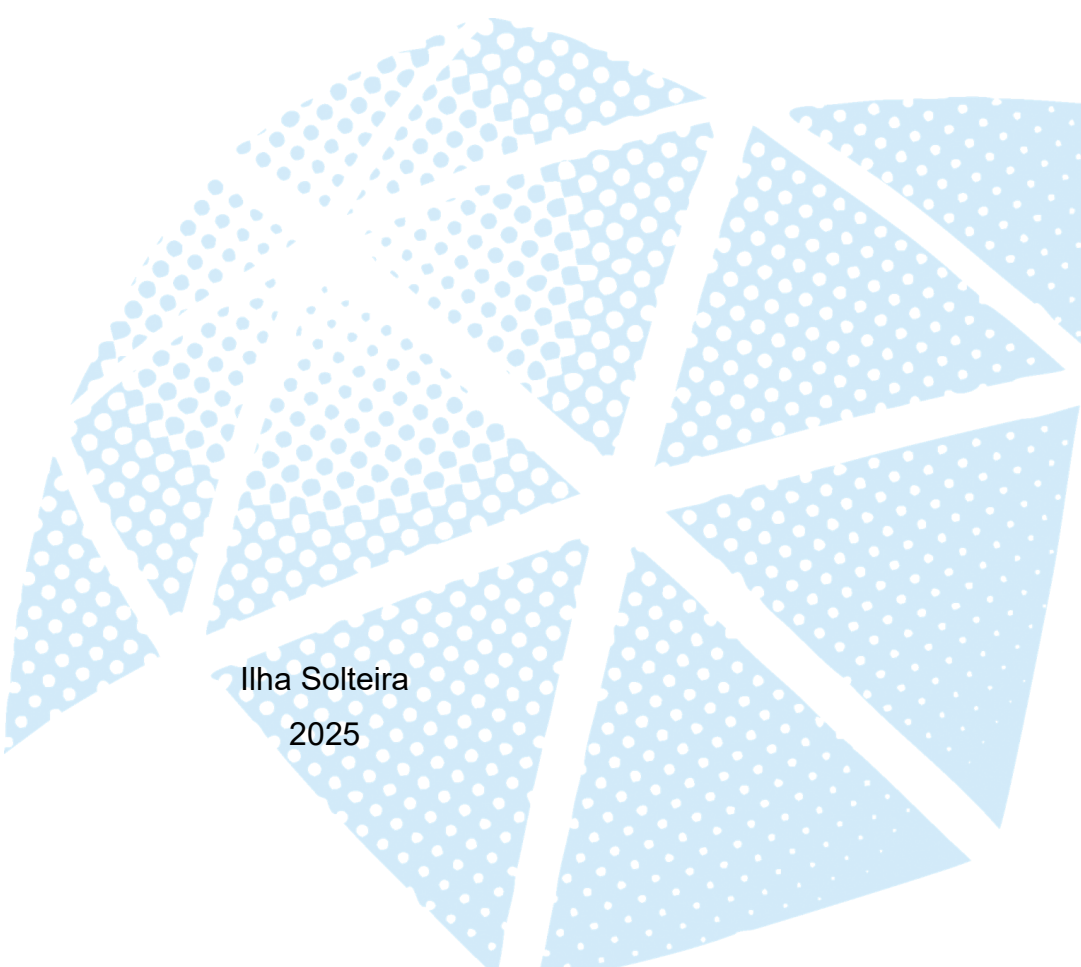


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira

VITOR LOPES CASERI

**PROJETO DE ESTAQUEAMENTO COM ESTACAS HÉLICE CONTINUA E
DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO DAS MESMAS, PARA UM EDIFÍCIO DE 17
PAVIMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO (SP)**



Ilha Solteira
2025

VITOR LOPES CASERI

**PROJETO DE ESTAQUEAMENTO COM ESTACAS HÉLICE CONTINUA E
DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO DAS MESMAS, PARA UM EDIFÍCIO DE 17
PAVIMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO (SP)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentada à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia, Ilha Solteira, para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio de
Morais Alcântara

Ilha Solteira

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- C338p Caseri, Vitor Lopes.
- Projeto de estaqueamento com estacas hélice continua e definição do comprimento das mesmas, para um edifício de 17 pavimentos na cidade de São Paulo (SP) / Vitor Lopes Caseri. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
65 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025
- Orientador: Marco Antônio de Moraes Alcântara
- Inclui bibliografia
1. Fundações profundas. 2. Estacas. 3. Dimensionamento. 4. Capacidade de carga.

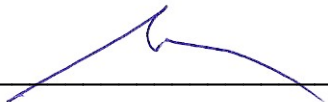
VITOR LOPES CASERI

**PROJETO DE ESTAQUEAMENTO COM ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA E
DEFINIÇÃO DO COMPRIMENTO DAS MESMAS, PARA UM EDIFÍCIO DE 17
PAVIMENTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO (SP)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovado em: 24/06/2025

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Marco Antonio de Moraes Alcantara (Orientador)
UNESP - Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira



Prof. Dr. Artur Pantoja Marques (Examinador)
UNESP - Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira



Prof. Dr. Adriano Souza (Examinador)
UNESP - Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira

AGRADECIMENTOS

Começo com os meus agradecimentos com os meus pais, que me apoiaram durante toda a escalada da minha vida, como também durante a minha graduação, aos meus amigos com os quais passei pelas alegrias e dificuldades durante a graduação.

Aos professores do curso de engenharia civil, em especial ao professor Adriano o qual me ajudou muito durante a graduação e ao meu orientador Marco, que sempre foi muito solícito e me ajudou durante o processo de elaboração do meu TCC e estágio.

Aos colaboradores da RLE e Integra, na qual estagiei e trabalhei, os quais me ensinaram muito durante esses últimos anos, faço uma ressalva e agradecimento ao engenheiro Lúcio, que muito me orientou.

Assim, ao término desta etapa agradeço a todos com quem troquei experiências e espero que novos desafios venham a mim.

RESUMO

O presente trabalho consiste no dimensionamento de um projeto de estaqueamento e determinação do comprimento da fundação de um edifício de 17 pavimentos na cidade de São Paulo (SP), com aplicação de estacas hélice contínua. Primeiramente foi necessário avaliar a planta de pilares e as características do subsolo no qual se construiu o edifício. Em seguida, foi definida a quantidade de estacas por pilar, bem como seus respectivos diâmetros e comprimentos, estendendo-se pelo dimensionamento das barras de arranque dos pilares, de 16 mm de diâmetro e 4 m de comprimento. Levantado o quantitativo de aço e de concreto C30, para se chegar ao custo da execução das estacas. Para as estacas foram definidos os diâmetros 50 e 60 cm, bem como o número de barras de aço CA50A para cada diâmetro. O comprimento das estacas foi feito pelo método de Alonso (2012), já os outros dimensionamentos seguiram as premissas de normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Com os resultados obtidos foi possível concluir que as estacas hélice contínua são seguras e têm um custo competitivo.

Palavras-chaves: Fundações profundas, Estacas, Dimensionamento, Capacidade de Carga.

ABSTRACT

This work consists of designing a piling project and determining the length of the foundation of a 17-story building in the city of São Paulo (SP), with the application of continuous helix piles. First, it was necessary to evaluate the pillar plan and the characteristics of the subsoil in which the building was constructed. Then, the number of piles per pillar was defined, as well as their respective diameters and lengths, extending to the dimensioning of the pillar starter bars, 16 mm in diameter and 4 m in length. The quantity of steel and C30 concrete was surveyed to arrive at the cost of executing the piles. For the piles, the diameters of 50 and 60 cm were defined, as well as the number of CA 50A steel bars for each diameter. The length of the piles was determined by the method of Alonso (2012), while the other dimensions followed the premises of specific standards of the Brazilian Association of Technical Standards. With the results obtained, it was possible to conclude that continuous helix piles are safe and have a competitive cost.

Keywords: Deep foundations, Piles, Design, Load capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de execução do ensaio SPT	17
Figura 2 – Relatório SPT	18
Figura 3 – Blocos	20
Figura 4 – Tipos de sapatas	20
Figura 5 – Radier	21
Figura 6 – Exemplo de tubulão	22
Figura 7 – Esquema de execução de estacas tipo Hélice Continua	24
Figura 8 – Equipamento utilizado para o monitoramento de estaca hélice continua na execução	25
Figura 9 – Gráficos de estaca	26
Figura 10 – Esquema da somatória das capacidades de carga da estaca	66
Figura 11 – Exemplo de detalhamento das esperas dos pilares	37
Figura 12 – Localização da obra	38
Figura 13 – Fachada Principal do empreendimento	39
Figura 14 – Planta de cargas	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas admissíveis das estacas hélice contínuas	27
Tabela 2 – Coeficientes α e β em função dos tipos de estaca e do tipo de solo	31
Tabela 3 – Estacas moldadas <i>in loco</i> e tubulões: parâmetros para dimensionamento	32
Tabela 4 – Classes de agressividade ambiental	33
Tabela 5 – Quadro resumo com ênfase na carga de atrito lateral ao longo do fuste e carga última	40
Tabela 6 - Quadro resumo armaduras das esperas dos pilares e volume de concreto	44
Tabela 7 - Resumo de Aço CA 50A	47
Tabela 8 - Orçamento estacas	48
Tabela 9 - Quantificação das estacas por diâmetro e comprimento	49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 GENERALIDADES	14
3.2 INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO	15
3.2.1 Standard Penetration Test com medidas de toque – SPT-T	15
3.2.2 Ensaio de penetração de cone - CPT	15
3.2.3 Standard Penetration Test - SPT	16
3.3 TIPOS DE FUNDAÇÃO	18
3.3.1 Blocos	19
3.3.2 Sapatas	20
3.3.3 Radier	21
3.4 FUNDAÇÕES PROFUNDAS	21
3.4.1 Tubulões	22
3.4.2 Estacas	22
3.4.3 Estacas Hélice Contínua	23
3.5 CAPACIDADE DE CARGA ADMISSÍVEL DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA	27
3.5.1 Método de Alonso	29
3.6 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTACAS	31
4 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA	34
4.2 MATERIAIS	34
4.3 DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO DA FUNDAÇÃO	34
4.3.1 Método de Alonso (2012)	35
4.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTACAS	37
4.5 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE CONCRETO POR ESTACA E DO VOLUME TOTAL	37
5 RESULTADOS – DIMENSIONAMENTO	38
5.1 CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO	38
5.2 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUAS	40

5.3 DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DAS ESPERAS DE PILARES, DO VOLUME DE CONCRETO PARA CADA ESTACA E DO VOLUME TOTAL.....	43
5.4 ORÇAMENTO.....	48
6 ANÁLISES E DISCUSSÕES	49
6.1 DETERMINAÇÃO DOS DIÂMETROS DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA ($\varnothing$) E DE SEUS COMPRIMENTOS (L).....	49
6.2 DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DE AÇO DAS ESPERAS DOS PILARES – DIÂMETROS ($\varnothing_b$) E COMPRIMENTOS (L_b).....	50
6.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME TOTAL DE CONCRETO (V_T).....	50
6.4 ORÇAMENTO.....	50
7 CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	52
Anexo A Ensaio de Penetração SPT.....	56
Anexo B Planta de cargas.....	58
Anexo C Acompanhamento da Execução das Estacas Hélice Contínua.....	59

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste no dimensionamento de um projeto de estaqueamento e determinação do comprimento da fundação de um edifício de 17 pavimentos na cidade de São Paulo (SP), com aplicação de estacas hélice contínua. Primeiramente foi necessário avaliar a planta de pilares e as características do subsolo no qual se construiu o edifício. Em seguida, foi definida a quantidade de estacas por pilar, bem como seus respectivos diâmetros e comprimentos, estendendo-se pelo dimensionamento das barras de arranque dos pilares, de 16 mm de diâmetro e 4 m de comprimento. Levantado o quantitativo de aço e de concreto C30, para se chegar ao custo da execução das estacas. Para as estacas foram definidos os diâmetros 50 e 60 cm, bem como o número de barras de aço CA50A para cada diâmetro. O comprimento das estacas foi feito pelo método de Alonso (2012), já os outros dimensionamentos seguiram as premissas de normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Com os resultados obtidos foi possível concluir que as estacas hélice contínua são seguras e têm um custo competitivo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um projeto de estaqueamento em estacas hélice contínua e a definição do comprimento das mesmas para um edifício de 17 pavimentos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliação da planta de pilares
- Avaliação dos perfis de sondagem
- Determinação da quantidade de estacas por pilar (estaqueamento)
- Determinação do comprimento de projeto
- Elaboração de orçamento

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GENERALIDADES

As fundações possuem uma história que se estende desde as antigas civilizações, sendo componentes fundamentais na edificação desde os tempos mais antigos. Os antigos egípcios, gregos e romanos já empregavam métodos primitivos para distribuir o peso das construções no solo, com o objetivo de assegurar estabilidade e proteção. Ao longo dos séculos, o entendimento acerca do comportamento do solo e dos materiais de construção progrediu, particularmente após a Revolução Industrial, época em que surgiram grandes projetos de infraestrutura que demandam soluções mais sofisticadas. No século XX, o progresso na mecânica dos solos e na engenharia geotécnica possibilitou progressos notáveis, possibilitando a criação de fundações mais eficazes, seguras e adaptáveis a variados tipos de solo. Atualmente, as fundações são elaboradas com base em cálculos precisos e tecnologias avançadas, podendo ser categorizadas como superficiais ou profundas, de acordo com a exigência da construção e as propriedades do terreno.

A fundação é o local onde a superestrutura sustenta e, dessa forma, transfere a carga. As infraestruturas são responsáveis por transferir toda a carga proveniente das vigas para os pilares e assim para o solo, garantindo a segurança contra rupturas (estados limites últimos) e recalques admissíveis (estados limites de serviço).

As fundações podem ser classificadas como rasas ou superficiais e profundas. As fundações rasas ou superficiais estão situadas em camadas mais próximas à superfície do solo, geralmente a até 3 metros de profundidade, quando as camadas superiores possuem capacidade de carga suficiente para suportar o peso da estrutura. Quando o solo superficial apresenta boa resistência, essas fundações tornam-se mais seguras, rápidas de construir e mais econômicas. “Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2022) as fundações profundas são aquelas cuja base está situada a uma distância superior ao menos duas vezes sua menor dimensão e a uma profundidade mínima de 3 metros” (FALCONI *et al.*, 2019).

Para seguirmos um projeto de fundações temos que ter várias informações sobre o terreno, entrando na sua composição, levantamento topográfico do mesmo, sendo que dependendo do tipo e local da obra teremos que ter informações mais específicas.

3.2 INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

As informações do solo onde será executada a obra e para isso temos que fazer algum ensaio para identificar o tipo de solo presente no terreno, existem vários testes para obter essas informações, como (FALCONI *et al.*, 2019):

- “Standard Penetration Test” SPT;
- “Standard Penetration Test” com medidas de torque SPT-T;
- Ensaio de penetração de cone – CPT.

Mas o mais utilizado por motivos econômicos e de praticidade é o Standard Penetration Test – SPT, o qual será mais aprofundado neste trabalho.

3.2.1 Standard Penetration Test com medidas de toque – SPT-T

O ensaio SPT-T (Standard Penetration Test com medição de torque) foi desenvolvido na década de 1980, a partir da proposta de Ranzini (1988), que introduziu a idéia de mensurar o torque necessário para romper a adesão entre o solo e o amostrador logo após a execução do ensaio SPT convencional. Essa medição tem como objetivo fornecer subsídios para a estimativa da tensão de atrito lateral mobilizada em estacas utilizadas em fundações.

Quando solicitado, o procedimento de medição de torque é realizado ao final de cada etapa do ensaio de penetração SPT, por meio de um torquímetro devidamente calibrado, com as leituras expressas em kgf.m são obtidos tanto o torque máximo quanto o torque residual. As forças de atrito lateral atuantes sobre o amostrador padrão, determinadas pela aplicação de um momento torsor no topo das hastes do equipamento após a cravação, caracterizam o que se denomina ensaio SPT-T (RANZINI, 1994).

3.2.2 Ensaio de penetração de cone – CPT

O ensaio CPT (*Cone Penetration Test*) consiste na cravação estática e contínua de um cone, que pode ser do tipo mecânico ou elétrico, acoplado a um sistema hidráulico. O procedimento é realizado com velocidade constante de penetração, tipicamente igual a 2 cm/s, permitindo a coleta de dados a cada 20 cm de profundidade. O equipamento, ao operar por meio de um sistema hidráulico, atua

simultaneamente como mecanismo de cravação e como prensa estática, dispensando o uso de percussão.

Nos sistemas mais modernos, especialmente com cones elétricos, os parâmetros geotécnicos são registrados automaticamente e de forma contínua ao longo da profundidade. Os sensores integrados realizam a medição das variáveis de interesse, que são transmitidas em tempo real para um sistema computacional, responsável pelo armazenamento e processamento dos dados.

Esse método de investigação geotécnica permite obter, de maneira rápida e precisa, diversos parâmetros do solo, como:

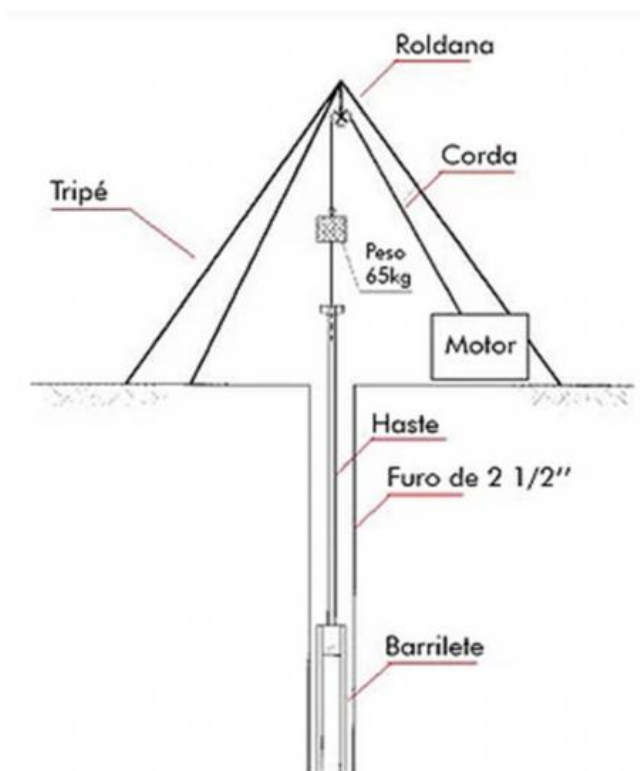
- a resistência de ponta;
- a resistência do atrito lateral;
- identificação do tipo de solo.

3.2.3 Standard Penetration Test – SPT

A realização do ensaio SPT é normatizada pela NBR 6484 (ABNT, 2020), a qual especifica e regulariza seus procedimentos, assim como a composição e caracterização de seus equipamentos, e pela NBR 8036 (ABNT, 1983), responsável por regulamentar a programação de sondagens de simples reconhecimento de acordo com as áreas de construção.

Inicialmente, tratando do equipamento para a execução do ensaio, este é constituído de uma torre (usualmente um tripé) no qual é possível alcançar seu ponto mais alto, onde está presa uma roldana percorrida por uma corda atada a um peso, conhecido como martelo, de 65 kg. Tal peso encontra-se guiado por uma haste acima de uma cabeça de bater, responsável por receber as cargas para a cravação do amostrador padrão (barrilete), no qual serão recolhidas as amostras, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema de execução do ensaio SPT



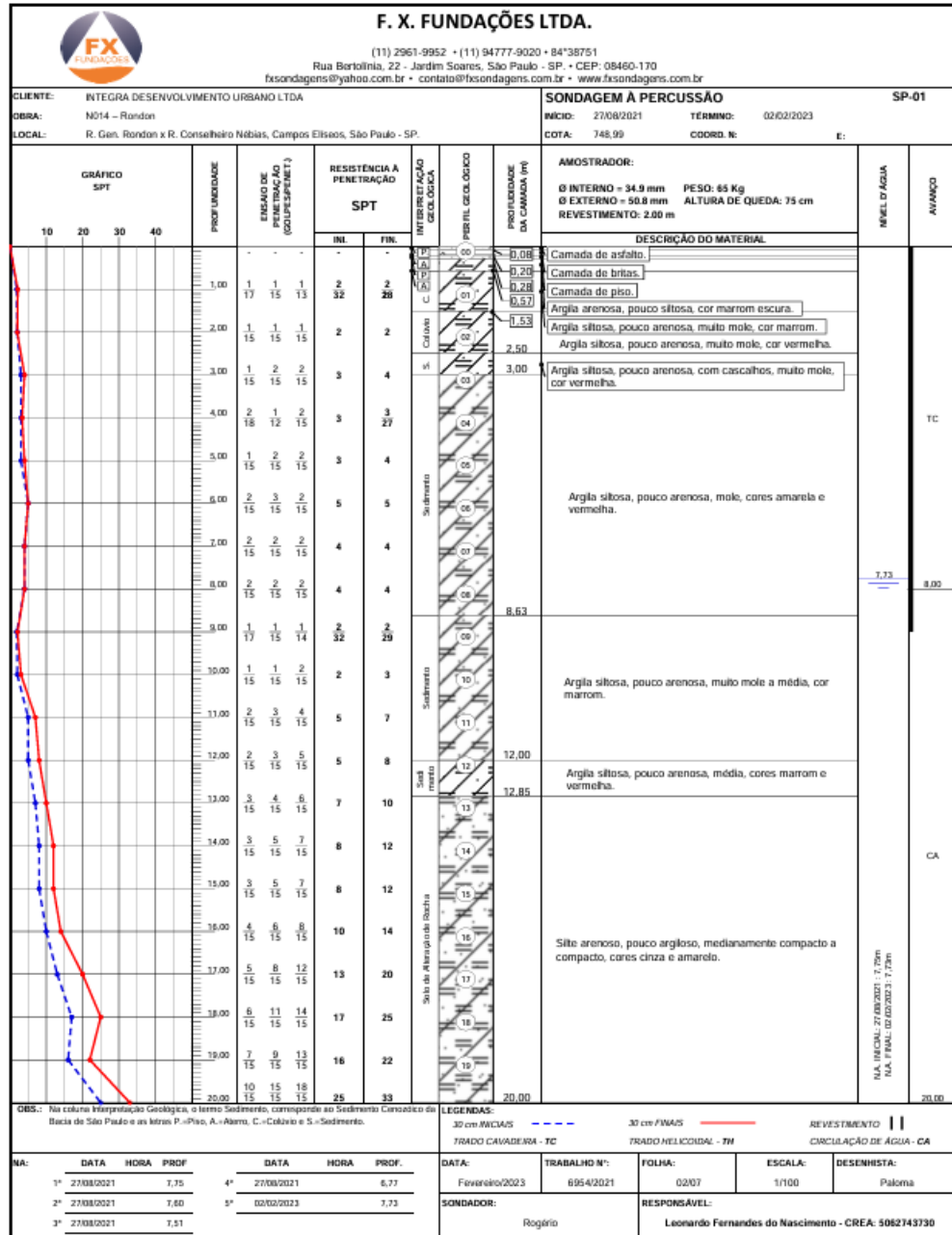
Fonte: EESC jr. (2025).

Ademais, o martelo de 65 kg deve ser erguido a uma altura de 75 cm, para a aplicação dos golpes. Este processo pode ser efetuado manualmente ou mecanizado, apresentando o último maior acurácia.

Com a estrutura montada e antes de iniciarem-se as cravações, deve-se retirar o primeiro metro escavado com um trado conha ou helicoidal devido à grande concentração de matéria orgânica presente nesse metrô inicial. Em seguida, a sondagem SPT efetivamente principia seu serviço, contabilizando-se o número de golpes necessários para a cravação do padrão nos primeiros 45 cm segmentados em partes de 15 cm a partir do metrô inicial, sendo o índice N_{SPT} a soma de golpes para a cravação dos últimos 30 cm. Após isso se escava com o trado helicoidal os 55 cm restantes até se atingir o próximo metro de profundidade, repetindo-se o procedimento até a profundidade definida pelo responsável técnico e as necessidades do projeto, ou até que seja atingido um dos critérios de paralisação previsto na NBR 6484 (ABNT, 2020).

Assim sendo, prossegue-se até que a profundidade requerida seja alcançada e, então, é elaborado um relatório que resuma as informações obtidas e demonstre o horizonte do subsolo, mostrado na Figura 2, a seguir.

Figura 2 – Relatório SPT



Fonte: F.X. Fundações Ltda (2023).

3.3 TIPOS DE FUNDAÇÃO

“As fundações diretas ou superficiais são as que se apoiam logo abaixo da infraestrutura e se caracterizam pela transmissão da carga ao solo através das pressões distribuídas sob sua base” (ALONSO, 2019a, p.1).

A utilização da fundação superficial se caracteriza, quando a camada de suporte está próxima à superfície do solo tendo uma profundidade de até 3 metros, não tendo a presença do nível de água.

Sendo a primeira solução a ser analisada, quando se faz um estudo técnico e econômico, para a escolha do tipo de fundação, existem algumas classificações como os blocos, sapatas e *radier*.

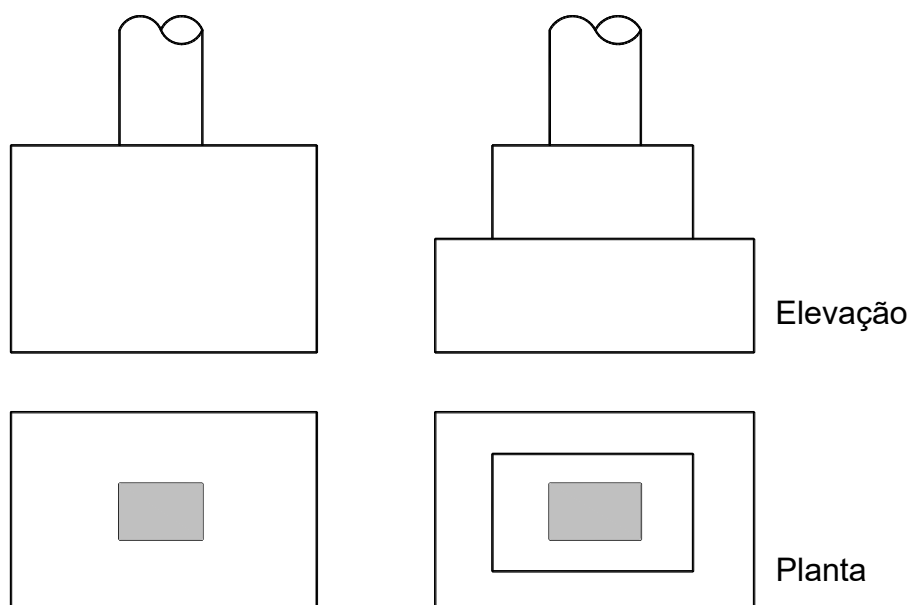
Quanto aos tipos, temos: blocos, sapatas, viga de fundação, grelha, sapatas associadas e *radier*. Cada tipo difere do outro de acordo com a sua utilização. Blocos geralmente não são armados e, portanto, se mostram econômicos quando as cargas são pequenas, mas não se restringindo a elas. Sapatas são a solução para cargas maiores, são armadas, o que faz com que haja economia de concreto em relação aos blocos. Os outros tipos servem de alternativa para as situações em que as sapatas ou blocos acabam se sobrepondo ou quando se deseja uniformizar os recalques, sendo necessárias associações, as quais ocupam grandes áreas do terreno. “Quando a área total de fundação ultrapassa metade da área de construção, o *radier* é indicado” (FALCONI *et al.*, 2019).

Os tipos de fundações rasas serão brevemente explicados na sequência deste trabalho.

3.3.1 Blocos

São elementos de concreto simples e caracterizados por uma altura relativamente grande, para trabalhar necessariamente a compressão. Executados fazendo a escavação do terreno e lançamento de concreto simples, sem a armação em que a tração vai ser absorvida pelo próprio concreto, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Blocos.

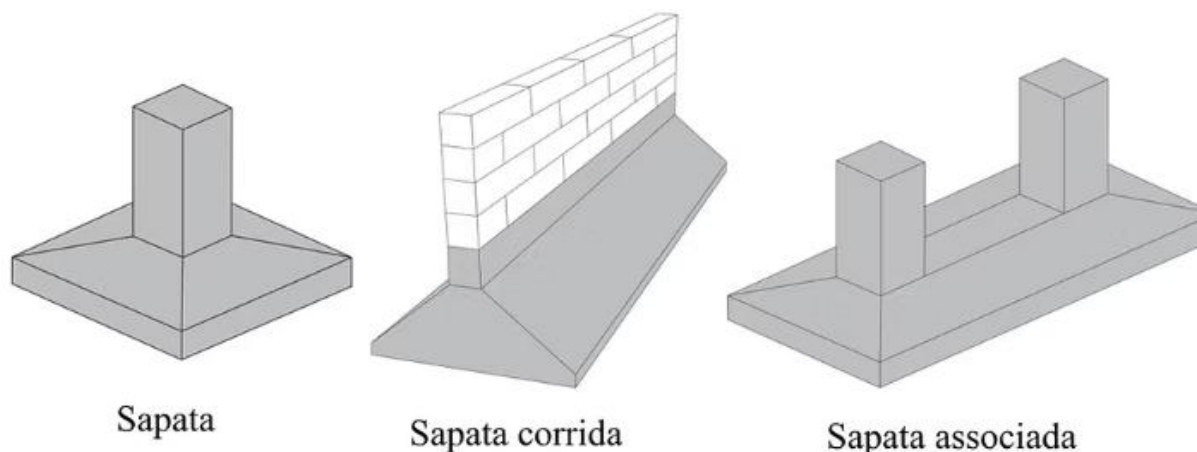


Fonte: Veloso e Lopes (2011).

3.3.2 Sapatas

Normalmente apresentam menor altura que os blocos, sendo quadradas, retangulares ou corridas (Figura 4). Resistem principalmente à flexão e podem ser associadas a outras sapatas, quando não há possibilidade de se projetá-las isoladamente. Assim são projetadas as sapatas corridas, sapatas associadas e alavancadas, que serão utilizadas dependendo da necessidade do projeto.

Figura 4 - Tipos de sapatas.



Fonte: Geoport (2025).

3.3.3 Radier

É um elemento rígido que transmite ao solo as cargas de todos os pilares da edificação (*radier* geral) (Figura 5) ou de parte deles (*radier* parcial) e distribui mais do que 70% das cargas da estrutura (SOUZA, 2025; ABNT, 2022). Esse tipo de fundação é utilizado quando as sapatas se encontram muito próximas ou em casos que se pretende uniformizar os recalques por meio de uma fundação associada. Para fins de dimensionamento, aconselha-se utilizar radiers em casos que a área total das sapatas for maior que metade da área da construção (VELLOSO e LOPES, 2011).

Figura 5 - *Radier*.



Fonte: APL Engenharia (2025).

3.4 FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Este tipo de fundação tem sua importância quando o solo superficial não apresenta resistência suficiente para apoiar uma fundação rasa. Nesse caso, portanto, as estacas ou tubulões são possíveis soluções para o problema.

As fundações profundas podem ser divididas em alguns tipos. Os dois principais são: as estacas e tubulões. As primeiras se caracterizam por serem executadas manual ou mecanicamente. Podem ser cravadas à percussão, prensadas, vibradas, escavadas, ou ainda ter uma composição mista dentre essas citadas. Os segundos necessitam que haja a descida de um operário, pelo menos na fase final de execução, porém, não diferem das estacas quanto às dimensões.

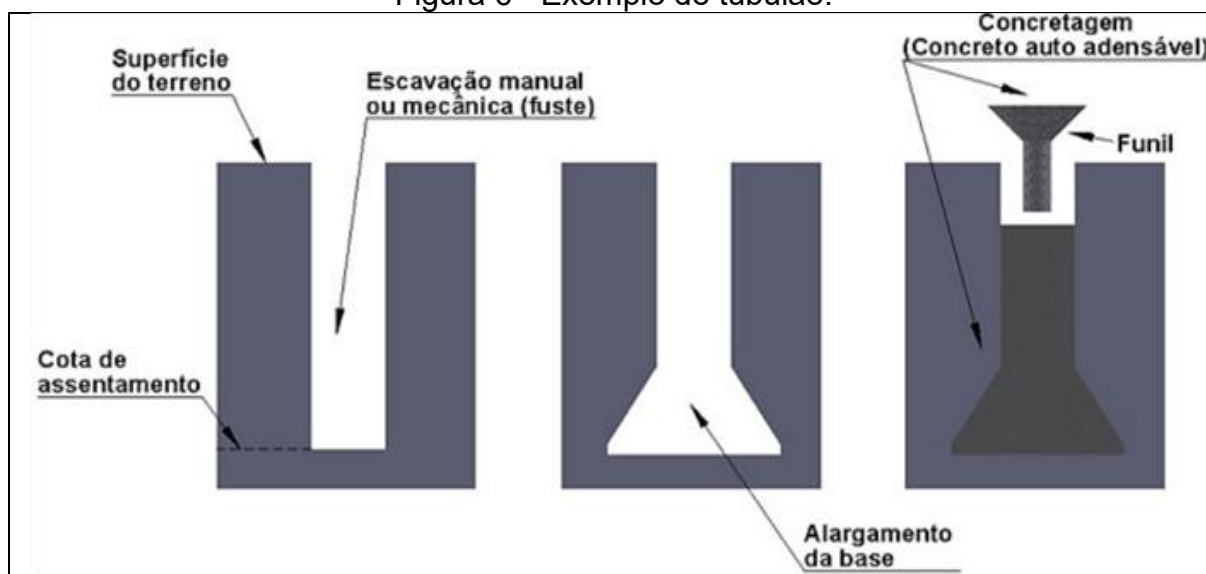
Sua execução é um ramo especializado da engenharia, sendo, então, necessário que a empresa responsável esteja apta a realizar um serviço adequado e de acordo com as normas vigentes. Além disso, o projetista deve ter ciência das limitações da empresa, bem como dos equipamentos que ela possui, para que possa elaborar um projeto que não acarrete em dificuldades de execução na obra (FALCONI *et al.*, 2019).

3.4.1 Tubulões

O tubulão é definido como elemento de fundação profunda de forma cilíndrica (podendo ou não ter a base alargada e acabada em formato elíptico ou circular) em que as cargas são resistidas principalmente pela ponta (Figura 6) e, além disso, 29 necessita da descida de um operário ou técnico em seu interior em pelo menos uma das etapas de sua execução (para alargamento da base e/ou limpeza do fundo da escavação). Sendo a última, a principal característica que o difere das estacas (VELLOSO e LOPES, 2011; ABNT, 2022).

Ele é empregado acima do nível da água ou abaixo em casos especiais (em que o terreno é predominantemente argiloso e sendo possível eliminar a água com a utilização de uma bomba). Normalmente não causam vibrações durante sua execução e podem ser utilizados para praticamente qualquer faixa de carga, delimitando seu limite de carga a partir do diâmetro da base. Usualmente são utilizados diâmetros de no máximo 4,0 m, limitando-se o uso de diâmetros maiores apenas a terrenos bem conhecidos e experimentados (SOUZA, 2025).

Figura 6 - Exemplo de tubulão.



Fonte: BASESTRAUSS Engenharia e Estaqueamento (2025).

3.4.2 Estacas

Júnior (2007, p. 124) comenta que “as estacas são elementos esbeltos, implantados no solo por meio de percussão ou pela prévia perfuração do solo com posterior concretagem, podendo, dessa forma, serem classificadas estacas cravadas e estacas escavadas”.

Podem ser encontradas numa enorme variedade de tipos e, conforme os estudos progridem, novos tipos de soluções são propostas.

Os tipos de estacas escavadas são:

- Estacas Franki;
- Strauss;
- Escavadas com/sem lama bentonítica;
- Estacas broca;
- Hélice contínua;
- Estacas-raiz e micro estacas.

Como deslocamento, temos:

- Pré-moldadas de concreto;
- Estacas de madeira;
- Estacas metálicas.

Será detalhada de forma mais abrangente as estacas hélice contínua, por serem as estacas utilizadas neste trabalho.

3.4.3 Estaca Hélice Contínua

Criada nos EUA teve sua primeira aparição no Brasil em 1987, com equipamentos desenvolvidos no próprio País. A partir da década de 90 as máquinas europeias adentraram no mercado, o que trouxe maior tecnologia para o método executivo (FALCONI *et al.*, 2019).

As estacas Hélice Contínua são executadas através da introdução de um trado helicoidal contínuo, no terreno, até a profundidade projetada e concretadas bombeando-se o concreto através do núcleo central do tubo do trado, simultaneamente enquanto prossegue a sua retirada.

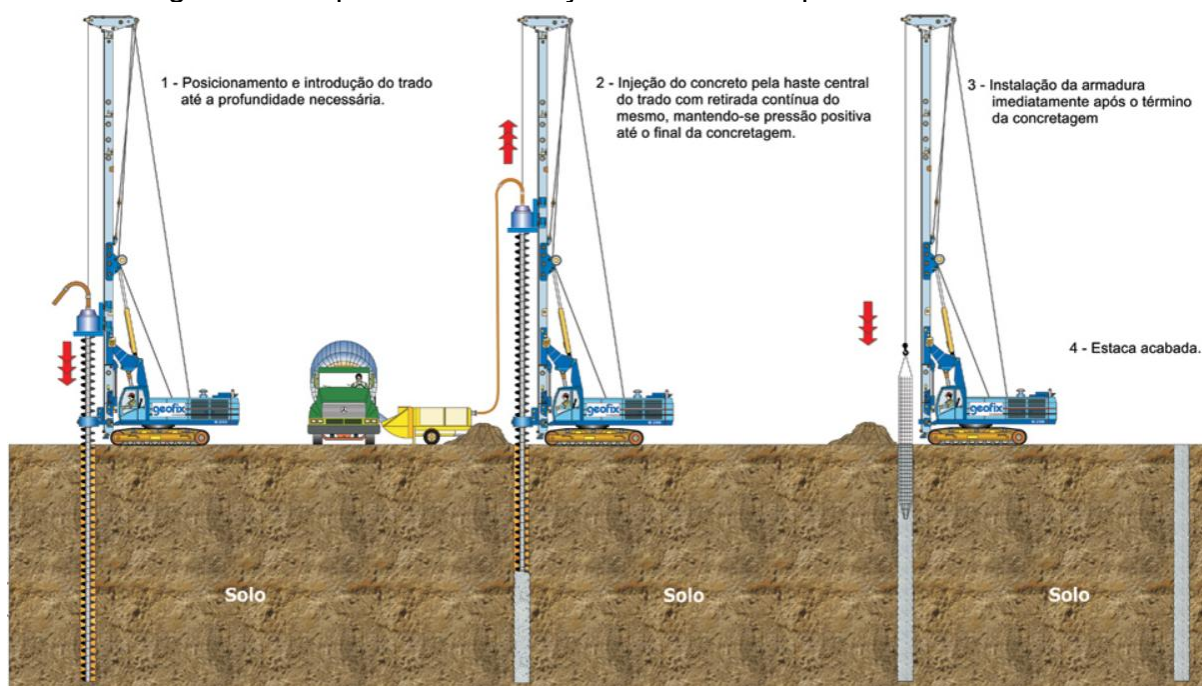
A execução da estaca hélice contínua segue as seguintes etapas:

Perfuração: o trado é inserido no solo por meio de sua rotação e pelo peso próprio até a profundidade especificada no projeto. Como as estacas hélice contínua não permitem alívio do solo durante as etapas de escavação e concretagem podem ser executadas tanto em solos coesivos como arenosos, na presença ou não de água subterrânea.

Concretagem: depois de chegar à profundidade projetada o concreto é bombeado através do mangote até a tubulação central, e a hélice é extraída do solo sem girar, ou girando lentamente no sentido da perfuração. A velocidade de subida do trado e a pressão de bombeamento do concreto são controladas de forma que este preencha os vazios causados pela extração da hélice. O concreto utilizado deve apresentar um alto abatimento. A estaca é preenchida com concreto até a superfície de trabalho e limpa manualmente.

Colocação da armadura: É feita após a concretagem. A colocação dessa armação é realizada por gravidade ou com o auxílio de um pilão de pequena carga ou vibrador, com os seus espaçadores (Figura 7).

Figura 7 - Esquema de execução de estacas tipo Hélice Contínua.



Fonte: Geofix (2025).

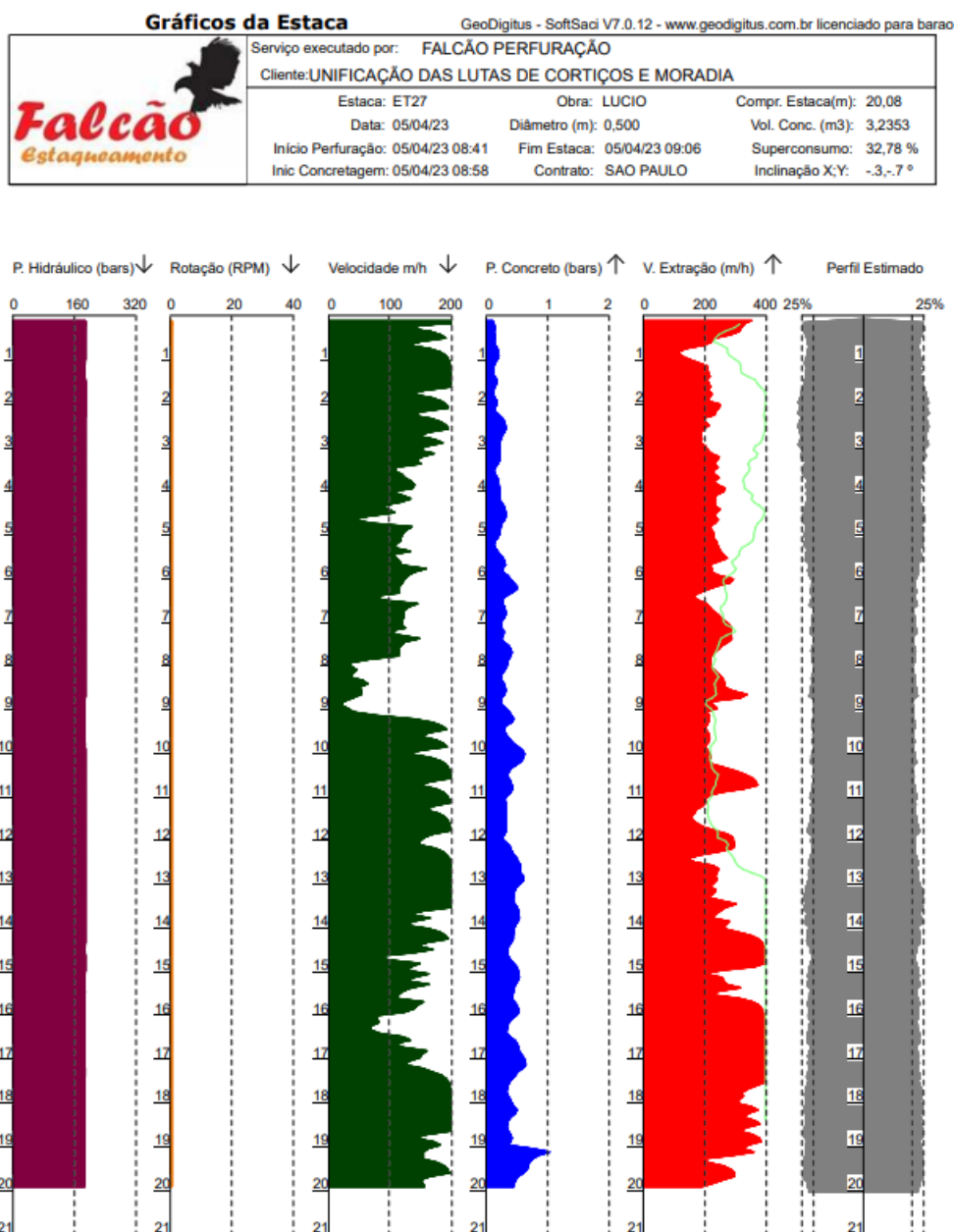
Controle de qualidade: Monitorada através de um computador de bordo, observada na (Figura 8), que apresenta como dados de saída, durante a perfuração, a inclinação do trado nas duas direções, a rotação e o torque para a introdução do trado, a velocidade de avanço e a profundidade do trado, profundidade da ponta do trado, a pressão do concreto no topo do trado, o volume de concreto injetado, o consumo de concreto, a velocidade de subida do trado e o perfil estimado da estaca. O computador de bordo alimentado com os dados da estaca e da bomba de concreto faz o controle de qualidade (Figura 9).

Figura 8 - Equipamento utilizado para o monitoramento de estaca hélice contínua na execução.



Fonte: Obra Integra (2023).

Figura 9 - Gráficos da estaca.



Fonte: Falcão Perfurações (2023).

As estacas de hélice contínua utilizadas na obra acompanhada têm como vantagens, alta produtividade, facilidade com a maioria de tipos de terreno, não provocam vibrações, não necessitam de lama bentonítica e atendem obras com cargas leves a pesadas. Já tem como pontos negativos:

- O uso excessivo do concreto, sendo que as perdas nas estacas giram em torno de 20% (vinte por cento).
- Execução limitada a uma profundidade máxima de ± 30 metros;

- Por conta do tamanho do equipamento as áreas de trabalho devem ser planas e de fácil acesso;
- Deve haver uma concreteira próximo ao local da execução da fundação;
- O custo total da obra, tem que ser razoável para o valor da mobilização dos equipamentos.
- Há necessidade de uma escavadeira para a remoção do material extraído.

As cargas admissíveis das estacas hélice contínuas, de acordo com seus diâmetros, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Cargas admissíveis das estacas hélice contínuas.

Tipo de Estaca	Seção Transversal (cm ou pol)	P_{adm,e} (kN)	d (m)	a (m)
Hélice Contínua	Ø = 35	600	0,90	0,50
	Ø = 40	800	1,00	0,55
	Ø = 50	1300	1,30	0,65
	Ø = 60	1800	1,50	0,70
	Ø = 70	2400	1,75	0,75
	Ø = 80	3200	2,00	0,80
	Ø = 90	4000	2,25	0,85
	Ø = 100	5000	2,50	0,90

Fonte: Souza (2025).

3.5 CAPACIDADE DE CARGA E CARGA ADMISSÍVEL DE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA

Para o dimensionamento das hélices contínuas, algumas recomendações, como as descritas em Alonso (1983), sendo elas:

- O centro de gravidade de um conjunto de estacas de um bloco de coroamento deve coincidir com o centro de gravidade do pilar que nasce do bloco;
- Somente projetar estacas do mesmo tipo e diâmetro sob um mesmo bloco de coroamento;
- O bloco de coroamento sobre as estacas deve ser o mais econômico possível,
- A quantidade de estacas por bloco de fundação é obtida dividindo-se a carga do pilar pela carga admissível da estaca em questão.

Para a locação das estacas deve-se considerar uma distância mínima (d) entre seus eixos que deve ser igual a:

$$d = \begin{cases} 2,5 \varnothing \geq 60 \text{ cm para estacas pré-moldadas} \\ 3,0 \varnothing \geq 60 \text{ cm para estacas moldadas *in loco*} \end{cases}$$

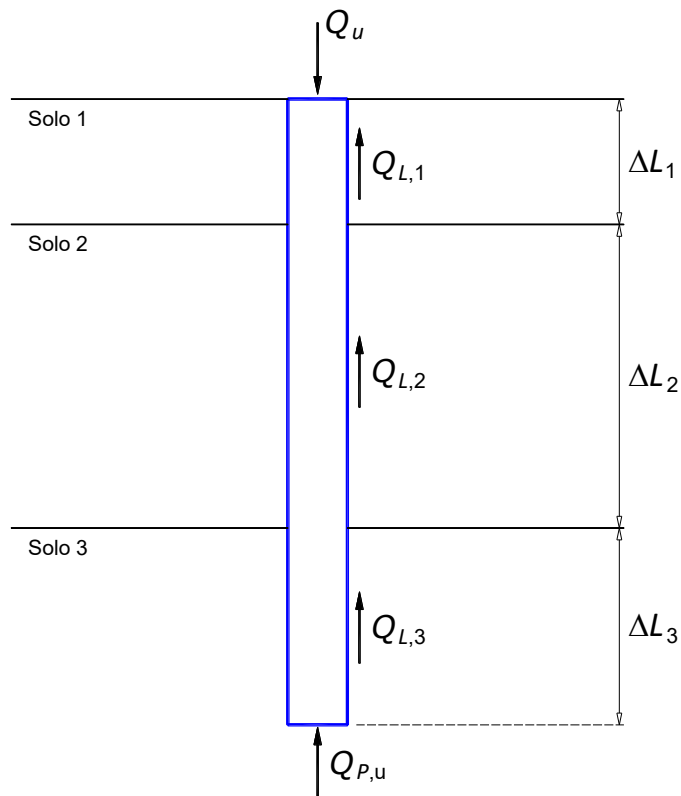
onde $\varnothing$ = é o diâmetro da estaca.

A capacidade de carga ($Q_{L,u}$) é definida como a máxima carga que uma fundação profunda pode suportar. Ela é caracterizada pela soma da resistência devido ao atrito lateral mais a resistência de ponta, conforme se observa na Equação 1, 2 e Figura 10.

$$Q_u = Q_{p,u} + Q_{L,u} \quad (1)$$

$$Q_{L,u} = \sum_{i=1}^n Q_{L,i} \quad (2)$$

Figura 10. Esquema da somatória das capacidades de carga da estaca.



Fonte: Autor

Sendo:

Q_u : Capacidade de carga total da estaca;

$Q_{L,u}$: Capacidade de carga devido ao atrito lateral;

$Q_{p,u}$: Capacidade de carga devido à resistência de ponta;

Devem ser considerados os critérios de recalque e ruptura, na determinação da carga admissível neste tipo de fundação. Utilizando ferramentas teóricas, podemos determinar a capacidade de carga de fundação e o seu recalque para encontrarmos a carga admissível.

Contudo os métodos teóricos não costumam apresentar bons resultados em estaca, por alguns motivos como (ALONSO, 2019):

- Dificuldade de se saber, ao certo, o comportamento de cada faixa do horizonte do terreno, como as tensões e as condições de drenagem;
- Dificuldade na determinação da resistência de cisalhamento;
- Variedade de processos executivos, que têm relevância nas tensões que agem sobre o solo;
- Falta de simultaneidade entre as resistências de atrito e de ponta. Ou seja, uma não se eleva ao mesmo passo que a outra;
- Heterogeneidade do subsolo, e
- Presença de fatores externos ou internos que modificam o movimento relativo entre o solo e à estaca.

Sendo assim utilizaremos o método de cálculo semiempírico de Alonso para determinar o comprimento da estaca.

3.5.1 Método de Alonso

Trata-se de um método semiempírico para a previsão da capacidade da carga última de estacas de hélice continua. O método foi proposto em 1996 para a Bacia sedimentar Terciária da cidade de São Paulo e reavaliado no ano de 2000, para duas novas regiões geotécnicas, formação Guabirotuba e para os solos da cidade de Serra/ES.

A determinação da carga admissível é baseada em valores de “N” obtidos no ensaio SPT. Recomenda-se que se “N” for superior a 40, deve-se empregar valor de “N” igual a 40 e, se “N” menor que 3, adotar “N” igual a 3.

A carga admissível é o menor valor obtido através da Equação 3.

$$Q_{adm} \leq \begin{cases} \frac{Q_u}{2} \\ \frac{\sum_{i=1}^n Q_{L,i}}{0,8} \end{cases} \quad (3)$$

Sendo:

Q_{adm} : carga admissível, considerando o menor dos valores;

Q_u : carga última da estaca, determinada pela Equação 1, e

$Q_{L,i}$: carga lateral última devido ao atrito lateral, em cada camada “i” de solo, obtida pela Equação 4.

$$Q_{L,i} = 0,662 \cdot p \cdot L_i \cdot f_{s,i} \quad (4)$$

Sendo:

P : Perímetro da estaca

L_i : Comprimento da estaca envolvido pela camada de solo “i”, e

$f_{s,i}$: atrito lateral unitário na camada de solo “i”

$$f_{s,i} = \alpha_i \cdot N_{s,médio,i} \quad (5)$$

Sendo:

$N_{s,médio,i}$: média dos valores de “N” ao longo do fuste da estaca envolvido pela camada de solo “i”.

Determina-se a carga de atrito lateral última ($Q_{L,u}$) pela soma das cargas de atrito lateral de cada camada de solo que envolve a estaca ($Q_{L,i}$), como mostra a Equação 6.

$$Q_{L,u} = \sum_{i=1}^n Q_{L,i} \quad (6)$$

Obtém-se a carga de ponta última ($Q_{p,u}$) pela Equação 7.

$$Q_{p,u} = s_p \cdot q_p \quad (7)$$

Sendo:

s_p : área da ponta da seção transversal da estaca, e

q_p : resistência de ponta na seção transversal da estaca (Equação 8).

$$q_p = 0,5 \cdot [(\beta \cdot N)_{med.acima} + (\beta \cdot N)_{med.abaxo}] \quad (8)$$

Sendo:

$(\beta \cdot N)_{med.acima}$: Média dos valores de $(\beta \cdot N)$ calculada no intervalo de $8 \cdot d_p$ acima da ponta da estaca, e

$(\beta \cdot N)_{med.abaxo}$: Média dos valores de $(\beta \cdot N)$ calculada no intervalo de $3 \cdot d_p$ abaixo da ponta da estaca.

Valores de α e β , são obtidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes α e β em função dos tipos de estaca e do tipo de solo.

Tipo de solo	Tipo de estaca				
	Escavada a seco	Escavada (bentonítica)	Hélice Contínua	Injetadas (raiz)	Injetadas (sob pressão)
Valores típicos de α (tf/m ²)					
	0,56	0,59	0,65	0,87	0,67
Valores típicos de β (tf/m ²)					
Argilas	10	10	10	10	10
Siltes	15	15	15	15	15
Areias	20	20	20	20	20

Fonte: Silveira *et al.* (2003, p 49).

3.6 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTACAS

Trata-se do dimensionamento da armadura de espera dos pilares e a definição do concreto das estacas hélice contínua.

A armadura de espera dos pilares (Figura 11) é dimensionada de acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2022), que fornece a porcentagem de armadura mínima e o comprimento mínimo (Tabela 3).

A Tabela 3, também oferece informações da classe do concreto a ser utilizado na confecção das estacas.

Tabela 3 - Estacas moldadas *in loco* e tubulões: parâmetros para dimensionamento.

Tipo de estaca	Classe de agressividade ambiental (CAA) conforme ABNT NBR 6118	Classe de concreto/resistência característica da argamassa ou concreto	γ_c	% de armadura mínima e comprimento útil mínimo (incluindo trecho de ligação com o bloco)		Tensão de compressão simples atuante abaixo da qual não é necessário armar (exceto ligação com o bloco) MPa	Anexo onde se encontram definidos concreto/argamassa
				Armadura %	Comprimento m		
Hélice/hélice de deslocamento/hélice com trado segmentado ^a	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	N / O / P
	III, IV	C40	3,6				
Escavadas sem fluido	I, II	C25	3,1	0,4	2,0	5,0	I
	III, IV	C40	5,0				
Escavadas com fluido	I, II	C30	2,7	0,4	4,0	6,0	J
	III, IV	C40	3,6				
Strauss ^b	I, II	20 MPa	2,5	0,4	2,0	5,0	G
Franki ^b	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	–	H
Tubulões não encamisados	I, II	C25	2,2	0,4	3,0	5,0	B
	III, IV	C40	3,6				
Raiz ^{b,c,d}	I, II, III, IV	20 MPa	1,6	0,4	Integral	–	K
Microestacas ^{b,c,e}	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	–	M
Estaca trado vazado segmentado ^{a,d}	I, II, III, IV	20 MPa	1,8	0,4	Integral	–	L

^a Nestas estacas, o comprimento máximo da armadura é limitado devido ao processo executivo.

^b Neste tipo de estaca, o diâmetro a ser considerado no dimensionamento é o diâmetro externo do revestimento.

^c O espaçamento entre face de barras deve ser de um diâmetro da barra e no mínimo 20 mm. As taxas máximas de armadura são de 8 % A_c para diâmetros menores ou iguais a 310, e de 6 % A_c para diâmetros iguais ou superiores a 400 mm. As taxas máximas devem ser verificadas na seção de maior concentração de aço (considerando inclusive as emendas por transpasse). Em situações críticas, o dimensionamento pode ser feito em função da área de aço ($f_{yk} \geq 500$ MPa; A_s = área de aço), conforme a seguir:

- quando $A_s \leq 6\% A_c$, o dimensionamento deve ser feito considerando a estaca trabalhando como pilar de concreto (a resistência da estaca é formada pela parcela do concreto e pela parcela do aço);
- quando $A_s \geq 6\% A_c$, o dimensionamento deve ser feito considerando que todo o esforço solicitante deve ser resistido apenas pelo aço da seção da estaca (a parcela resistente do concreto é desprezada).

^d Argamassa.

^e Calda de cimento.

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2022).

Tabela 4 - Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinho ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023).

Como se trata de uma urbana a Tabela 4 define que a classe de agressividade ambiental é “I” e que a agressividade é “moderada”, portanto, na Tabela 3 definiu que para as estacas hélice contínua seja utilizado o concreto de classe C30, com porcentagem de armadura de 0,4% e um comprimento mínimo das barras de espera de 4 m.

O dimensionamento das armaduras de espera (A_s') foi feito com a Equação 9.

$$A_s' = \frac{0,4}{100} \cdot A_p \quad (9)$$

Sendo:

A_p : área da seção transversal da estaca “i”.

Já, o volume de concreto das estacas (V_c) foi determinado pela Equação 10.

$$V_c = A_p \cdot L \quad (10)$$

Sendo:

L : comprimento da estaca “i”.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Todo o processo de dimensionamento e projeto seguiu as diretrizes da NBR 6122 (ABNT, 2022), que aborda o projeto e a execução de fundações, e da NBR 6118 (ABNT, 2023), que trata dos projetos de estruturas de concreto. Ademais, foram empregadas obras literárias para fundamentar teoricamente todo o processo.

O Método Semi Empírico de Alonso foi utilizado para estabelecer o comprimento de projeto das estacas. A partir desse ponto, foram estabelecidos os volumes de escavação e de concreto empregados em cada estaca.

Ao final, os valores de todos os materiais e serviços foram apresentados em uma planilha orçamentária.

4.2 MATERIAIS

Os recursos empregados foram:

- Programas de computador (Autocad e Excel);
- Recursos didáticos empregados ao longo da graduação;
- Normas técnicas da ABNT e livros, contidos nas referências;
- Arquivos da obra Integra, cedidos gentilmente pela construtora.

4.3 DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO DA FUNDAÇÃO

Para o dimensionamento das estacas hélices contínuas devem ser seguidas algumas recomendações, que foram descritas por Alonso (1983), a saber:

- O centro de gravidade de um conjunto de estacas de um bloco de coroamento deve coincidir com o centro de gravidade do pilar que nasce do bloco;
- Somente projetar estacas do mesmo tipo e diâmetro sob um mesmo bloco de coroamento;
- O bloco de coroamento sobre as estacas deve ser o mais econômico possível;
- A quantidade de estacas por bloco de fundação é obtida dividindo-se a carga do pilar pela carga admissível da estaca em questão;

A carga última (Q_u) de uma estaca é definida como a máxima carga que esta pode suportar. Ela é caracterizada pela soma da resistência devido ao atrito lateral mais a resistência de ponta, conforme se observa na Equação 9.

$$Q_u = Q_{p,u} + \sum_{i=1}^n Q_{L,i} \quad (9)$$

Sendo:

$Q_{L,i}$: carga devida ao atrito lateral ao longo do fuste da estaca, em contato com as camadas de solo “i”, e

$Q_{p,u}$: carga última de ponta da estaca.

Devem ser considerados os critérios de recalque e ruptura, na determinação da carga admissível neste tipo de fundação. Utilizando ferramentas teóricas, podemos determinar a capacidade de carga de fundação e o seu recalque para encontrarmos a carga admissível.

Contudo os métodos teóricos não costumam apresentar bons resultados em estaca, por alguns motivos como (ALONSO, 2019b):

- Dificuldade de se saber, ao certo, o comportamento de cada faixa do horizonte do terreno, como as tensões e as condições de drenagem;
- Dificuldade na determinação da resistência de cisalhamento;
- Variedade de processos executivos, que têm relevância nas tensões que agem sobre o solo;
- Falta de simultaneidade entre as resistências de atrito e de ponta. Ou seja, uma não se eleva ao mesmo passo que a outra;
- Heterogeneidade do subsolo, e
- Presença de fatores externos ou internos que modificam o movimento relativo entre o solo e à estaca.

Sendo assim utilizaremos o método de cálculo semiempírico de Alonso para determinar o comprimento da estaca.

4.3.1 Método de Alonso (2012)

A determinação da carga admissível, assim como no método de Décourt-Quaresma, é baseada nos valores de “N” obtidos através do ensaio SPT. Recomenda-se que se “N” for superior a 40, deve-se empregar valor de “N” igual a 40 e se “N” menor que 3, adotar “N” igual a 3.

A obtenção da carga admissível (Q_{adm}) pode ser realizada por meio do menor valor obtido através da Equação 3.

Para a estaca hélice contínua de diâmetro 50 cm $\rightarrow Q_{adm,e} = 130$ tf (Tabela 1), e para a estaca hélice contínua de diâmetro 60 cm $\rightarrow Q_{adm,e} = 180$ tf (Tabela 1).

- Estaca hélice contínua de diâmetro 50 cm:

$$Q_{adm} = 130 \text{ tf} \leq \begin{cases} \frac{Q_u}{2} \\ \frac{\sum_{i=1}^n Q_{L,i}}{0,8} \end{cases} \rightarrow Q_u \geq 260 \text{ tf} \quad \text{e} \quad \sum_{i=1}^n Q_{L,i} \geq 104 \text{ tf}$$

- Estaca hélice contínua de diâmetro 60 cm:

$$Q_{adm} = 180 \text{ tf} \leq \begin{cases} \frac{Q_u}{2} \\ \frac{\sum_{i=1}^n Q_{L,i}}{0,8} \end{cases} \rightarrow Q_u \geq 360 \text{ tf} \quad \text{e} \quad \sum_{i=1}^n Q_{L,i} \geq 144 \text{ tf}$$

Os cálculos tem como sequência as Equações 5, 4, 6, 8, 7, 9 e 3, respectivamente.

$$f_{s,i} = \alpha_i \cdot N_{s,méd_i}$$

$$Q_{L,i} = 0,662 \cdot p \cdot L \cdot f_{s,i}$$

$$Q_{L,u} = \sum_{i=1}^n Q_{L,i}$$

$$q_p = 0,5 \cdot [(\beta \cdot N)_{med.acima} + (\beta \cdot N)_{med.abaxo}]$$

$$Q_{p,u} = s_p \cdot q_p$$

$$Q_u = Q_{p,u} + \sum_{i=1}^n Q_{L,i}$$

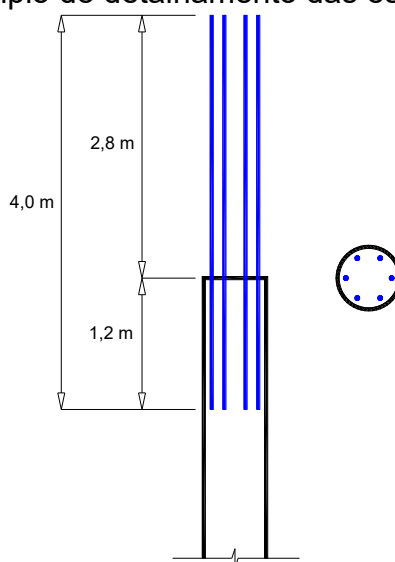
$$Q_{adm} \leq \begin{cases} \frac{Q_u}{2} \\ \frac{\sum_{i=1}^n Q_{L,i}}{0,8} \end{cases}$$

4.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DAS ESTACAS

Trata-se do dimensionamento das armaduras de espera dos pilares de cada estaca e a quantidade total de aço.

As armaduras das esperas dos pilares (Figura 11) foram dimensionadas pela Equação 9. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 4.

Figura 11 - Exemplo de detalhamento das esperas dos pilares.



Fonte: Autor

4.5 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE CONCRETO POR ESTACA E DO VOLUME TOTAL

Refere-se à quantificação do volume de concreto C30 ($V_{C,i}$), necessário para o enchimento de cada estaca (Equação 10), e o volume total de concreto (V_T). Os valores obtidos são mostrados na Tabela

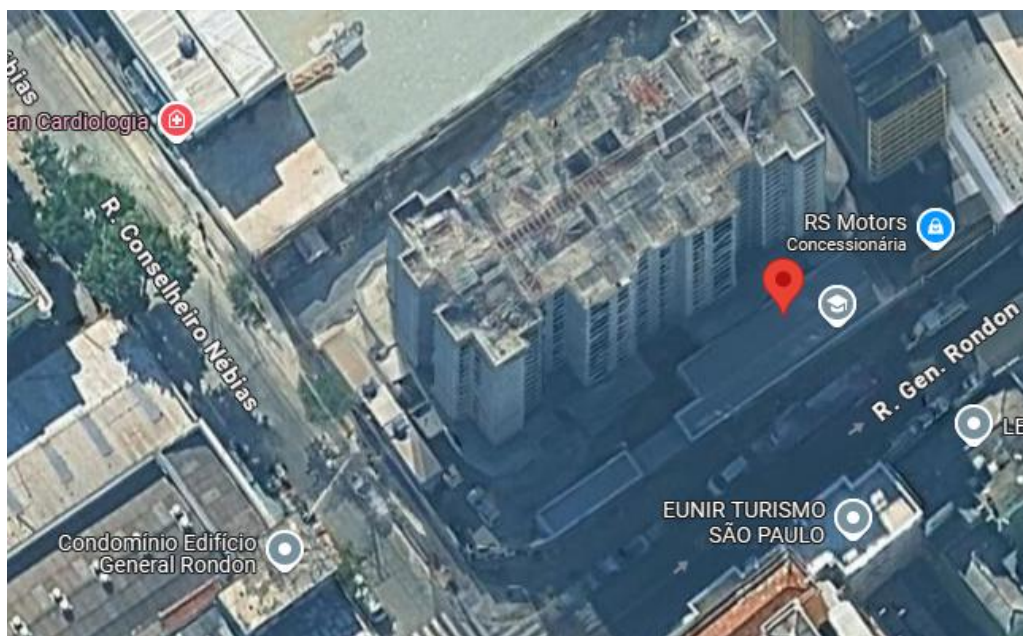
As armaduras das esperas dos pilares foram dimensionadas pela Equação 9.

5 RESULTADOS – DIMENSIONAMENTO

5.1. CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

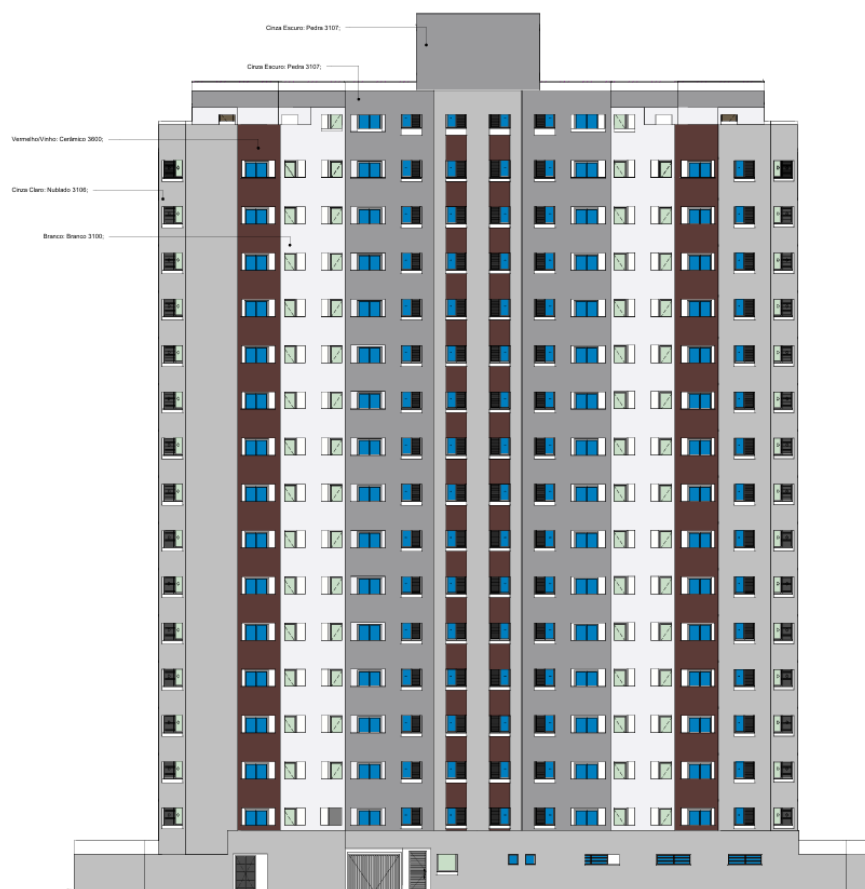
O empreendimento em questão fica em uma região central de São Paulo (SP), no bairro de Campus Elísios. Trata-se de um edifício residencial de 17 pavimentos. A Localização é mostrada na Figura 12, fachada principal do edifício é mostrada na Figura 13 e a planta de cargas é apresentada na Figura 14, sendo que no anexo B esta a planta de carga de forma mais detalhada.

Figura 12 - Localização da obra.



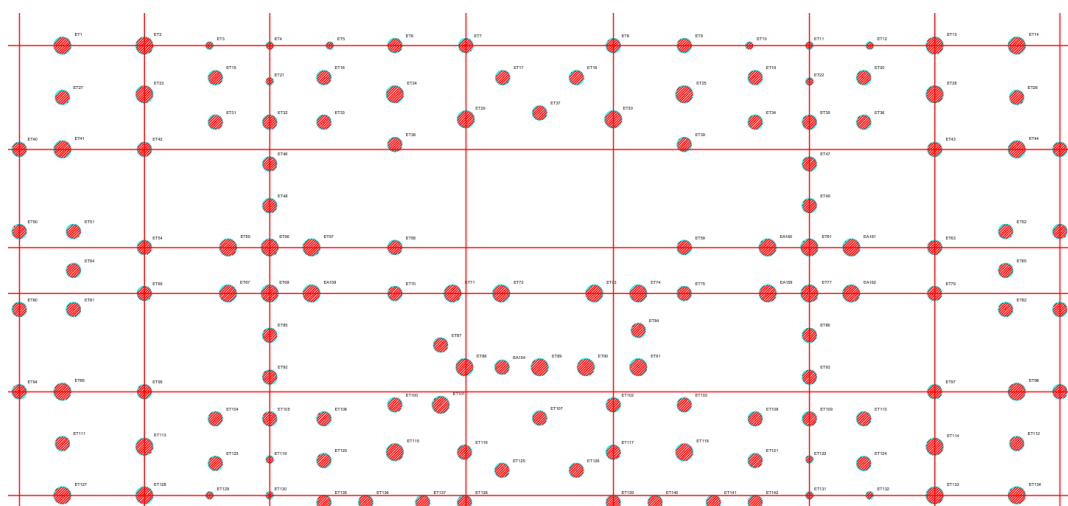
Fonte: Google maps (2025).

Figura13 – Fachada Principal do empreendimento.



Fonte: Arquivo de Obra Inteira (2023).

Figura 14 – Planta de cargas.



Fonte: Arquivo de Obra (2023).

5.2. DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUAS

O comprimento da estaca hélice contínua com diâmetros de 50 e 60 cm, para o perfil de solo apresentado no Anexo A, foi determinado pelo Método de Alonso (2012). O roteiro de cálculo é o mostrado no capítulo Materiais e Métodos. Os valores obtidos são mostrados na Tabela 5, inclusive os comprimentos de projeto de cada estaca.

Tabela 5 - Quadro resumo com ênfase na carga de atrito lateral ao longo do fuste e carga última.

Estaca	Carga (tf)	$\varnothing$ (cm)	$f_{s,i}$ (t/m ²)	$Q_{L,u}$ (tf)	q_p (t/m ²)	$Q_{p,u}$ (tf)	Q_u (tf)	Q_{adm} (tf)	L (m)
ET1	80,4	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET2	103,6	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET6	75,7	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET7	73,8	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET8	82,7	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET9	76,2	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET13	83,6	60	4,6	96,3	278,3	78,7	175,0	87,5	17
ET14	77,0	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET15	65,2	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET16	66,6	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET17	53,4	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET18	50,1	50	3,7	57,4	252,5	49,5	106,9	53,4	15
ET19	63,1	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET20	61,6	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET23	104,2	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET24	113,0	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET25	111,3	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET26	117,8	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET27	55,5	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET28	70,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET29	113,5	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET30	122,3	60	6,5	161,1	377,3	106,8	267,8	133,9	20
ET31	70,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET32	75,7	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET33	71,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18

Fonte: Autor

Tabela 5 - Quadro resumo - Continuação.

Estaca	Carga (tf)	$\varnothing$ (cm)	$f_{s,i}$ (t/m ²)	$Q_{L,u}$ (tf)	q_p (t/m ²)	$Q_{p,u}$ (tf)	Q_u (tf)	Q_{adm} (tf)	L (m)
ET34	67,3	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET35	78,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET36	35,5	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET37	84,6	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET38	95,2	50	6,5	134,5	393,8	77,2	211,7	105,8	20
ET39	97,4	50	6,5	134,5	393,8	77,2	211,7	105,8	20
ET40	62,5	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET41	96,0	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET42	67,6	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET43	72,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET44	106,3	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET45	63,0	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET46	69,1	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET47	71,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET48	71,5	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET49	73,7	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET50	93,1	50	6,5	134,5	393,8	77,2	211,7	105,8	20
ET51	41,9	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET52	39,9	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET53	91,4	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET54	84,9	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET55	107,9	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET56	115,5	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET57	114,6	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET58	62,8	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET59	64,5	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET61	116,8	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET63	87,3	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET64	83,3	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET65	86,7	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET66	85,3	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET67	115,4	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET68	124,8	60	6,5	161,1	377,3	106,8	267,8	133,9	20
ET70	60,5	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET71	101,5	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET72	81,1	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET73	124,4	60	6,5	161,1	377,3	106,8	267,8	133,9	20

Fonte: Autor

Tabela 5 - Quadro resumo - Continuação.

Estaca	Carga (tf)	$\varnothing$ (cm)	$f_{s,i}$ (t/m ²)	$Q_{L,u}$ (tf)	q_p (t/m ²)	$Q_{p,u}$ (tf)	Q_u (tf)	Q_{adm} (tf)	L (m)
ET74	102,4	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET75	61,2	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET77	121,1	60	6,5	161,1	377,3	106,8	267,8	133,9	20
ET79	87,9	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET80	93,1	50	6,5	134,5	393,8	77,2	211,7	105,8	20
ET81	40,9	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET82	39,5	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET83	90,1	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET84	70,3	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET85	78,7	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET86	75,7	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET87	100,3	50	6,5	134,5	393,8	77,2	211,7	105,8	20
ET88	101,3	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET89	114,1	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET90	82,2	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET91	73,0	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET92	73,9	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET93	71,6	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET94	62,5	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET95	96,2	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET96	72,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET97	72,2	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET98	113,2	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET99	63,9	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET100	65,2	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET101	32,2	50	3,1	41,2	125,0	24,5	65,7	32,8	13
ET102	78,5	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET103	90,5	50	5,7	112,2	373,1	73,1	185,3	92,6	19
ET104	69,0	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET105	69,4	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET106	63,3	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET107	79,0	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET108	56,5	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET109	75,8	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET110	69,1	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET111	55,3	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16

Fonte: Autor

Tabela 5 - Quadro resumo - Continuação.

Estaca	Carga (tf)	$\varnothing$ (cm)	$f_{s,i}$ (t/m ²)	$Q_{L,u}$ (tf)	q_p (t/m ²)	$Q_{p,u}$ (tf)	Q_u (tf)	Q_{adm} (tf)	L (m)
ET112	68,8	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET113	103,7	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET114	117,7	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET115	105,2	60	5,7	134,3	360,8	102,1	236,4	118,2	19
ET116	100,4	50	6,5	134,5	393,8	77,2	211,7	105,8	20
ET117	66,7	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET118	101,1	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET120	77,2	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET121	81,8	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET123	64,9	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET124	65,6	50	4,6	80,4	285,0	55,9	136,3	83,1	17
ET125	59,2	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET126	59,8	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET127	80,5	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET128	103,2	60	5,2	116,5	330,8	93,6	210,1	105,0	18
ET133	83,8	60	4,6	96,3	278,3	78,7	175,0	87,5	17
ET134	75,6	60	4,0	80,1	298,8	84,5	165,0	82,5	16
ET135	54,1	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET136	44,1	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET137	79,1	50	5,2	97,3	339,4	66,5	164,0	82,0	18
ET138	53,4	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET139	62,7	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET140	62,8	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16
ET141	41,7	50	3,4	52,9	217,5	42,6	95,5	47,7	14
ET142	56,7	50	4,0	66,9	313,8	61,5	128,4	64,2	16

Fonte: Autor

5.3. DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DAS ESPERAS DE PILARES, DO VOLUME DE CONCRETO PARA CADA ESTACA E DO VOLUME TOTAL

As armaduras das esperas dos pilares foram dimensionadas pela Equação 9. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 6.

O volume de concreto necessário para o enchimento de cada estaca hélice contínua, com diâmetros de 50 e 60 cm, foi determinado pela Equação 10. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Quadro resumo armaduras das esperas dos pilares e volume de concreto.

Estaca	$\varnothing$ (cm)	L (m)	$A_{p,i}$ (m ²)	$A_{s,i}'$ (cm ²)	$\varnothing_{b,i}$ (mm)	$N_{b,i}$	$L_{b,i}$ (m)	$V_{c,i}$ (m ³)
ET1	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET2	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET6	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET7	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET8	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET9	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET13	60	17	0,283	11,31	16	6	24	4,81
ET14	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET15	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET16	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET17	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET18	50	15	0,196	7,85	16	4	16	2,91
ET19	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET20	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET23	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET24	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET25	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET26	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET27	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET28	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET29	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET30	60	20	0,283	11,31	16	6	24	5,66
ET31	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET32	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET33	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET34	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET35	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET36	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
ET37	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET38	50	20	0,196	7,85	16	4	16	3,92
ET39	50	20	0,196	7,85	16	4	16	3,92
ET40	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET41	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET42	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET43	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
S U B - T O T A L 1							648	137,95

Fonte: Autor

Tabela 6 - Quadro resumo - Continuação.

Estaca	$\varnothing$ (cm)	L (m)	$A_{p,i}$ (m ²)	$A_{s,i}'$ (cm ²)	$\varnothing_{b,i}$ (mm)	$N_{b,i}$	$L_{b,i}$ (m)	$V_{C,i}$ (m ³)
ET43	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET44	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET45	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET46	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET47	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET48	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET49	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET50	50	20	0,196	7,85	16	4	16	3,92
ET51	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
ET52	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
ET53	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET54	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET55	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET56	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET57	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET58	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET59	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET61	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET63	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET64	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET65	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET66	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET67	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET68	60	20	0,283	11,31	16	6	24	5,66
ET70	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET71	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET72	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET73	60	20	0,283	11,31	16	6	24	5,66
ET74	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET75	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET77	60	20	0,283	11,31	16	6	24	5,66
ET79	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET80	50	20	0,196	7,85	16	4	16	3,92
ET81	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
ET82	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
S U B - T O T A L 2							656	144,49

Fonte: Autor.

Tabela 6 - Quadro resumo - Continuação.

Estaca	$\varnothing$ (cm)	L (m)	$A_{p,i}$ (m ²)	$A_{s,i}'$ (cm ²)	$\varnothing_{b,i}$ (mm)	$N_{b,i}$	$L_{b,i}$ (m)	$V_{C,i}$ (m ³)
ET83	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET84	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET85	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET86	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET87	50	20	0,196	7,85	16	4	16	3,92
ET88	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET89	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET90	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET91	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET92	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET93	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET94	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET95	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET96	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET97	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET98	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET99	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET100	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET101	50	13	0,196	7,85	16	4	16	2,55
ET102	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET103	50	19	0,196	7,85	16	4	16	3,72
ET104	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET105	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET106	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET107	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET108	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET109	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET110	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET111	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET112	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET113	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET114	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET115	60	19	0,283	11,31	16	6	24	5,38
ET116	50	20	0,196	7,85	16	4	16	3,92
ET117	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
S U B - T O T A L 3							632	135,63

Fonte: Autor.

Tabela 6 - Quadro resumo - Continuação.

Estaca	$\varnothing$ (cm)	L (m)	$A_{p,i}$ (m ²)	$A_{s,i}'$ (cm ²)	$\varnothing_{b,i}$ (mm)	$N_{b,i}$	$L_{b,i}$ (m)	$V_{C,i}$ (m ³)
ET118	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET120	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET121	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET123	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET124	50	17	0,196	7,85	16	4	16	3,33
ET125	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET126	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET127	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET128	60	18	0,283	11,31	16	6	24	5,09
ET133	60	17	0,283	11,31	16	6	24	4,81
ET134	60	16	0,283	11,31	16	6	24	4,53
ET135	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET136	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
ET137	50	18	0,196	7,85	16	4	16	3,52
ET138	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET139	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET140	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
ET141	50	14	0,196	7,85	16	4	16	2,74
ET142	50	16	0,196	7,85	16	4	16	3,14
S U B - T O T A L 4							344	68,92
Estaca Hélice Contínua – $\varnothing = 50$ cm							1.392	287,02
Estaca Hélice Contínua – $\varnothing = 60$ cm							888	189,97
T O T A L							2280	486,99

Fonte: Autor

Da Tabela 6 se observa que são necessários 2280 m de aço CA 50A com diâmetro de 16 mm, devendo-se acrescentar mais 10% devido às perdas com cortes (Tabela 7), e o volume total de concreto (V_T) C30 de **487 m³**.

Tabela 7 - Resumo de Aço CA 50A.

Resumo aço CA 50A – Estacas Hélice Contínua				
$\varnothing$ (mm)	Comprimento Total (m)	Peso		
		Unitário (kg/m)	Total (kg)	Total +10% (kg)
16	2280	1,578	3.597,84	3.957,62

Fonte: Autor

Observando a Tabela 7 verifica-se a necessidade de 3.957,62 kg de barras de aço CA 50A com 16 mm de diâmetro.

5.4. ORÇAMENTO

Levantado o quantitativo dos materiais e dos serviços foi elaborado um orçamento sucinto. Os valores empregados na determinação do custo foram obtidos do arquivo da obra. O custo das estacas já inclui a mão de obra empregada. A Tabela 8 apresenta todas as quantidades e valores.

Tabela 8 - Orçamento estacas.

Serviço	Unidade	Quantidade	Valor (R\$)	
			Unitário	Total
Mobilização	mobilização	1	15.000,00	15.000,00
Perfuração estaca Ø50cm	metro	1.471	59,00	86.789,00
Perfuração estaca Ø60cm	metro	682	71,00	48.422,00
Topografia	diária	3	1.150,00	3.450,00
Gabarito	unid.	1	3.200,00	3.200,00
Monitoramento tecnológico	corpo de prova	434,25	11,00	4.776,75
Monitoramento tecnológico	diária	40	334,80	13.392,00
Concreto	m³	579	470,00	272.130,00
Bombeamento de concreto	m³	579	45,00	26.055,00
Escavadeira	mensal	2	33.000,00	66.000,00
Transporte de terra	m³	72,375	900,00	65.137,50
Valor Total (R\$)				604.352,25

Fonte: Autor

Para a garantia do sucesso na execução das estacas hélice contínua foi feito o acompanhamento de obra, o qual está descrito no Anexo C.

6 ANÁLISES E DISCUSSÕES

As análises e discussões foram divididas em quatro partes: (1) determinação dos diâmetros ($\varnothing$) e comprimentos das estacas (L); (2) dimensionamento das barras de aço das esperas dos pilares ($\varnothing_b$ e L_b); (3) determinação do volume total de concreto aplicado, e (4) orçamento.

6.1 DETERMINAÇÃO DOS DIÂMETROS DAS ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA ($\varnothing$) E DE SEUS COMPRIMENTOS (L)

No projeto do estaqueamento foram definidas 118 estacas, sendo 81 com diâmetro de 50 cm e 37 com diâmetro de 60 cm (Tabela 9).

Tabela 9 - Quantificação das estacas por diâmetro e comprimento.

$\varnothing = 50 \text{ cm}$		
L (m)	Estaca	Qtde
13	ET101	1
14	ET36, ET51, ET52, ET81, ET82, ET136 e ET141	7
15	ET18	1
16	ET17, ET19, ET20, ET27, ET40, ET45, ET46, ET47, ET48, ET49, ET58, ET75, ET99, ET106, ET108, ET111, ET125, ET126, ET135, ET138, ET139, ET140 e ET142	23
17	ET15, ET16, ET34, ET42, ET59 e ET70	6
18	ET6, ET7, ET9, ET28, ET31, ET32, ET33, ET35, ET43, ET84, ET85, ET86, ET92, ET93, ET96, ET97, ET102, ET104, ET105, ET107, ET109, ET110, ET112, ET120, ET121 e ET122	26
19	ET8, ET37, ET53, ET54, ET63, ET64, ET65, ET66, ET79, ET83 e ET103	11
20	ET38, ET39, ET50, ET80, ET87 e ET116	6
T O T A L		81
$\varnothing = 60 \text{ cm}$		
L (m)	Estaca	Qtde
16	ET1, ET14, ET72, ET90, ET91, ET127 e ET134	7
17	ET13 e ET133	2
18	ET2, ET23, ET41, ET71, ET74, ET88, ET95, ET113, ET118 e ET128	10
19	ET24, ET25, ET26, ET29, ET44, ET55, ET56, ET57, ET61, ET67, ET89, ET98, ET114 e ET115	14
20	ET30, ET68, ET 73 e ET77	4
T O T A L		37

Fonte: Autor.

6.2 DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS DE AÇO DAS ESPERAS DOS PILARES – DIÂMETROS ($\varnothing_b$) E COMPRIMENTOS (L_b)

As barras de aço para as esperas dos pilares, de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), devem ter um comprimento $L_b \geq 4$ m, neste projeto o comprimento definido foi de $L_b = 4$ m, sendo determinadas 4 barras para estacas com diâmetro de 50 cm ($4\varnothing_b 16$ mm) e 6 barras para estacas com diâmetro de 60 cm ($6\varnothing_b 16$ mm).

O quantitativo das barras de aço definiu o uso de 2280 m de aço CA 50A com diâmetro de 16 mm, devendo-se acrescentar mais 10% devido às perdas com cortes, chegando-se a 3.957,62 kg. Para as estacas com diâmetro de 50 cm são necessários 1.392 kg, já, para as estacas com diâmetro de 60 cm são necessários 888 kg.

6.3 DETERMINAÇÃO DO VOLUME TOTAL DE CONCRETO (V_T)

O volume de concreto, da classe C30, necessário para as estacas com diâmetro de 50 cm é de 287,02 m³, já para as estacas com diâmetro de 60 cm é de 189,97 m³, definindo um volume total de concreto $V_T = 487$ m³.

6.4 ORÇAMENTO

O orçamento determinado para a realização do estaqueamento definiu um custo total de R\$ 604.352,25 (seiscentos e quatro mil, trezentos e cinquenta e dois reais e vinte e cinco centavos).

7 CONCLUSÕES

Finalizado o trabalho pode-se concluir que:

Para o projeto definidas 118 estacas, sendo 81 para estacas com $\varnothing = 50$ cm e 37 para estacas com $\varnothing = 60$ cm.

O aço definido para as esperas dos pilares foi CA 50A de diâmetro $\varnothing_b = 16$ mm e com comprimento $L_b = 4$ m.

As armaduras das esperas variaram em função do diâmetro das estacas, sendo determinadas $4\varnothing_b$ 16 mm para as estacas com $\varnothing = 50$ cm e $6\varnothing_b$ 16 mm para as estacas com $\varnothing = 60$ cm.

A quantidade de barras de aço CA50 A ($\varnothing_b = 16$ mm) definidas para as estacas totalizaram 2280 m, que corresponde 3.957,62 kg, já incluídos os 10% das perdas nos cortes.

O volume de concreto da classe C30 necessário para as estacas é de 487 m³.

O custo total do estaqueamento é de R\$ 604.352,25 (seiscentos e quatro mil, trezentos e cinquenta e dois reais e vinte e cinco centavos).

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. Estacas hélice contínua com monitoração eletrônica: previsão de capacidade de carga através do ensaio SPTT. In: **Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia**, 3. São Paulo, 1996, p. 141–151.

ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 3ª ed., 2019a, 218 p.

ALONSO, U. R. **Dimensionamento de fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 3ª ed., 2019b, 164 p.

APL Engenharia - <https://blog.apl.eng.br/fundacao-radier-como-funciona-e-quais-sao-os-seus-beneficios/>. Acesso: 16 jun. 2025

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento do solo para fundações de edifícios – procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1983, 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484**: Solo – sondagem de simples reconhecimento com SPT – método de ensaio, Rio de Janeiro: ABNT, 2020, 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2022, 108 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023, 242 p.

BASESTRAUSS Engenharia e Estaqueamento - <https://www.basestrauss.com.br/tubulao.html>. Acesso: 16 jun. 2025

Campos, J. C. **Elementos de fundações em concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2ª ed., 2022, 400 p.

EESC jr. - <https://eescjr.com.br/blog/ensaio-spt/>. Acesso: 28 maio 2025

FALCONI, F. *et al.* **Fundações: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 3ª ed., 2019, 804 p.

Geofix Fundações – Serviços. <http://www.geofix.com.br/servico-ehc.php>. Acesso: 16 jun. 2025

Geoport - <http://ww2.geoportalufff.com>. Acesso: 16 jun. 2025

JOPPERT JR, I. **Fundações e contenções de edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução**. São Paulo: Pini, 1ª ed., 2007, 220 p.

RANZINI, S. M. T. SPTF. **Solos e Rochas**. 1988, v. 11, p. 29-30.

RANZINI, S. M. T. SPTF: 2ª parte. **Solos e Rochas**. 1994, v. 17, p. 189-190.

SOUZA, A. Fundações. **Notas de Aula**. UNESP: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2025, 92 p.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações – volume completo**. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª ed., 2011, 568 p.

ANEXOS

ANEXO A – Ensaio de Penetração SPT

F. X. FUNDAÇÕES LTDA.											
(11) 2961-9952 • (11) 94777-9020 • 84*38751 Rua Bertolini, 22 - Jardim Soares, São Paulo - SP • CEP: 08460-170 fsondagens@yahoo.com.br - contato@fsondagens.com.br • www.fsondagens.com.br											
CLIENTE: INTEGRA DESENVOLVIMENTO URBANO LTDA					SONDAGEM À PERCUSSÃO						
OBRA: N014 – Rondon					INÍCIO: 27/08/2021 TÉRMINO: 27/08/2021						
LOCAL: R. Gen. Rondon e R. Conselheiro Nébias, Campos Eliseos, São Paulo - SP.					COTA: 748,991 CORD. N: E:						
GRÁFICO SPT		PROFUNDIDADE	ENSAYO DE PENETRAÇÃO (COLUPSPINET)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT		INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DA CAMADA (m)	AMOSTRADOR: Ø INTERNO = 34,9 mm PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50,8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: 2,09 m	NÍVEL D'ÁGUA	AVANÇO
10	20			30	40						
		1,00	1 1 1	2	2	Calagem	00	0,08	Camada de asfalto.		
			17 15 13	32	28			0,20	Camada de britas.		
								0,28	Camada de piso.		
		2,00	1 1 1	2	2	Calagem	01	1,53	Argila arenosa, pouco silteosa, cor marrom escura.		
			15 15 15					2,50	Argila silteosa, pouco arenosa, muito mole, cor marrom.		
								3,00	Argila silteosa, pouco arenosa, muito mole, cor vermelha.		
		3,00	1 2 2	3	4	Sedimento	02		Argila silteosa, pouco arenosa, com cascalhos, muito mole, cor vermelha.		
			15 15 15								
		4,00	2 1 2	3	3	Sedimento	03				
			18 12 15		27						
		5,00	1 2 2	3	4	Sedimento	04				
			15 15 15								
		6,00	2 3 2	5	5	Sedimento	05		Argila silteosa, pouco arenosa, mole, cores amarela e vermelha.		
			15 15 15								
		7,00	2 2 2	4	4	Sedimento	06				
			15 15 15								
		8,00	2 2 2	4	4	Sedimento	07				
			15 15 15								
		9,00	1 1 1	2	2	Sedimento	08				
			17 15 14		29						
		10,00	1 1 2	2	3	Sedimento	09		Argila silteosa, pouco arenosa, muito mole a média, cor marrom.		
			15 15 15								
		11,00	2 3 4	5	7	Sedimento	10				
			15 15 15								
		12,00	2 3 5	5	8	Solo de transição	11		Argila silteosa, pouco arenosa, média, cores marrom e vermelha.		
			15 15 15								
		13,00	3 4 6	7	10	Solo de transição	12				
			15 15 15								
		14,00	3 5 7	8	12	Solo de transição	13				
			15 15 15								
		15,00	3 5 7	8	12	Solo de transição	14				
			15 15 15								
		16,00	4 6 8	10	14	Solo de transição	15		Slite arenoso, pouco argiloso, medianamente compacto a compacto, cores cinza e amarelo.		
			15 15 15								
		17,00	5 8 12	13	20	Solo de transição	16				
			15 15 15								
		18,00	6 11 14	17	25	Solo de transição	17				
			15 15 15								
		19,00	7 9 13	16	22	Solo de transição	18				
			15 15 15								
		20,00	10 15 18	25	33	Solo de transição	19				
			15 15 15								

OBS.: Na coluna Interpretação Geológica, o termo Sedimento, corresponde ao Sedimento Consolido da Ilha de São Paulo e as letras P = Puro, A = Areia e S = Sedimento.

LEGENDAS:
 20 cm INCLINIS ——— 30 cm FWAIS ——— REVESTIMENTO ||
 TRADO CAVADEIRA - TC TRADO HELICOIDAL - TM CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA

DATA	HORA	PROF.	DATA	HORA	PROF.
1ª	27/08/2021	7,75	4ª	31/08/2021	6,77
2ª	27/08/2021	7,60	5ª		
3ª	27/08/2021	7,51			

DATA:	TRABALHO Nº:	FOLHA:	ESCALA:	DESENHISTA:
Setembro/2021	6954/2021	02/07	1/100	Drily

SONDADOR: Rogério

RESPONSÁVEL: Leonardo Fernandes do Nascimento - CREA: 5062743730

 F. X. FUNDAÇÕES LTDA. (11) 2961-9952 • (11) 94777-9020 • 84*38751 Rua Bertolini, 22 - Jardim Soares, São Paulo - SP. • CEP: 08460-170 fxsondagens@yahoo.com.br • contato@fxsondagens.com.br • www.fxsondagens.com.br										
CLIENTE: INTEGRA DESENVOLVIMENTO URBANO LTDA OBRA: N014 - Rondon LOCAL: R. Gen. Rondon x R. Conselheiro Nébias, Campos Eliseos, São Paulo - SP.					SONDAGEM À PERCUSSÃO SP-01 INÍCIO: 27/08/2021 TÉRMINO: 02/02/2023 COTA: 748,99 COORD. N: E:					
GRÁFICO SPT 		RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO SPT INI. FIN. 25 33 16 26 20 29 24 40 23 35 48 38 23 52 40 10 40 5		INTERPRETAÇÃO GEOLOGICA S.A.R. 20 21 22 23 24 25 26 27		PROFUNDIDADE DA CAMADA (m) 20,45 28,44		AMOSTRADOR: Ø INTERNO = 34,9 mm PESO: 65 Kg Ø EXTERNO = 50,8 mm ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: 2,00 m		NÍVEL D'ÁGUA AVANÇO
DESCRIÇÃO DO MATERIAL Site arenoso, pouco argiloso, medianamente compacto a compacto, cores cinza e amarelo. Site arenoso, pouco argiloso, com micas, compacto a muito compacto, cor cinz esverdeado.		IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO DE LAVAGEM: 28,44m. 1" 10 min = 28,42m 2" 10 min = 28,43m 3" 10 min = 28,44m FINAL DO FURO IMPENETRÁVEL AO TRÉPANO DE LAVAGEM, SEM CONDIÇÕES DE PROSSEGUIR NA ROCHA OU MATAÇÃO.								
OBS.: Na coluna Interpretação Geológica, o termo Sedimento, corresponde ao Sedimento Conhecido da Bacia de São Paulo e as letras S.A.R. = Solo de Alteração de Rocha.										
LEGENDAS: 30 cm INICIAIS --- 30 cm FINAIS --- REVESTIMENTO TRADO CAVEIRA - TC TRADO HELICOIDAL - TH CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA										
NA: DATA HORA PROF. 1ª 27/08/2021 7,35 2ª 27/08/2021 7,60 3ª 27/08/2021 7,51		DATA HORA PROF. 4ª 27/08/2021 8,77 5ª 02/02/2023 7,73		DATA: Fevereiro/2023 TRABALHO N°: 6954/2021 FOLHA: 03/07 ESCALA: 1/100 DESENHISTA: Paloma		SONDADOR: Rogério RESPONSÁVEL: Leonardo Fernandes do Nascimento - CREA: 5062743730				

ANEXO C – Acompanhamento da Execução das Estacas Hélice Contínua

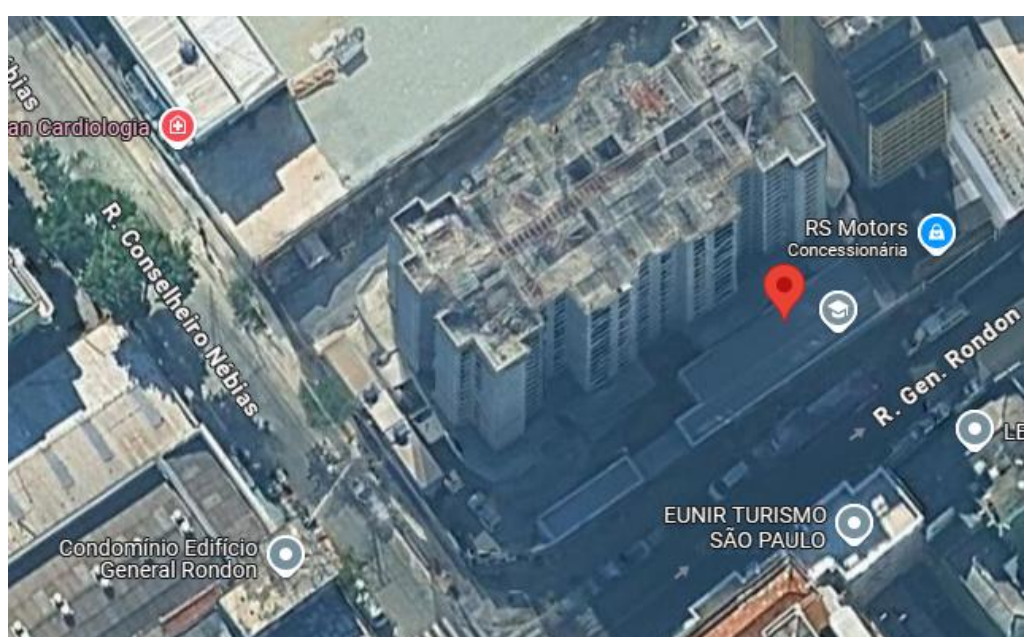
C ACOMPANHAMENTO DA OBRA

C.1 LOCALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO

A obra está localizada à Rua General Rondon, 52 - Bairro Campos Elíseos, na cidade de São Paulo, trata se de um conjunto habitacional (Foto C.1.).

Empreendido pela Construtora Integra (Foto C.2.).

Foto C.1. Localização da obra.



Fonte: Google maps (2025)

Foto C.2. Identificação da obra.



Fonte: Relatório fotográfico obra Integra (2023).

C.2 TERRAPLENAGEM

A equipe topográfica (Foto C.3.) foi ao local da obra para identificar as cotas pedidas em projeto na sequência a escavadeira começa com a retirada do solo (Foto C.4.) para assim posteriormente localizar os pontos de estaqueamento na cota correta.

Foto C.3. Topografia e identificação das cotas.



Fonte: Arquivos obra Integra (2023).

C.3 Topografia, localização e identificação das estacas

Após a localização dos pontos das estacas pela equipe topográfica, um funcionário da empresa cavou esses pontos 40 cm abaixo da cota, depois a equipe topográfica localizou novamente os pontos, para que assim, o funcionário identificasse esses pontos pintando um marcador de madeira sendo que, cada cor fosse para um diâmetro de estaca específico e encheu o buraco com areia para que fosse facilitada a busca da mesma (Foto C.4.).

Foto C.4. Perfuratriz da estaca hélice contínua.



Fonte: Arquivos obra Integra, 2023

C.4 MONTAGEM DO GABARITO

A montagem do gabarito (Foto C.5) auxilia para se posicionar pelas coordenadas onde serão encontrados os pontos de estaqueamento e a posterior a própria edificação.

Foto C.5. Montagem do gabarito.



Fonte: Arquivos obra Integra (2023).

C.5 CONTROLE TECNOLÓGICO

Como visto na graduação nas aulas de construção civil, para que utilizar o concreto ele precisa estar com um *slump* específico pedido em projeto, na obra é

contratado um funcionário de uma empresa terceirizada, que faz o teste, molda os corpos de prova e depois são enviados o relatório (Figura C.1.), para o teste de resistência, para que assim possa ser conferido que realmente o concreto tem a resistência pedida em projeto, seguindo a NBR 5738:2015.

Figura C.1. Relatório técnico de acompanhamento de amostragem de corpos de prova.

[illegible]

Fonte: Arquivos obra Integra (2023).

C.6 EXECUÇÃO DA ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

As quantidades, os volumes, o tipo de concreto e a bomba foram agendados com a concreteira, definindo-se o dia, horário e o intervalo entre os caminhões betoneira, para garantir a continuidade no processo de concretagem das estacas.

Outro cuidado tomado foi o de garantir o estaqueamento correto, para tal se utilizou uma escavadeira para auxiliar na retirada do solo oriundo da escavação, e que normalmente fica depositado ao redor da estaca (Foto C.6.).

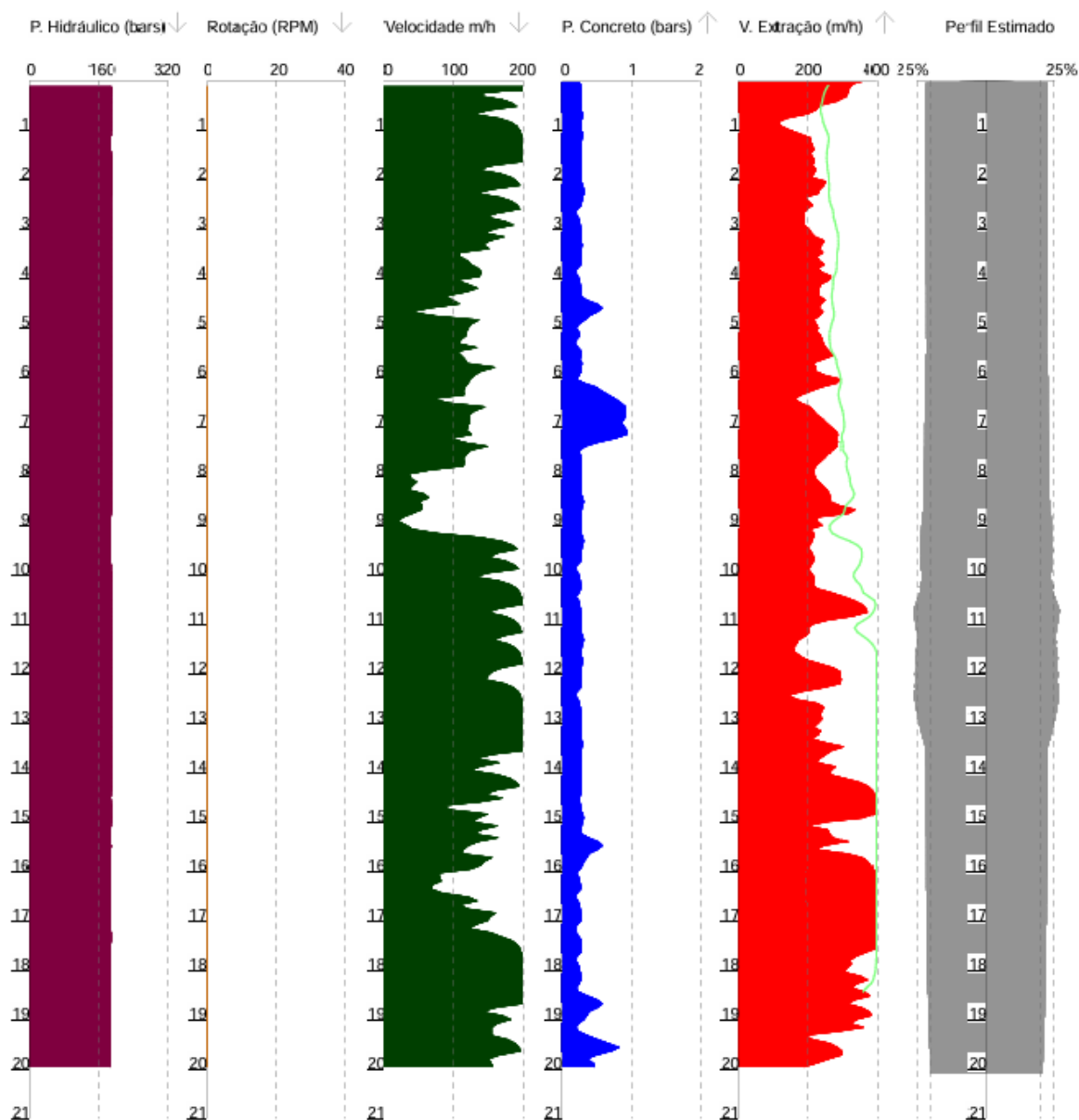
Foto C.6. Execução da estaca hélice.



Fonte: Arquivos obra Integra (2023).

Como dito anteriormente, o maquinário da estaca hélice tem um computador de bordo, que monitora e armazena todos os dados de cada estaca para posteriormente produzir um relatório (Figura C.2.), que demonstra que a estaca foi executada corretamente.

Foto C.2. Relatório gráfico da estaca.



Fonte: Falcão Estaqueamento (2023).