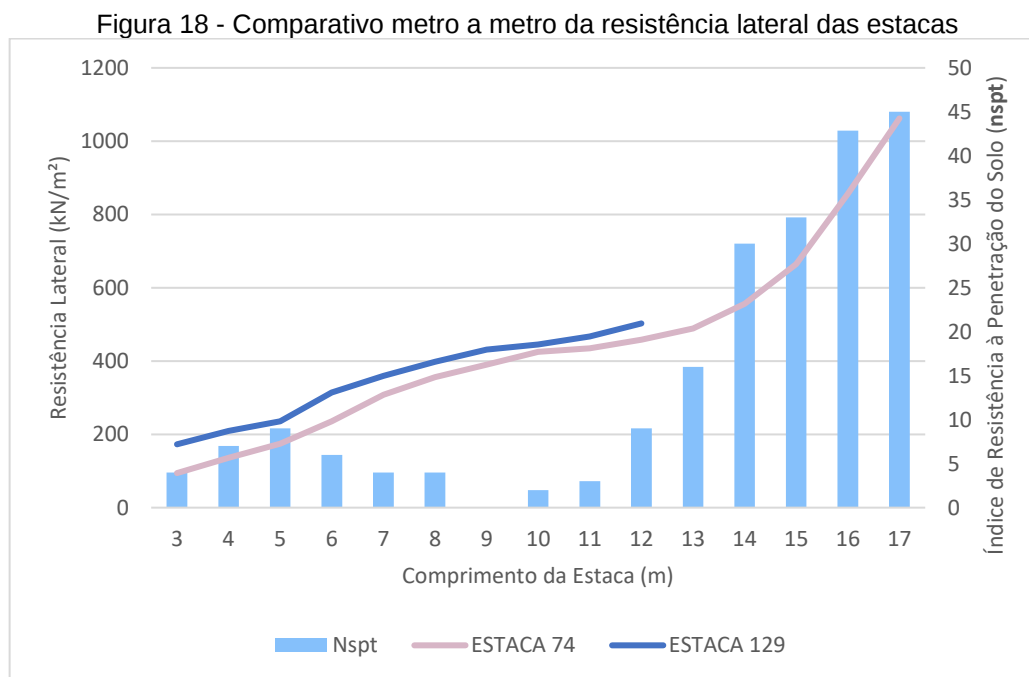
¹⁶ Perímetro da ponta da estaca

¹⁷ Diâmetro da estaca

¹⁸ Comprimento da estaca

menor comprimento, e a estaca 74, de maior comprimento, tem uma crescente resistência de ponta até sua ponta.

Comparando os valores finais da resistência de ponta, tem-se para a EST-129 uma resistência de 47,12 kN que é cerca de doze vezes menor que a resistência proporcionada pela EST-74, que atingiu um valor de 596,31 kN.

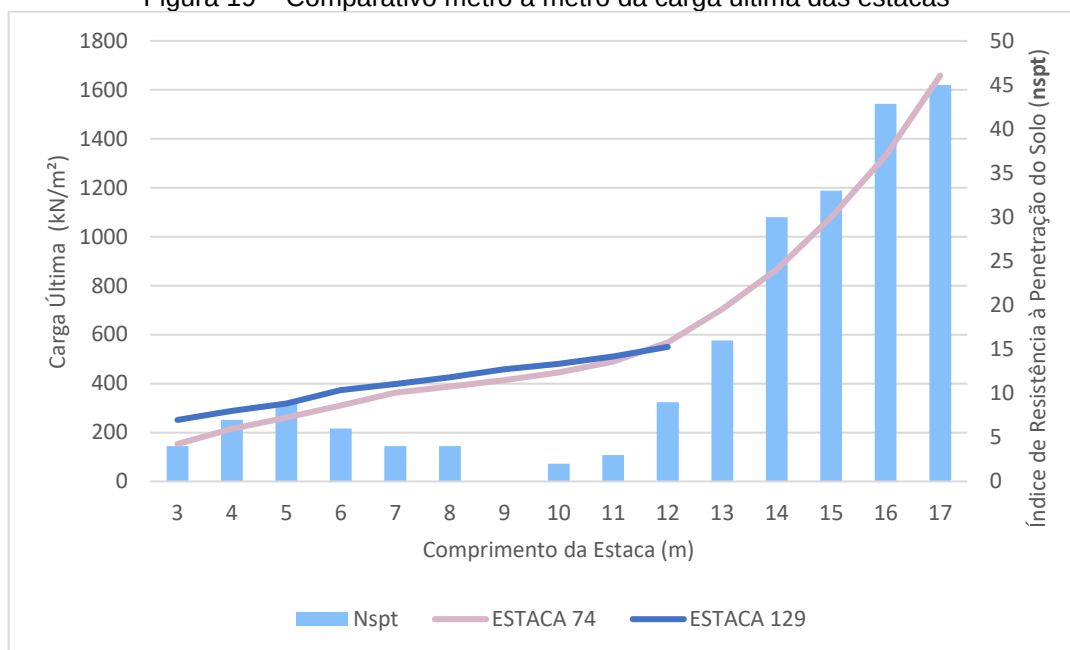


Fonte: Autora (2021).

Na figura 18, exibindo os comparativos de resistência lateral entre as duas estacas que estão sendo analisadas, pode-se identificar que, as linhas dos dois gráficos seguem se assemelhando nos trechos do comprimento da estaca e que a estaca 129, de menor comprimento, em todos os momentos mantém valores maiores de resistência. Já a estaca 74, de maior comprimento, segue com os valores de resistência lateral crescentes até sua ponta.

Comparando os valores finais da resistência lateral, tem-se para a EST-129 uma resistência de 502,65 kN que é cerca de duas vezes menor que a resistência proporcionada pela EST-74, que atingiu um valor final de 1062,207 kN .

Figura 19 – Comparativo metro a metro da carga última das estacas



Fonte: Autora (2021).

Na figura 19, pode-se analisar a carga última das estacas, que é a soma das suas resistências de ponta com a resistência lateral. Como já se era esperado, visto que ambos os gráficos anteriores seguiriam semelhantes, houve nada mais que uma manutenção da tendência.

Comparando os valores finais da carga última, tem-se para a EST-129 uma resistência de 549,78 kN que é cerca de um terço de vezes menor que a resistência proporcionada pela EST-74, que atingiu um valor final de 1658,52 kN.

Ao verificar a influência da ponta em relação à resistência total, obteve-se que para a EST-74, um valor considerável de 36%. Já para a EST-129, a mesma relação obteve apenas 9% de influência da resistência total.

4.1.2 Método Antunes e Cabral

Os cálculos para o método escolhido foram executados em uma planilha eletrônica seguindo as fórmulas estudadas no referencial teórico deste trabalho. Para uma melhor análise, os cálculos foram feitos metro a metro até a profundidade da ponta da estaca, os cálculos completos poderão ser observados no ANEXO C e ANEXO D deste trabalho.

Pode-se observar uma tabela resumo com os dados utilizados nos cálculos e os resultados encontrados para as estacas 129 e 74, utilizando o método de cálculo de Antunes e Cabral, na tabela 10.

Tabela 10 - Resumo de resultados do método Antunes e Cabral

	EST 129	EST 74
¹⁹ R _p (kN) =	1,767	19,880
²⁰ R _l (kN) =	360,497	1575,234
²¹ R _t (kN) =	362,265	1595,114
²² F _s =	2	2
²³ R _{adm} (tf) =	18,475	81,351
²⁴ β ₁ (%) =	4,500	4,500
²⁵ β ₂ =	2,25	2,25
²⁶ N _p =	4	45
²⁷ A _p (m ²) =	0,196	0,196
²⁸ N _l =	5	11
²⁹ P (m) =	1,571	1,571
³⁰ D (m) =	0,500	0,500
³¹ L (m) =	12,000	17,000

Fonte: Autora (2021).

¹⁹ Resistência de Ponta

²⁰ Resistência Lateral

²¹ Resistência Total

²² Fator de Segurança

²³ Resistência Total Admissível

²⁴ Parâmetro que depende do tipo de solo

²⁵ Parâmetro que depende do tipo de solo

²⁶ Valor do N_{spt} mais próximo à ponta da estaca

²⁷ Área da ponta da estaca

²⁸ Valor do N_{spt} médio sem utilizar os valores de ponta

²⁹ Perímetro da ponta da estaca

³⁰ Diâmetro da estaca

³¹ Comprimento da estaca

Figura 20 – Comparativo metro a metro da resistência de ponta das estacas

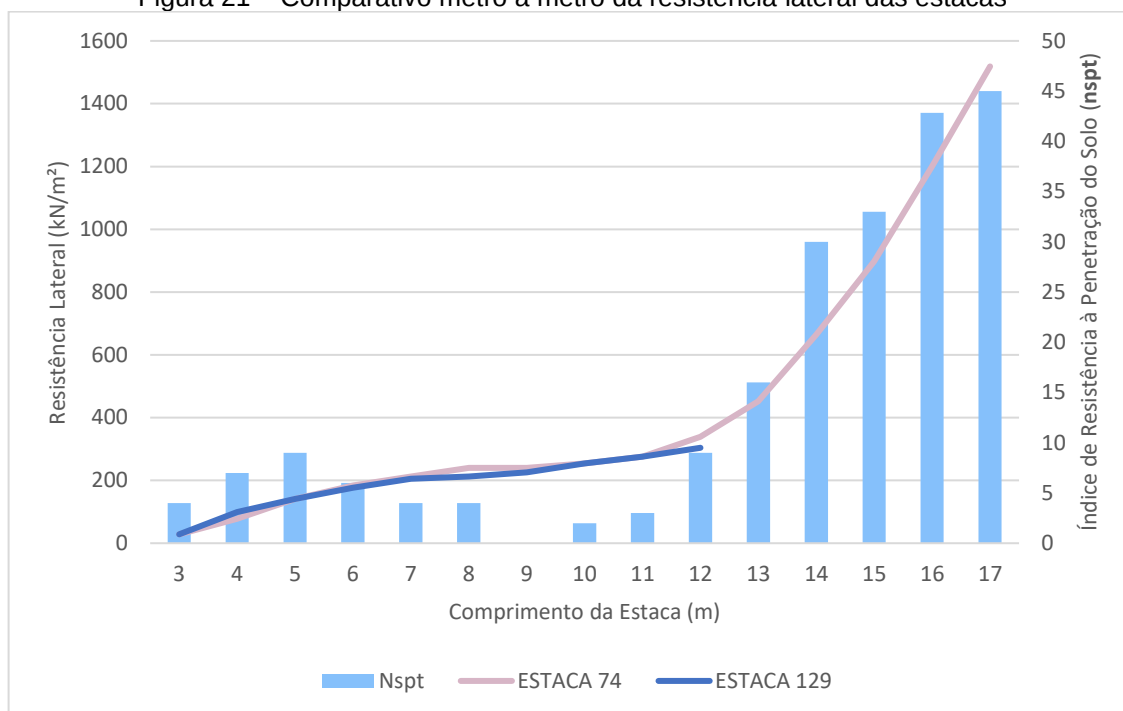


Fonte: Autora (2021).

Na figura 20, pode-se observar um comparativo das resistências de ponta entre as duas estacas que estão sendo analisadas, dessa vez, pelo método de Antunes e Cabral. É possível verificar que, as linhas dos dois gráficos, apesar da oscilação, seguem um trecho semelhante, até que se encerra a estaca 129, de menor comprimento, e a estaca 74, de maior comprimento, tem uma crescente resistência de ponta.

Comparando os valores finais da resistência de ponta, tem-se para a EST-129 uma resistência de 1,76 kN que é quase 11 vezes menor que a resistência proporcionada pela EST-74, que atingiu um valor de 19,88 kN.

Figura 21 – Comparativo metro a metro da resistência lateral das estacas

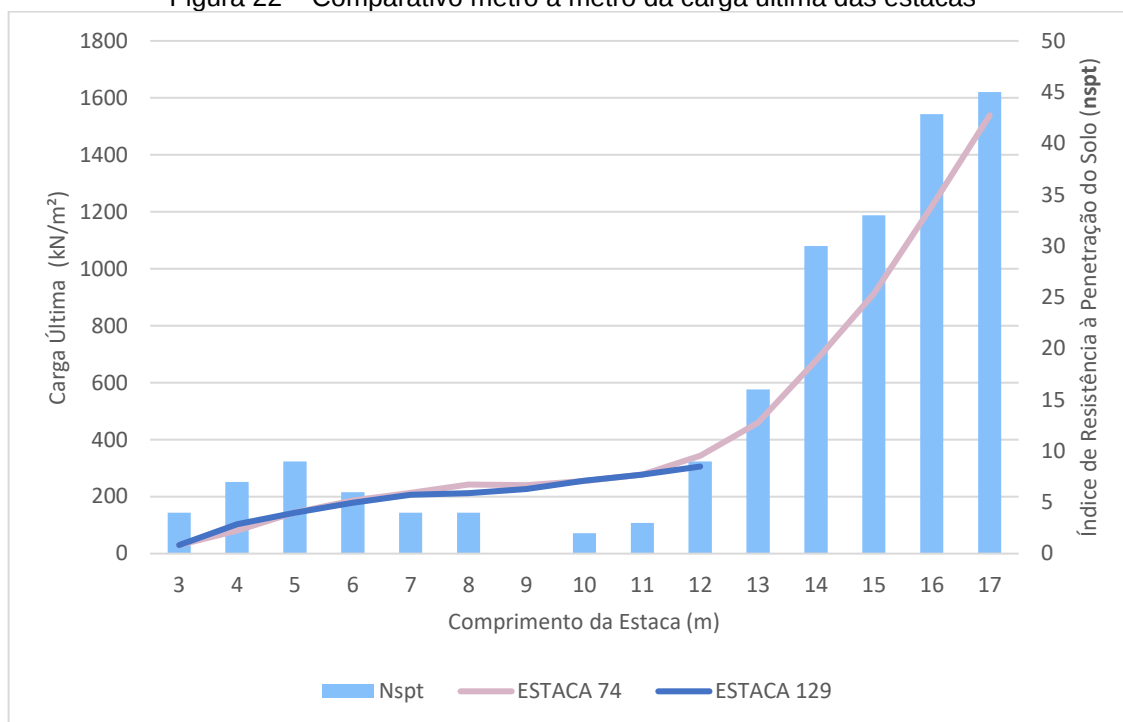


Fonte: Autora (2021).

Na figura 21, exibindo os comparativos de resistência lateral entre as duas estacas que estão sendo analisadas, pode-se identificar que, as linhas dos dois gráficos seguem quase que idênticas nos trechos do comprimento da estaca e que a estaca 129, de menor comprimento. Já a estaca 74, de maior comprimento, segue com os valores de resistência lateral crescentes até sua ponta.

Comparando os valores finais da resistência lateral, tem-se para a EST-129 uma resistência de 360,49 kN que é cerca de quatro vezes menor que a resistência proporcionada pela EST-74, que atingiu um valor final de 1575,23 kN.

Figura 22 – Comparativo metro a metro da carga última das estacas



Fonte: Autora (2021).

Na figura 22, pode-se analisar a carga última das estacas, que é a soma das suas resistências de ponta com a resistência lateral. Como já se era esperado, visto que ambos os gráficos anteriores seguiriam semelhantes, houve nada mais que uma manutenção da tendência, sendo eles quase idênticos até o fim da estaca mais curta.

Comparando os valores finais da carga última, tem-se para a EST-129 uma resistência de 362,26 kN que é cerca de quatro vezes menor que a resistência proporcionada pela EST-74, que atingiu um valor final de 1595,11 kN.

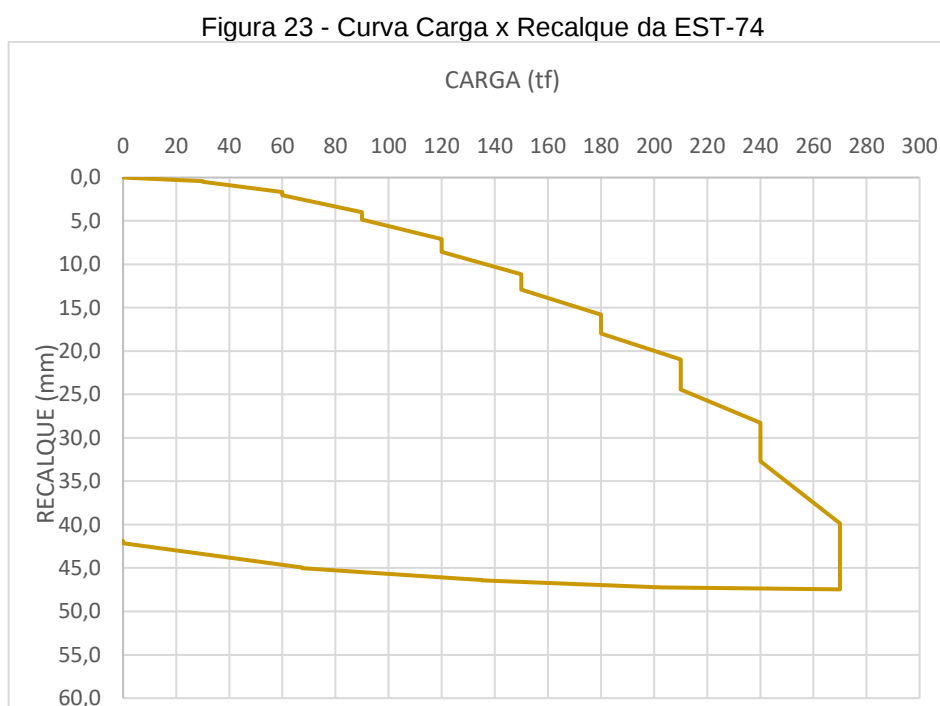
Ao verificar a influência da ponta em relação à resistência total, obteve-se para as duas estacas, valores muito pequenos, sendo eles em torno de 1% e 0,5%, valores irrisórios para a carga total.

4.2 PROVA DE CARGA

Os resultados das provas de cargas estão apresentados de forma simplificada nos tópicos, mas pode-se observar todos os dados da execução do ensaio no anexo E. Pode-se ainda verificar detalhadamente os dados de carregamento e descarregamento e suas respectivas leituras de recalques.

4.2.1 ESTACA 74

É identificado na figura 23 a curva carga x recalque da estaca 74, onde um eixo representa a carga de carregamento e outro eixo representa o recalque que ocorre devido ao carregamento. Pode-se verificar que a cada estágio de carregamento a estaca sofre com determinada deformação medida pelos deflectômetros instalados no bloco de coroamento.



Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

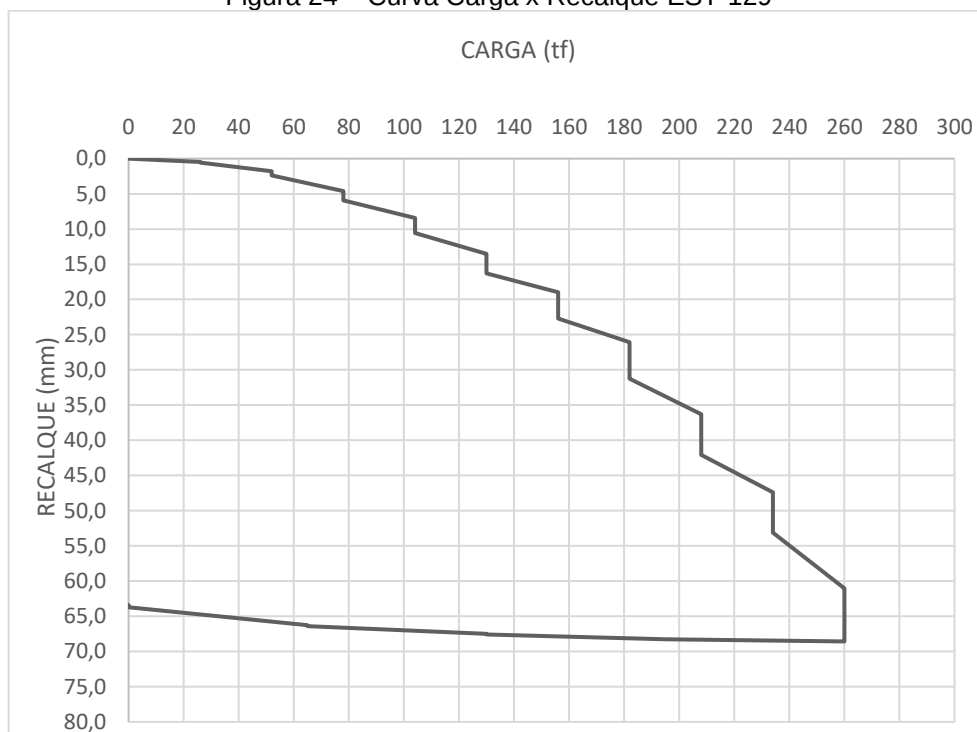
O ensaio teve uma carga aplicada de 270 tf, o que proporcionou um recalque total de 47,46 mm referente a esse carregamento, mas que posteriormente atingiu o equilíbrio mantendo um recalque permanente de 41,88 mm.

4.2.2 ESTACA 129

É identificado na figura 26 a curva da prova de carga da estaca 129, onde o eixo das abscissas representa a carga de carregamento e o eixo das ordenadas representa o recalque que ocorre devido ao carregamento. O ensaio teve uma carga aplicada de 260 tf, o que proporcionou um recalque total de 68,57 mm referentes a

esse carregamento, mas que posteriormente atingiu o equilíbrio mantendo um recalque permanente de 63,39 mm.

Figura 24 – Curva Carga x Recalque EST-129

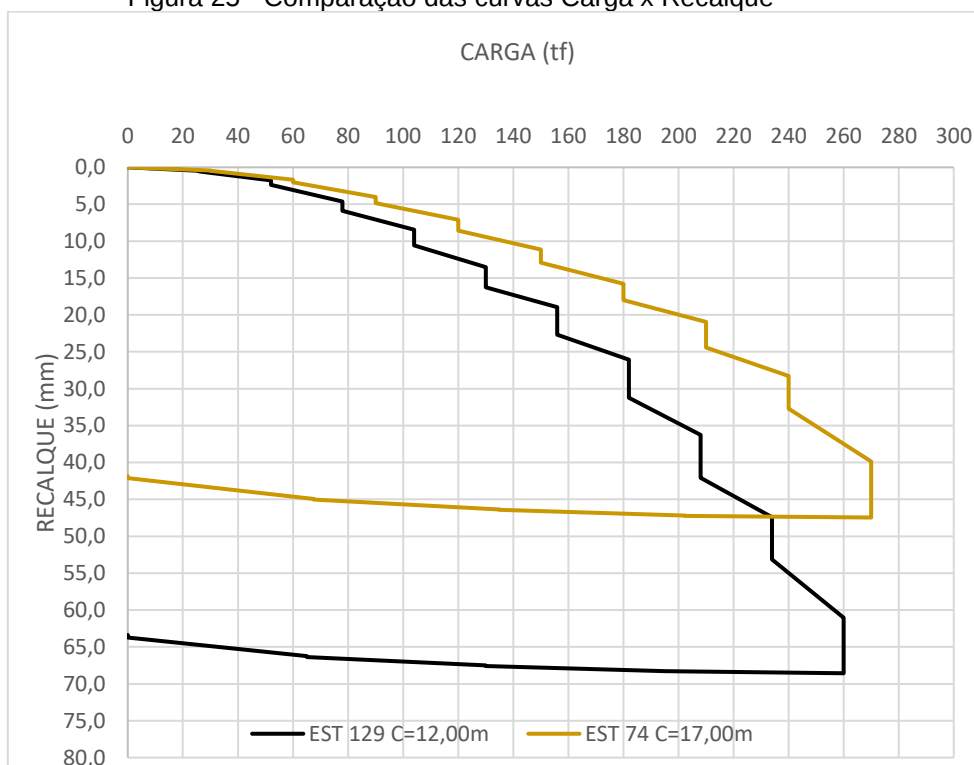


Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

4.2.3 COMPARATIVO DAS CURVAS CARGA X RECALQUE

Observando as duas curvas juntas traz maior facilidade para fazer uma análise comparativa entre ambas (figura 25). As curvas em questão têm duas diferenças que podem ser identificadas analisando o gráfico: a carga final e o recalque.

Figura 25 - Comparação das curvas Carga x Recalque



Fonte: AGM Geotécnica, 2020.

A estaca 74, de maior comprimento, sofre um maior carregamento, chegando este ao valor de 270 tf, que se comparado a estaca 129, de menor comprimento, tem apenas uma pequena variação percentual para mais de 3,8%.

Tratando-se das diferenças de recalque, pode-se identificar que a estaca 74 teve como recalque total um valor de 47,46 mm, que se comparado ao recalque sofrido pela estaca 129 é de 44,5% maior, ou seja, quase o dobro maior que a estaca apoiada em solo mais resistente.

4.3 QUANTITATIVO DE CONCRETO

Foi efetuado ainda, para efeitos comparativos, o quantitativo de volume de concreto para execução das estacas em questão, tendo os resultados expostos na tabela 11.

Tabela 11 - Quantitativo do volume de concreto

	EST-129	EST-74
COMPRIMENTO ESTACA	12m	17m
DIÂMETRO DA ESTACA	0,50m	0,50m
ÁREA DA BASE DA ESTACA	0,196m ²	0,196m ²
VOLUME DE CONCRETO DA ESTACA	2,356m ³	3,338m ³
VARIAÇÃO PERCENTUAL DOS VOLUMES	42%	

Fonte: Autora (2021).

Pode-se observar que há uma variação de volume de concreto de 42% entre as estacas em análise. Outro ponto que poderia ser analisado é o quantitativo de aço utilizado, mas para as estacas em questão a armadura foi equivalente, não entrando então nesta análise.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste trabalho, foram empregados os dados de um caso de obra para a análise do desempenho de fundações em estacas hélice contínua monitorada, com pontas assentes em solo de baixa resistência (Nspt 4) e solo de alta resistência (Nspt 30). O objetivo foi comparar o efeito do embutimento da ponta em solo resistente com a estaca praticamente sem ponta.

As sondagens de simples reconhecimento com SPT indicaram um subsolo predominantemente arenoso, com poucas ocorrências de argila e silte.

As estacas tinham o mesmo diâmetro, 0,50m, porém comprimentos diferentes, 12m e 17m, no solo com a ponta em Nspt 4 e Nspt 30, respectivamente. A estaca com 12m foi projetada com carga admissível de 80tf e a estaca de 17m a carga admissível foi 110tf.

Para a comparação do desempenho das estacas foram executadas provas de carga estáticas, carregamento lento. Em ambas as estacas foi aplicada mais que o dobro da carga admissível com intuito de se verificar o comportamento da estaca para elevados carregamentos e se ter uma definição da curva carga x recalque.

Os resultados das provas de carga indicaram que a maior discrepância comparando as estacas, se deu em relação ao recalque. Percebe-se que a diferença entre os recalques foi de 44,5%, mas ambos se mantiveram compatíveis com a prática de projetos para estaca hélice contínua. Nesse intuito a pesquisa foi válida pois ao se comparar os recalques correspondentes às cargas de trabalho tem-se para a estaca

longa em torno de 7mm e já para a estaca mais curta em torno de 4,5mm, valores compatíveis com a prática de projetos em hélice contínua.

Além desse fato, verificou-se pelos métodos semiempíricos que o atrito lateral para as estacas, pelo método de Antunes e Cabral, chegou a ser 99% do valor total da resistência, enquanto para o método de Décourt e Quaresma, obteve-se também relevância da resistência de ponta, principalmente para a estaca apoiada em solo de Nspt 30, chegando a 36% da resistência total.

Da análise conjunta tem-se que ao se trabalhar com a estaca mais longa (17m) há um gasto por metro em torno de 40% a mais de material e mão-de-obra. Porém é necessário menos estacas no projeto já que se tem a relação de 25% a mais de carga. Rotineiramente, na elaboração de um projeto de fundação, precisa-se trabalhar com estacas de menor carga para suportar pilares com cargas mais baixas, por exemplo, pilares de periferia. Para não se lançar uma estaca profunda com custos bem maiores, trabalha-se com estacas mais curtas com carga admissível reduzida. Contando basicamente com o atrito lateral.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 6122/2019: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro - RJ. 120p., 2019.

_____. NBR 12131/2020: **Estacas – Prova de Carga Estática – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro - RJ. 12p., 2020.

_____. NBR 6484/2020: **Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio**. Rio de Janeiro - RJ. 32p., 2020.

ANDRADE Alysson R. e SANTOS Fabiano V. **Monitoramento de Recalques em Edificações**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de graduação em Engenharia Civil - UFSC, Florianópolis-SC, 1999.

ALMADA, J. L. A. **Avaliação de capacidade de carga de estacas escavadas com trado mecânico, seo estabilizante, na cidade de Maringá/PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

AZEREDO, H. A.; BLUNCHER, E. **O Edifício e sua Cobertura**. 2. Ed. São Paulo, 1977.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações - Volume 1**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 6ª Edição. Rio de Janeiro-RJ, 1996.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações - Volume 2**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 3ª Edição. Rio de Janeiro-RJ, 1974.

FALCONI, F. Et al., **Fundações: teoria e prática**. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

HORTEGAL, M. V. **Avaliação do Comportamento de Estacas Hélice Contínua a partir de resultados de laboratório e de campo**. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-195/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 173p., 2011.

MAGALHÃES, P. H. L. **Avaliação dos Métodos de Capacidade de Carga e Recalque de Estacas Hélice Contínua Via Provas de Carga**. Dissertação de Mestrado Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 270p., 2005.

OLIVEIRA, V. K. S. **Análise Do Comportamento De Estacas Tipo Hélice Contínua Em Argila Porosa: Estudo De Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil) – Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília. 124p., 2014.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

PEREIRA, Caio. Estaca Hélice Contínua – Vantagens e Desvantagens. **Escola Engenharia**, 2017. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-helice-continua/>. Acesso em: 22 de agosto de 2021.

6 ANEXOS

6.1 ANEXO A - Cálculo da capacidade de carga da estaca 74 pelo método Décourt e Quaresma.

MATERIAL DA CAMADA	DELTA L (m)	COMPRIMENTO DA ESTACA (m)	Nspt	K (KPa)	α Déc	β Déc	Ap (m²)	P (m)	Rp (kN)	RI (kN)	Rt (kN)
AREIA FINA	1	1	3	200	0,3	1	0,196	1,571	-	-	-
AREIA FINA	1	2	4	200	0,3	1	0,196	1,571	-	-	-
AREIA FINA	1	3	4	200	0,3	1	0,196	1,571	58,905	94,248	153,153
AREIA FINA	1	4	7	200	0,3	1	0,196	1,571	78,540	136,136	214,675
AREIA FINA	1	5	9	200	0,3	1	0,196	1,571	86,394	174,533	260,927
AREIA CÁLCICA	1	6	6	200	0,3	1	0,196	1,571	74,613	235,619	310,232
AREIA CÁLCICA	1	7	4	200	0,3	1	0,196	1,571	54,978	307,876	362,854
AREIA FINA COM SILTE	1	8	4	200	0,3	1	0,196	1,571	31,416	356,047	387,463
AREIA FINA COM SILTE	1	9	0	200	0,3	1	0,196	1,571	23,562	390,455	414,017
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	10	2	200	0,3	1	0,196	1,571	19,635	425,424	445,059
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	11	3	200	0,3	1	0,196	1,571	54,978	435,169	490,147
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	12	9	200	0,3	1	0,196	1,571	109,956	458,673	568,628
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	13	16	200	0,3	1	0,196	1,571	215,984	488,851	704,835
AREIA ARENOSA COM SILTE	1	14	30	200	0,3	1	0,196	1,571	310,232	555,887	866,120
AREIA FINA COM MÉDIA OCORRÊNCIA DE NÓDULO DE ARGILA	1	15	33	200	0,3	1	0,196	1,571	415,672	664,568	1080,240
AREIA FINA COM MÉDIA OCORRÊNCIA DE NÓDULO DE ARGILA	1	16	42,85	200	0,3	1	0,196	1,571	474,577	855,710	1330,287
AREIA FINA COM MÉDIA OCORRÊNCIA DE NÓDULO DE ARGILA	1	17	45	200	0,3	1	0,196	1,571	596,314	1062,207	1658,521

6.2 ANEXO B - Cálculo da capacidade de carga da estaca 129 pelo método Décourt e Quaresma.

MATERIAL DA CAMADA	DELTA L (m)	COMPRIMENTO DA ESTACA (m)	Nspt	K (KPa)	α Déc	β Déc	Ap (m²)	P (m)	Rp (kN)	RI (kN)	Rt (kN)
AREIA FINA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. CRUSTÁCEO	1	1	8	200	0,3	1	-	-	-	-	-
AREIA FINA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. CRUSTÁCEO	1	2	6	200	0,3	1	-	-	-	-	-
AREIA FINA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. CRUSTÁCEO	1	3	4	200	0,3	1	0,196	1,571	78,540	172,788	251,327
AREIA FINA SILTOSA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. DE CRUSTÁCEO	1	4	10	200	0,3	1	0,196	1,571	78,540	209,440	287,979
AREIA FINA SILTOSA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. DE CRUSTÁCEO	1	5	6	200	0,3	1	0,196	1,571	82,467	235,619	318,086
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	6	5	200	0,3	1	0,196	1,571	58,905	314,159	373,064
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	7	4	200	0,3	1	0,196	1,571	39,270	359,189	398,459
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	8	1	200	0,3	1	0,196	1,571	27,489	397,935	425,424
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	9	2	200	0,3	1	0,196	1,571	27,489	430,847	458,336
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	10	4	200	0,3	1	0,196	1,571	35,343	445,059	480,402
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	11	3	200	0,3	1	0,196	1,571	43,197	467,166	510,363
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	12	4	200	0,3	1	0,196	1,571	47,124	502,655	549,779

6.3 ANEXO C - Cálculo da capacidade de carga da estaca 74 pelo método Antunes e Cabral.

MATERIAL DA CAMADA	DELTA L (m)	COMPRIMENTO DA ESTACA (m)	Nspt	β_1 (%)	β_2	D (m)	Rp (kN)	RI (kN)	Σ RI (kN)	Rt (kN)
AREIA FINA	1	1	3	4,5	2,25	-	-	-	-	-
AREIA FINA	1	2	4	4,5	2,25	-	-	-	-	-
AREIA FINA	1	3	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	28,274	30,041
AREIA FINA	1	4	7	4,5	2,25	0,5	3,093	49,480	77,754	80,847
AREIA FINA	1	5	9	4,5	2,25	0,5	3,976	63,617	141,372	145,348
AREIA CÁLCICA	1	6	6	4,5	2,25	0,5	2,651	42,412	183,783	186,434
AREIA CÁLCICA	1	7	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	212,058	213,825
AREIA FINA COM SILTE	1	8	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	240,332	242,099
AREIA FINA COM SILTE	1	9	0	4,5	2,25	0,5	0,000	0,000	240,332	240,332
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	10	2	4,5	2,25	0,5	0,884	14,137	254,469	255,353
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	11	3	4,5	2,25	0,5	1,325	21,206	275,675	277,000
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	12	9	4,5	2,25	0,5	3,976	63,617	339,292	343,268
AREIA MÉDIA COM NÓDULOS DE ARGILA	1	13	16	4,5	2,25	0,5	7,069	113,097	452,389	459,458
AREIA ARENOSA COM SILTE	1	14	30	4,5	2,25	0,5	13,254	212,058	664,447	677,700
AREIA FINA COM MÉDIA OCORRÊNCIA DE NÓDULO DE ARGILA	1	15	33	4,5	2,25	0,5	14,579	233,263	897,710	912,289
AREIA FINA COM MÉDIA OCORRÊNCIA DE NÓDULO DE ARGILA	1	16	42,9	4,5	2,25	0,5	18,931	302,889	1200,599	1219,529
AREIA FINA COM MÉDIA OCORRÊNCIA DE NÓDULO DE ARGILA	1	17	45	4,5	2,25	0,5	19,880	318,086	1518,685	1538,566

6.4 ANEXO D - Cálculo da capacidade de carga da estaca 129 pelo método Antunes e Cabral.

MATERIAL DA CAMADA	DELTA L (m)	COMPRIMENTO DA ESTACA (m)	Nspt	β_1 (%)	β_2	D (m)	Rp (kN)	RI (kN)	Σ RI (kN)	Rt (kN)
AREIA FINA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. CRUSTÁCEO	1	1	8	4,5	2,25		-			-
AREIA FINA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. CRUSTÁCEO	1	2	6	4,5	2,25		-			-
AREIA FINA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. CRUSTÁCEO	1	3	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	28,274	30,041
AREIA FINA SILTOSA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. DE CRUSTÁCEO	1	4	10	4,5	2,25	0,5	4,418	70,686	98,960	103,378
AREIA FINA SILTOSA COM OCORRÊNCIA DE FRAG. DE CRUSTÁCEO	1	5	6	4,5	2,25	0,5	2,651	42,412	141,372	144,022
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	6	5	4,5	2,25	0,5	2,209	35,343	176,715	178,924
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	7	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	204,989	206,756
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	8	1	4,5	2,25	0,5	0,442	7,069	212,058	212,499
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	9	2	4,5	2,25	0,5	0,884	14,137	226,195	227,078
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	10	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	254,469	256,236
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	11	3	4,5	2,25	0,5	1,325	21,206	275,675	277,000
AREIA FINA A MÉDIA COM SILTE POUCO ARGILOSA DE ARGILA	1	12	4	4,5	2,25	0,5	1,767	28,274	303,949	305,716

EST.	CARGA (kg)	HORA	INT. Δt	LEITURA (mm)					OBS.
				1	2	3	4	MÉDIA	
7º	182.000	16:02	2	26,07	26,16	26,09	26,00	26,08	
		16:04	4	28,09	28,18	28,06	28,02		
		16:08	8	29,87	29,96	29,80	29,76		
		16:15	15	30,95	31,08	30,89	30,85		
		16:30	30	31,33	31,46	30,96	31,20	31,24	
8º	208.000	16:32	2	36,23	36,47	36,05	36,37	36,28	
		16:34	4	37,75	37,99	37,51	37,85		
		16:38	8	39,65	39,89	39,39	39,72		
		16:45	15	41,22	41,46	40,97	41,27		
		17:00	30	42,06	42,30	41,80	42,08	42,06	
9º	234.000	17:02	2	47,31	47,63	47,21	47,52	47,42	
		17:04	4	49,03	49,37	48,93	49,23		
		17:08	8	51,71	52,21	51,75	52,04		
		17:15	15	52,72	52,99	52,48	52,76		
		17:30	30	53,11	53,42	52,88	53,17	53,15	
10º	260.000	17:52	2	60,86	61,27	60,76	61,18	61,02	
		17:54	4	62,40	62,84	62,28	62,70		
		17:58	8	63,55	64,01	63,41	63,84		
		18:05	15	65,71	66,17	65,51	66,00	65,85	
		18:20	30	66,47	66,93	66,25	66,72	66,59	

6.6 ANEXO F – Descarregamento Vertical à Compressão da estaca 129.

[illegible]

6.7 ANEXO G – Carregamento Vertical à Compressão da estaca 74.

EST.	CARGA (kg)	HORA	INT. Δt	LEITURA (mm)					OBS.
				1	2	3	4	MÉDIA	
1º	30.000	15:02	2	0,48	0,49	0,36	0,30	0,41	
		15:04	4	0,54	0,54	0,40	0,43		
		15:08	8	0,54	0,55	0,41	0,43		
		15:15	15	0,54	0,55	0,41	0,43		
		15:30	30	0,55	0,56	0,41	0,43	0,49	
2º	60.000	15:32	2	1,84	1,79	1,51	1,53	1,67	
		15:34	4	2,04	2,00	1,68	1,71		
		15:38	8	2,13	2,10	1,71	1,80		
		15:45	15	2,18	2,15	1,82	1,85		
		16:00	30	2,21	2,18	1,85	1,88	2,03	
3º	90.000	16:02	2	4,31	4,22	3,75	3,75	4,01	
		16:04	4	4,58	4,46	3,99	3,96		
		16:08	8	4,86	4,77	4,27	4,26		
		16:15	15	5,09	5,00	4,49	4,47		
		16:30	30	5,19	5,09	4,54	4,56	4,85	
4º	120.000	16:32	2	7,54	7,43	6,73	6,74	7,11	
		16:34	4	8,03	7,92	7,19	7,19		
		16:38	8	8,44	8,33	7,56	7,58		
		16:45	15	8,96	8,86	8,04	8,06		
		17:00	30	9,05	8,98	8,13	8,17	8,58	
5º	150.000	17:02	2	11,75	11,67	10,62	10,56	11,15	
		17:04	4	12,29	12,22	11,11	11,19		
		17:08	8	12,84	12,72	11,63	11,67		
		17:15	15	13,31	13,21	12,11	12,18		
		17:30	30	13,52	13,45	12,32	12,40	12,92	
6º	180.000	17:32	2	16,48	16,33	15,15	15,19	15,79	
		17:34	4	17,21	17,11	15,89	15,95		
		17:38	8	17,86	17,75	16,50	16,55		
		17:45	15	18,45	18,36	17,10	17,17		
		18:00	30	18,67	18,58	17,31	17,41	17,99	

EST.	CARGA (kg)	HORA	INT. Δt	LEITURA (mm)					OBS.
				1	2	3	4	MÉDIA	
7º	210.000	18:02	2	21,61	21,60	20,25	20,39	20,96	
		18:04	4	22,43	22,39	20,95	21,12		
		18:08	8	23,56	23,43	22,08	22,19		
		18:15	15	24,92	24,84	23,39	23,50		
		18:30	30	25,18	25,11	23,66	23,76	24,43	
8º	240.000	18:32	2	29,06	29,03	27,43	27,56	28,27	
		18:34	4	30,09	30,09	28,43	28,56		
		18:38	8	32,21	32,18	30,42	30,54		
		18:45	15	33,24	33,20	31,40	31,24		
		19:00	30	33,69	33,55	31,89	31,71	32,71	
9º	270.000	19:02	2	40,86	40,91	38,77	38,84	39,85	
		19:04	4	43,07	43,05	40,94	40,89		
		19:08	8	44,63	44,63	42,43	42,39		
		19:15	15	45,33	45,35	43,11	43,06		
		19:30	30	46,70	46,75	44,45	44,40	45,58	
		20:00	60	47,31	47,28	45,04	45,00	46,16	

6.8 ANEXO H – Descarregamento Vertical à Compressão da estaca 74.

[illegible]