

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ESTACAS HÉLICE CONTÍNUA E ESCAVADA MECANICAMENTE APLICADA A UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR: ESTUDO DE CASO

Dayane Christine Costa de Oliveira¹ Jessie Salvador Oliveira¹

M.e. Marcelo Cavalcanti da Silva²

Universidade São Francisco

dayanechristine.oliveira@hotmail.com

jessieoliveira00@gmail.com.br

¹Alunas do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco de Assis; Campus Bragança Paulista

²Professor Orientador M.e. Marcelo Cavalcanti da Silva, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco de Assis; Campus Bragança Paulista.

RESUMO

A engenharia de fundações é uma dentre tantas áreas estudadas na engenharia civil, podendo ser considerada a base de todo e qualquer projeto de construção. O presente artigo tem como objetivo avaliar qual dentre os dois métodos de fundação profunda, estaca escavada mecanicamente ou estaca hélice contínua, melhor se aplica ao projeto de uma residência unifamiliar de dois pavimentos (térreo+1). Fundamentado em pesquisas bibliográficas, definiu-se os principais tipos de fundação, seus respectivos processos executivos, a importância dos ensaios geotécnicos no momento da escolha, e por fim as principais metodologias de cálculo. A partir da análise do projeto estrutural, discorreu-se sobre os parâmetros que embasaram o dimensionamento das estacas, afim de comparar as técnicas de perfuração (principalmente através de critérios técnicos-econômicos), permitindo a escolha ideal para o caso estudado.

Palavras-chave: fundações profundas. estacas escavadas. estacas hélice. dimensionamento de fundações.

INTRODUÇÃO

No ramo da engenharia civil as fundações são componentes essenciais no processo da construção, pois têm a função de transmitir de forma segura as cargas da estrutura para o solo. Elas são responsáveis pela estabilidade do edifício, dessa forma quando bem dimensionadas e executadas previnem problemas, como por exemplo os recalques diferenciais que podem comprometer a segurança e a durabilidade da obra.

As fundações podem ser classificadas em dois grandes grupos, as fundações superficiais são comumente utilizadas em locais onde o solo (na proximidade da superfície) detém

adequada capacidade de suporte. Já as fundações profundas requerem o emprego de estacas e tubulões para transferir, ao decorrer de sua profundidade, as cargas das edificações, devido à insuficiente resistência que o solo superficial apresenta. Tendo em vista a diversidade de solos presentes no Brasil e a acessibilidade de perfuração de cada região, a apuração do padrão de fundação deve levar em consideração não apenas as particularidades do solo e as cargas provenientes da edificação, mas também os aspectos econômicos impostos.

Com o desígnio de realizar uma análise comparativa técnica-econômica entre estacas escavadas mecanicamente e estacas hélice contínua, originou-se um estudo a partir do projeto de fundações de uma residência unifamiliar e do relatório de sondagem (SPT), utilizando o método de Décourt e Quaresma para identificação das capacidades de carga, e os parâmetros determinados na NBR 6122 (ABNT, 2019a) para o dimensionamento das armaduras. Encerrada a análise técnica, dá-se início a etapa de viabilização econômica utilizando a tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) para embasar os custos referentes a cada metodologia.

Dessa forma é possível avaliar toda a composição da etapa de fundação, desde o projeto até a execução, levantando os principais critérios que levaram a escolha do método construtivo de maior custo-benefício ao cliente final, sem negligenciar a qualidade e segurança da obra, lapidando a visão do aluno como pesquisador e futuro engenheiro (a) neste campo de análise.

Fundação

A fundação é uma etapa crucial de toda e qualquer obra, pois é nela que se firma a base estrutural do projeto, garantindo que a construção não entre em colapso. Sua função é suportar as cargas provenientes do edifício e transmiti-las ao solo no qual será apoiada, assegurando estabilidade e qualidade ao proprietário.

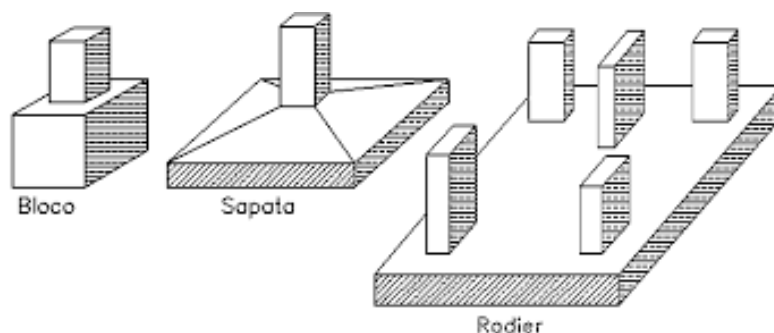
Fundações bem dimensionadas correspondem de 3% a 10% do custo total da construção, porém se mal executadas e projetadas podem atingir de cinco a dez vezes o valor do método mais apropriado ao caso. Esse custo também pode ser elevado em circunstâncias onde as propriedades do solo são incompatíveis com os carregamentos em que será submetido, podendo ocorrer a necessidade da troca de solo, realização de aterros e até mesmo compactações, utilizando de recursos de fundações mais complexos e onerosos (MOTA, 2020 *apud* ORTEGA *et al.*, 2023).

Fundação superficial (rasa ou direta):

As fundações superficiais são comumente utilizadas em edifícios de pequeno e médio porte, a execução desses elementos ocorre nas primeiras camadas do solo, em valas, e geralmente se limitam aos 3 metros de profundidade ou uma cota inferior a duas vezes sua menor proporção (SOUZA, 2024 *apud* OLIVEIRA, 2024). Nestes casos as cargas provenientes

da estrutura são transmitidas diretamente ao solo através de sua base (ABNT NBR 6122, 2019a).

Dentre os principais modelos de fundações superficiais podemos destacar os blocos, as sapatas, e os *radiers* (FIGURA 1).



Fonte: Carvalho (2015).

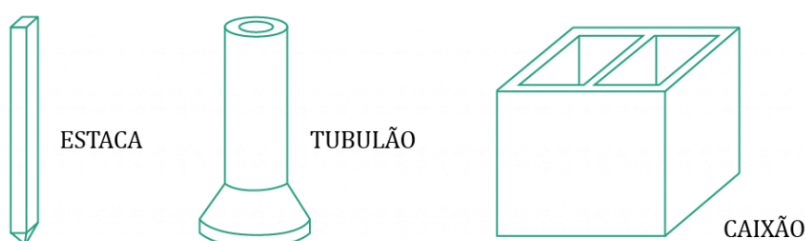
FIGURA 1 - Principais modelos de fundações superficiais.

Em concordância com Andrade *et al.* (2021 *apud* VELLOSO *et al.*, 1998) as sapatas e os blocos são elementos executados em concreto armado afim de suportar as tensões de tração aos quais são submetidas, e os *radiers* se caracterizam por receber todos os pilares da obra.

Fundação profunda

As fundações profundas são caracterizadas por transmitirem as cargas provenientes do edifício tanto pela base (resistência de ponta), quanto através das superfícies laterais (resistência de fuste), ou até mesmo pela junção das duas (ALONSO, 2020 *apud* ORTEGA *et al.*, 2023). Sua profundidade deve ser superior a 8 vezes a menor dimensão em projeto e no mínimo 3 metros, em decorrência da presença de tensões elevadas geralmente são utilizadas em edifícios de grande porte (ABNT NBR 6122, 2019a).

De maneira geral elas podem ser classificadas em três grupos, estacas, tubulões e caixões (FIGURA 2).



Fonte: <<https://revistaft.com.br/analise-do-comportamento-de-fundacoes-em-edificios-de-santos/>>

FIGURA 2 - Principais modelos de fundações profundas.

Hachich *et al.* (1998, p. 213) comenta sobre os três principais modelos de fundações profundas, os quais se diferenciam principalmente pelos métodos executivos. Para implementação das estacas, a escavação deve ocorrer com o auxílio de um equipamento podendo ser de perfuração, percussão, vibração, prensagem ou até mesmo pela combinação desses processos. Já para a execução do tubulão é necessário que ao final da etapa de perfuração um operário, em conjunto com o responsável, desça para realizar o alargamento da base e avaliar a qualidade da perfuração, verificando se há algum deslocamento de solo. Por fim os caixões são elementos concretados na superfície e posteriormente inseridos no solo por um processo de cravação interna.

Escolha adequada da fundação

Neste momento é importante se atentar aos requisitos básicos que os projetos de fundações devem atender, como por exemplo os limites de deformação e a estabilidade do sistema em relação ao colapso interno e externo, da estrutura e do solo respectivamente (HACHICH *et al.*, 1998, p. 212).

Alguns projetos possuem características específicas que restringem a aplicação a um ou dois métodos de fundação, mas no geral as obras permitem a utilização dessa variedade de soluções disponíveis no mercado. Devido a isso no momento da escolha além do conhecimento do projetista e dos resultados obtidos através dos ensaios geotécnicos, também é de suma importância a identificação dos métodos que são comumente ofertados na região de implementação, garantindo dessa forma um menor custo e prazo de execução ao cliente (VELOSO *et al.*, 1998 *apud* NEVES, 2018).

Tendo como base o estudo de caso a ser apresentado posteriormente, realizaremos neste artigo uma análise comparativa técnica e econômica entre dois métodos de fundação profunda: as estacas escavadas mecanicamente e as estacas hélice contínua.

Estacas escavadas mecanicamente

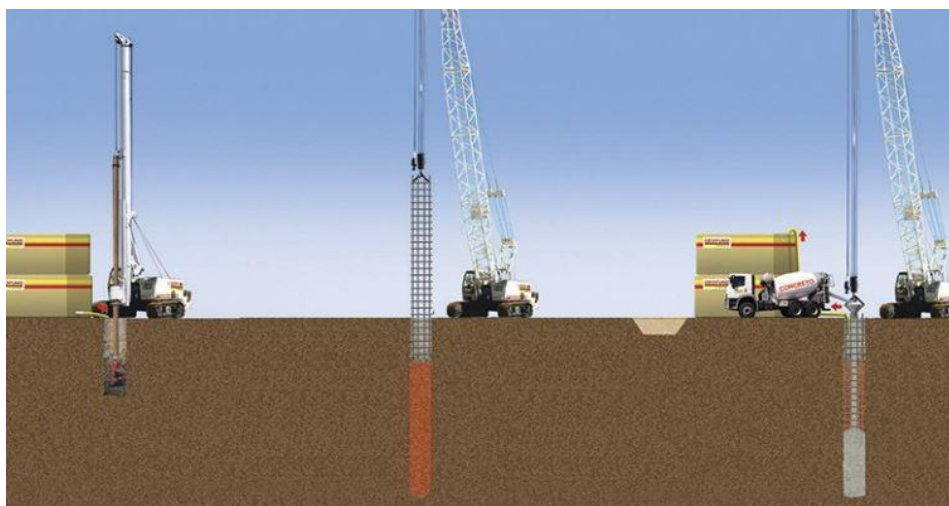
A NBR 6122 (ABNT, 2019a) define estacas escavadas como sendo aquelas moldadas *in loco*, a partir da perfuração do solo através de um trado mecânico, seguido da colocação das armaduras e posterior concretagem. Sua execução é limitada a solos com boa resistência e sem a presença de nível d'água, afim de evitar o deslocamento do solo no fuste e o comprometimento da estaca, garantindo dessa forma a estabilidade durante todo o processo e dispensando a utilização de revestimentos ou fluidos estabilizantes. Segundo Neves (2018), o equipamento utilizado é conhecido como perfuratriz, o seu trado possui um formato espiral com diâmetros variáveis de 250 a 1500mm, e um comprimento de 1,5 metros, composto por uma haste que permite o equipamento chegar a 25 metros de profundidade.

Falconi (1998 *apud* NEVES, 2018) comenta detalhadamente sobre as etapas de execução desta solução (FIGURA 3), onde inicialmente é realizado o nivelamento da

aparelhagem deixando-o totalmente plano, afim de evitar o seu tombamento durante a execução. O processo de perfuração vem na sequência e deve seguir os critérios de profundidade e diâmetro mencionados no projeto estrutural, a partir desta definição a cada 1,5 metros perfurado o material coletado deve ser retirado do fundo e despejado a uma distância segura, para que não retorne ao local escavado.

Após finalizado o processo de perfuração, é inserido no furo as armaduras pré-dimensionadas em projeto, exceto quando as estacas não são submetidas a esforços de tração ou flexão, nestes casos a armadura serviria apenas como um arranque, sendo descartada sua função estrutural (ABNT NBR 6122, 2019a).

Por fim ocorre o processo de concretagem das estacas, dependendo da localidade o lançamento desse concreto pode ser feito diretamente pela bica do caminhão, desde que sejam tomados os cuidados com a desagregação do concreto durante o processo. Outra alternativa seria inserir o mangote de concreto dentro da estaca e subir preenchendo o fuste, ou ainda lançar o concreto por meio de um funil de concretagem (ABNT NBR 6122, 2019a).



Fonte: <<https://www.totalconstrucao.com.br/estaca-escavada/>>

FIGURA 3 - Processo executivo das estacas escavadas mecanicamente.

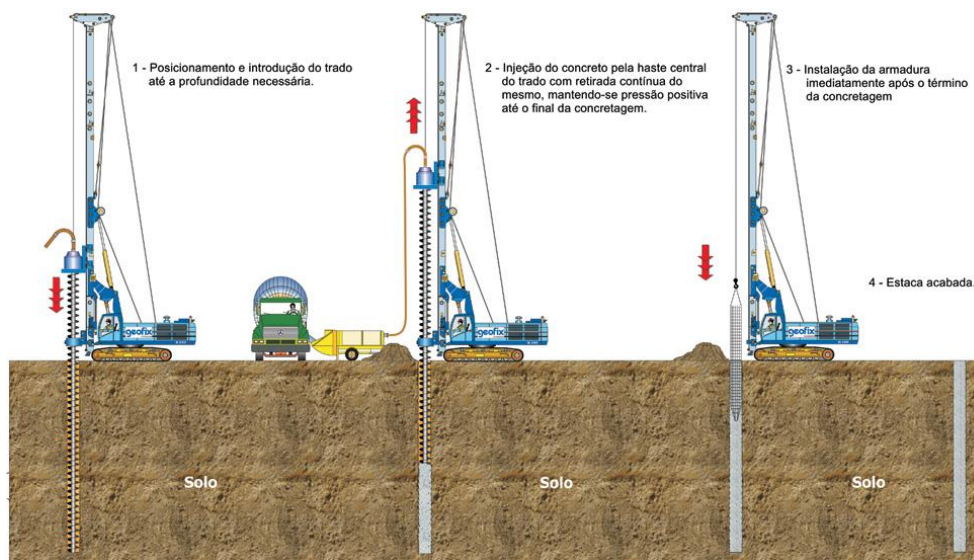
Esse sistema construtivo é amplamente utilizado como solução nas obras de baixo carregamento, considerando a facilidade de locomoção e instalação do equipamento, a possibilidade de coleta de amostras do solo para confirmação do ensaio de sondagem, não causa vibrações no terreno que possam vir a afetar construções vizinhas, e ainda sim possui uma alta produtividade e um baixo custo de mobilização (OLIVEIRA, 2024).

Estacas hélice contínua monitorada

A NBR 6122 (ABNT, 2019a) traz à estaca hélice contínua como uma fundação profunda moldada *in loco*, escavada por um trado helicoidal, seguido da injeção de concreto

concomitantemente a sua retirada, e finalizado com a colocação da armadura imediatamente após a concretagem.

Oliveira (2024) apresenta em detalhes o processo executivo desse sistema em três etapas: a perfuração, a concretagem e a colocação da armadura, conforme ilustrado na FIGURA 4 e aprofundadas na sequência.



Fonte: <<https://www.geofix.com.br/servico-ehc.php>>

FIGURA 4 - Processo executivo da estaca hélice contínua monitorada.

A perfuração se origina com a introdução da hélice contínua no terreno através da rotação e torque adequados ao equipamento, até que se atinja a cota estabelecida em projeto (sem que haja a retirada do solo por ela). Durante esse período afim de evitar a penetração de solo ou água no interior do trado central é utilizado uma tampa metálica provisória, que será expulsa posteriormente.

Obtida a profundidade pretendida, efetua-se o início da etapa de concretagem da estaca, a qual é realizada simultaneamente a retirada da hélice do terreno. Ela deve ocorrer sem a rotação do equipamento e em perfeita coordenação com o operador da bomba de concreto, para que, no momento em que se dê início a subida do trado ocorra a expulsão da tampa metálica (já mencionada anteriormente) e lançamento do concreto. É de suma importância que a pressão do concreto seja sempre positiva, evitando dessa forma a interrupção do lançamento e garantindo a integridade do fuste.

À medida que o trado vai sendo retirado é necessário que um operador vá removendo o solo presente nas hastes da hélice e outro vá remanejando esse material para um local seguro, longe das perfurações.

Esse método construtivo exige a colocação de uma armadura imediatamente após finalizada a etapa de concretagem. As armaduras em formato de gaiolas devem conter peso

rigidez proporcionais ao seu tamanho, para viabilizar sua introdução com o auxílio de um vibrador ou até mesmo através da própria gravidade. Lembrando que também são utilizados espaçadores ao longo da armadura longitudinal para garantir o cobrimento mínimo.

É importante ressaltar que todo o procedimento é monitorado eletronicamente através de um equipamento de origem francesa denominado *Taracord CE*, constituído por um computador, alimentado eletricamente por bateria do equipamento de escavação, com amostrador digital instalado na cabine do operador e sensores inseridos na máquina que informam dados como: profundidade na ponta do trado em relação ao nível do terreno, velocidade de rotação da mesa, o torque, a inclinação da torre, a pressão de concreto, o volume acumulado desde o início da concretagem, além do “Sobre Consumo Parcial” (CP) nos últimos 50 centímetros concretados e do “Sobre Consumo Total” (CT), ambos em porcentagem. Todos esses dados são transferidos para um computador, afim de se obter o relatório da estaca. O uso da estaca hélice contínua proporciona à obra uma elevada produtividade, podendo ser executada com apenas uma equipe de trabalho. (ANTUNES *et al.*, 1998 *apud* NEVES, 2018).

Sondagem SPT

Dentre os inúmeros tipos de sondagem o mais utilizado no mercado é o método a percussão, também conhecido como *Standard Penetration Test* (SPT), ou teste de simples reconhecimento. Trata-se de um ensaio de investigação que avalia a resistência do solo em diversas profundidades, com o objetivo de identificar os tipos de solo em suas respectivas camadas, além determinar a posição do nível de água, e os índices de resistência a penetração (N) a cada metro.

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020b), a locação dos pontos de perfuração em planta deve ser fornecida pelo contratante, e deve incluir a referência de nível (RN), com cotas preferencialmente georreferenciadas. Elas serão utilizadas para o nivelamento dos pontos de sondagem, e na ausência de dados sobre a referência de nível, deve-se adotar uma RN arbitrária, localizada fora do perímetro da obra (como as guias e calçadas).

O ensaio é conduzido de forma sequencial a cada metro de profundidade, a NBR 6484 (ABNT, 2020b) ainda determina que a cada metro perfurado devem ser colhidas amostras dos solos por meio do amostrador- padrão. O primeiro metro é atingido com o auxílio de um trado concha ou uma cavadeira manual, somente após essa etapa dá-se início ao ensaio SPT.

Os golpes são realizados soltando um martelo de 65 kg (guiado por uma corda) em queda livre a uma altura de 75 centímetros repetidas vezes, até alcançar uma profundidade total de 45 centímetros, subdivididos em três partes iguais, portanto a cada 15 centímetros compactados é anotado a quantidade de golpes fundamentais para atingir a profundidade correspondente. Finalizado os 45 centímetros de ensaio escava-se agora com um trato helicoidal até o próximo metro de profundidade e novamente são executados os golpes até perfurar os 45 centímetros finais, sempre anotando o número de golpes precisos para cravar os 15 centímetros subdivididos, e assim sucessivamente até que se atinja um dos critérios de

paralisação. Neste caso a cravação pode ser interrompida antes dos 45 centímetros quando, durante o processo de avanço dos 15 cm, o número de golpes for superior a 30, ou então quando não houver mais avanço na cravação.

Conforme a NBR 6484 (ABNT, 2020b, p. 15),

frequentemente não ocorre a penetração exata dos 45 cm, bem como cada um dos seguimentos de 15 cm do amostrador- padrão, com certo número de golpes. Nesse caso deve ser registrado o número de golpes empregados para uma penetração imediatamente superior a 15 cm, registrando- se o comprimento penetrado (por exemplo, três golpes para penetração de 17 cm). A seguir, conta- se o número adicional de golpes até a penetração total ultrapassar 30 cm e em seguida o número de golpes adicionais para a cravação atingir 45 cm ou, com o último golpe, ultrapassar este valor.

O registro é expresso na forma de fração obtidas nas três etapas:
Exemplo: 3/17 - 4/14 - 5/15

As penetrações parciais ou acumuladas devem ser medidas com erro máximo de 0,5 cm.

Existem outras situações em que são identificadas o nível d'água do terreno para isso é necessário realizar a perfuração com o auxílio de circulação de água. A perfuração deve ser encerrada quando em 3 metros sucessivos forem necessários 30 golpes para a penetração dos 15 centímetros iniciais, quando em 4 metros sucessivos forem necessários 50 golpes para a penetração dos 30 centímetros iniciais, e/ou quando em 5 metros sucessivos forem necessários 50 golpes para a penetração dos 45 centímetros.

Conforme explica a NBR 6484 (ABNT, 2020b) ao final dos trabalhos os furos de sondagem devem ser totalmente preenchidos com calda de cimento, bentonita ou mistura apropriada, evitando assim que produtos eventualmente derramados na superfície atinjam o subsolo.

Em suma o índice de resistência a penetração é o número de golpes aplicados nos últimos 30 cm penetrados a cada metro, portanto os primeiros 15 centímetros perfurados serão desconsiderados.

Capacidade de Carga

Segundo Hachich *et al.* (1998, p. 273) os métodos teóricos, experimentais, e os ensaios laboratoriais são fundamentais para estabelecer a influência relativa de todos os parâmetros envolvidos nos cálculos de capacidade de carga. No entanto, sua aplicação prática é desafiadora, visto que a maioria dos parâmetros do solo (necessários para essa análise) é de difícil acesso. Por outro lado, a comparação entre as tensões correspondentes a estado limite de ruptura e dados de resistência a penetração de ensaios “in situ”, são mais simples de serem determinadas, uma vez que esses dados serão utilizados nos cálculos dos métodos Aoki e Velloso e Décourt Quaresma.

É importante destacar, segundo as ideologias de Hachich *et al.* (1998, p. 274), que raramente os autores definem com clareza o que entendem por ruptura, visto que isso pode gerar uma certa dificuldade ao se comparar os resultados obtidos por diversos métodos, mormente no caso das estacas escavadas, onde a ruptura física não é claramente definida.

Metodologia Aoki e Velloso

Segundo Hachich *et al.* (1998, p. 274) no método Aoki e Velloso, tanto a tensão- limite de ruptura de ponta (q_p) quanto a tensão de atrito lateral (q_s) são avaliadas em função da tensão de ponta (q_c) do ensaio de penetração do cone (CPT).

Para chegar nos parâmetros de diferença de comportamento entre as estacas são definidos os coeficientes F1 e F2, através de ensaios, sendo:

$$q_p = \frac{q_c}{F_1} \quad (1)$$

$$q_s = \frac{q_c}{F_2} \quad (2)$$

O coeficiente α estabelecido por Begemann (1965 *apud* HACHICH *et al.*, 1998, p. 274) correlaciona o atrito local do cone com a ponteira Begemann, com a tensão de ponta (q_c). Na ausência de ensaio CPT, são utilizados os ensaios de SPT, onde $q_c = KN$. Os valores de K e α em porcentagem estão apresentados na FIGURA 5.

Tipo de solo	K (Kgf/cm ²)	α (%)
Areia	10,0	1,4
Areia siltosa	8,0	2,0
Areia silto-argilosa	7,0	2,4
Areia argilosa	6,0	3,0
Areia argilo-siltosa	5,0	2,8
Silte	4,0	3,0
Silte arenoso	5,5	2,2
Silte areno-argiloso	4,5	2,8
Silte-argiloso	2,3	3,4
Silte argilo-arenoso	2,5	3,0
Argila	2,0	6,0
Argila arenosa	3,5	2,4
Argila areno-siltosa	3,0	2,8
Argila siltosa	2,2	4,0
Argila silto arenosa	3,3	3,0

Fonte: Hachich *et al.* (1998, p. 274).

FIGURA 5 - Coeficiente K e α em função do solo.

Os valores de F1 e F2 para estacas padrão são: F1 = 1,75 e F2 = 3,5. Desta forma, a resistência de ponta do cone (q_c), a tensão de ruptura de ponta (q_p), e a tensão de atrito lateral (q_s) para estacas de referência é dada por:

$$q_p = \frac{q_c}{1,75} \quad (3)$$

$$q_s = \alpha \cdot \frac{q_c}{3,5} \quad (4)$$

A principal dificuldade para a aplicação adequada deste método é a necessidade de uma caracterização detalhada do solo envolvido, o que na prática, torna-se quase impossível.

Metodologia Décourt e Quaresma

Décourt e Quaresma (1978 *apud* HACHICH *et al.*, 1998, p. 275) apresentam um processo de avaliação de capacidade de carga das estacas com base nos índices de resistência a penetração (N) obtidos através do ensaio SPT.

O método Décourt e Quaresma, foi inicialmente desenvolvido e previsto para estacas de deslocamento inseridas por percussão, vibração, entre outros métodos, onde não há retirada do solo na instalação, tendo em vista que ocorre o aumento das tensões laterais entre a estaca e o solo, o que resulta no aumento da compressão das partículas. Desta forma, serviu como ponto de partida para outras expansões de estudos, com objetivo de adaptar o método a outros tipos de estacas e, recentemente, ajustá-lo ao novo ensaio SPT-T, através do conceito de N equivalente (Neq). Portanto, os valores de N indicados podem condizer tanto com o SPT tradicional como também ao N equivalente do SPT-T. Lembrando Décourt (1991 *apud* HACHICH *et al.*, 1998, p. 275), define Neq como o valor de torque (T) dividido por 1,2.

Para a estaca padrão, tem-se:

$$Q_u = q_p \cdot A_p + q_s \cdot A_s \quad (5)$$

A tensão de ruptura é dada por: $q_p = KN$, sendo o valor K em função do tipo de solo, conforme FIGURA 6. A ruptura considerada nesse contexto, quando a mesma não é claramente definida, é a convencional, ou seja, a carga de ruptura corresponde a um deslocamento do topo da estaca de 10% de seu diâmetro. (HACHICH *et al.*, 1998, p. 275).

Tipo de solo	K (Kgf/cm ²)	K (tf/m ²)
Argila	120	12
Silte argiloso (solo residual)	200	20
Silte arenoso (solo residual)	250	25
Areia	400	40

Fonte: Hachich *et al.* (1998, p. 275).

FIGURA 6 - Valores do coeficiente K em função do tipo de solo.

O atrito lateral unitário é dado por:

$$q_s = 10 \cdot \left(\frac{N}{3} + 1 \right) \quad (6)$$

Para estacas escavadas, a carga correspondente a um deslocamento do topo da estaca é de 10% de seu diâmetro para argilas, e de 30% de seu diâmetro para solos granulares. Para qualquer método utilizado no dimensionamento das estacas padrão, é sugerido a utilização dos coeficientes α e β , coeficientes de majoração e minoração, respectivamente, para reação de ponta (q_p) e atrito lateral unitário (q_s), permitindo a aplicação dos cálculos a outros tipos de estacas. Décourt e Quaresma (1978 *apud* HACHICH *et al.*, 1998, p. 275) determina:

$$Q_u = \alpha \cdot q_p \cdot A_p + \beta \cdot q_s \cdot A_s \quad (7)$$

$$Q_u = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + 10 \cdot \beta \cdot \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \quad (8)$$

Os valores de α e β estão expressos respectivamente nas FIGURAS 7 e 8.

Tipo de Estaca/ Tipo de solo	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,85	0,85	0,30	0,85	1,0
Siltes	0,60	0,60	0,30	0,60	1,0
Areia	0,50	0,50	0,30	0,50	1,0

Fonte: Hachich *et al.* (1998, p. 275).

FIGURA 7 - Valores do coeficiente α em função do tipo de estaca e do tipo de solo.

Tipo de Estaca/ Tipo de solo	Escavada em geral	Escavada (bentonita)	Hélice contínua	Raiz	Injetada sob altas pressões
Argilas	0,80	0,90	1,00	1,50	3,0
Siltes	0,65	0,75	1,00	1,50	3,0
Areia	0,50	0,60	1,00	1,50	3,0

Fonte: Hachich *et al.* (1998, p. 276).

FIGURA 8: Valores do coeficiente β em função do tipo de estaca e do tipo de solo.

Conforme a NBR 6122 (ABNT, 2019a), para as estacas que não são sujeitas aos esforços de tração ou flexão, a armadura é apenas de arranque (sem função estrutural), dessa forma e as barras de aço podem ser posicionadas no concreto uma a uma, sem estribos, imediatamente após a concretagem.

As estacas ou tubulões, quando solicitados a cargas de compressão e tensões limitadas aos valores da FIGURA 9, podem ser executados em concreto não armado (exceto no que se refere a armadura de ligação com o bloco). Já as estacas e os tubulões que apresentarem solicitações resultando em tensões superiores às indicadas na FIGURA 9, as mesmas devem ser dotadas de armadura, dimensionadas de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023c *apud* ABNT NBR 6122, 2019a, p. 34).

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

Fonte: NBR 6122 (ABNT, 2019a, p.34).

FIGURA 9 - Estacas moldadas in loco e tubulões: parâmetros para dimensionamento.

De acordo com Hachich *et al.* (1998, p. 336) à estaca Hélice Contínua é moldada in loco, executada através de um trado contínuo e injeção de concreto, sob pressão controlada. A NBR 6122 (ABNT, 2019a) determina que as estacas deste tipo quando submetidas a esforços de compressão normalmente não necessitam de armação, ficando a critério do projetista a armação de ligação com o bloco de coroamento. No caso de estacas submetidas a esforços transversais de tração ou que exigem o uso de gaiolas longas, deve ser previsto a utilização de espirais que substituam os estribos, além de evitar emendas por transpasse.

Na FIGURA 10 estão apresentados os diâmetros utilizados, o espaçamento recomendado entre os eixos das estacas, e a carga admissível estrutural (F_{ck} 20 MPa, $\gamma_c = 1,8$ e $\gamma_f = 1,4$) (HACHICH *et al.*, 1998).

Diâmetro da Hélice (mm)	Carga admissível Estrutural	Espaçamento Sugerido (cm)
275	350	70
300	450	75
350	600	90
400	800	100
425	900	110
500	1250	125
600	1800	150
700	2450	175
800	3200	200
900	4000	225
1000	5000	250

Fonte: Hachich *et al.* (1998, p. 348).

FIGURA 10: Diâmetro utilizados para estacas hélice, espaçamento sugerido entre eixos de estacas e carga admissível estrutural correspondente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, será detalhado o desenvolvimento para a comparação técnico-econômica entre as soluções de fundações profundas abordadas neste trabalho. Será realizado uma análise técnica voltada à redução dos custos de uma obra que foi inicialmente projetada para a utilização de estacas escavadas. A análise incluirá a otimização das profundidades das estacas ao dimensiona-las para outra alternativa de fundação: às estacas hélice contínua.

Por fim, será realizada uma avaliação detalhada de viabilidade financeira, com base nas informações fornecidas pela tabela SINAPI (2024), além do levantamento de preços do mercado, nas proximidades da residência, relativos aos materiais e à execução de cada tipo de estaca a fim de identificar qual método oferece o menor custo para o cliente final.

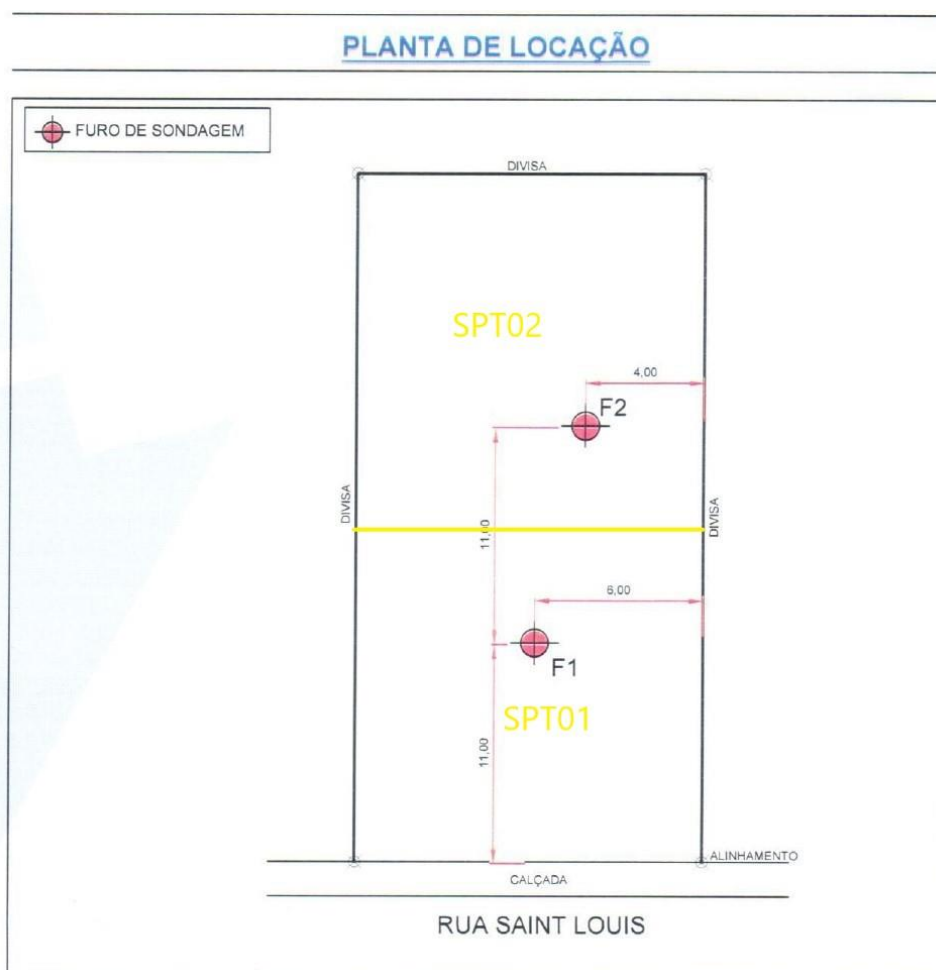
Planta do empreendimento

A planta do empreendimento (pavimento térreo+1), referente a residência unifamiliar utilizada neste estudo de caso, está representada no ANEXO 1. A análise deste trabalho foi realizada com dados reais de um projeto estrutural localizado na cidade de Bragança Paulista/SP.

Planta de locação e relatórios de sondagem

A planta de locação dos furos para realização da sondagem, pode ser observada através da FIGURA 11. Foram realizadas duas perfurações no terreno, permitindo que os

resultados obtidos fossem aplicados ao projeto estrutural de acordo com cada área de influência.



Fonte: Relatório fornecido pelo proprietário da residência.

FIGURA 11 - Planta de localização e área de influência dos pontos de sondagem.

Já os relatórios de sondagem SPT dos furos 01 e 02 estão, respectivamente, representados nos ANEXOS 2 e 3.

Planta de estaqueamento, detalhamento das armaduras e profundidade das estacas escavadas

A planta de localização das estacas e detalhamento das armaduras estão apresentadas, respectivamente, como ANEXO 4 e 5, a variação de cores presente no projeto simboliza as profundidades consideradas no dimensionamento das estacas escavadas e as armaduras correspondentes, sendo: magenta e verde para as estacas de 6 metros, azul para as estacas de 10 metros e vermelho para as estacas de 12 metros. Em ambas situações de estudo foram

adotados diâmetros de 30 centímetros, e resistência característica do concreto (F_{ck}) em 30 MPa para o dimensionamento.

Carga solicitante nas estacas

As cargas solicitadas nas estacas estão apresentadas no ANEXO 6. Para os cálculos de capacidade de carga foi utilizado o método de Décourt e Quaresma sendo, o somatório de resistência de ponta por metro e resistência de atrito lateral por metro (de cada estaca) seguindo a ordem das equações a seguir (DÉCOURT e QUARESMA, 1978 *apud* HACHICH *et al.*, 1998, p. 275).

$$Q_u = \alpha \cdot q_p \cdot A_p + 10 \cdot \beta \cdot q_s \cdot A_s \quad (8)$$

$$Q_u = \alpha \cdot K \cdot N_p \cdot A_p + 10 \cdot \beta \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \quad (9)$$

Considerando os valores de α e β respectivamente conforme as FIGURAS 7 e 8 já mencionadas, para estaca Hélice Contínua.

Tabela de vantagens e desvantagens.

São apresentadas no ANEXO 7 as vantagens e desvantagens da utilização dos dois métodos de fundações profundas, estacas escavadas mecanicamente e estacas hélice contínua.

Resultados e Discussão

Com os dados de perfil obtidos através do ensaio de sondagem, executou-se os cálculos de capacidade de carga das estacas para cada metro de profundidade ensaiado, seguindo o método de Décourt e Quaresma, dessa forma foi possível comparar a tabela de cargas solicitantes do projeto (ANEXO 6) com as cargas resistentes calculadas, afim de otimizar as profundidades consideradas para as estacas escavadas. O cálculo foi realizado de acordo com a área de influência identificada na FIGURA 11, portanto subdividimos os cálculos em SPT 01 e SPT 02 conforme ANEXOS 8 e 9, respectivamente.

Após a otimização das profundidades das estacas com o novo dimensionamento para estaca hélice contínua, foi possível dimensionar as novas armaduras conforme ANEXO 10, o qual estabelece a utilização de armadura mínima em todas as estacas, de acordo NBR 6122 (ABNT, 2019a) e demonstrado na FIGURA 9, onde é normatizado a utilização de armadura mínima para a estaca hélice com tensão média menor do que 6,0 MPa ou 0,6 KN/cm².

Para a execução das estacas escavadas foram necessários ao todo 5 dias para perfuração e concretagem, conforme execução real em obra, já para estaca hélice contínua considerou-se de acordo com Hachich *et al.* (1998, p. 345), uma produtividade de 150 a 400 metros por dia,

a depender de fatores como torque da máquina (considerado de acordo com a tabela SINAPI código 90674, torque necessário para furos com diâmetros de até 800 mm), adotando-se uma produtividade média de 125m/dia. Para a escavação total equivalente à 312 metros (já com as profundidades otimizadas), seriam necessários aproximadamente 3 dias para execução, contando com possíveis imprevistos.

Diante do exposto, ao redimensionarmos o projeto para fundação em estaca hélice, foi possível reduzir os custos referentes, resultando em valores orçamentários inferiores aos atribuídos para estacas escavadas.

É possível identificar nas FIGURAS 12 e 13, os valores equivalentes aos orçamentos de execução de fundação com estaca escavada (conforme o projeto), e fundação em estacas hélice contínua, respectivamente.

Orçamento Estaca Escavada								Coeficiente de representatividade	
item	código	uni.	Descrição	Quantidade	Valor. M	Valor. M.O.	Valor Total	Distância (m)	
1	38406	M3	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 130 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBAMENTO (NBR 8953)	36,58	R\$ 484,81	0	R\$ 17.735,08		
2	44535	m ²	SERVICO DE BOMBAMENTO DE CONCRETO COM CONSUMO MINIMO DE 40 M3, (DISPONIBILIZACAO DE BOMBA), SEM O LANÇAMENTO	36,58		44,21	R\$ 1.617,27		
3	88316	H	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	40,00		R\$ 29,32	R\$ 1.172,80	0,2263	
4	90680	CHP	PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015	40,00		R\$ 414,46	R\$ 16.578,40	0,0247	
5	90681	CHI	PERFURATRIZ HIDRÁULICA SOBRE CAMINHÃO COM TRADO CURTO ACOPLADO, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 20 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 1500 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 137 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 30 KNM - CHI DIURNO. AF_06/2015	5,00		R\$ 179,65	R\$ 898,25	0,049	
6	90778	H	ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	40,00		123,76	R\$ 4.950,40	0,0051	
7	Mercado		ESTACAS 5F 10MM-8MT / EST Red: 5,0MM Diam: 24 - cd 12cm	160,00	33,64		R\$ 5.382,40		
8	Mercado		ESTACAS 5F 10MM-6MT / EST Red: 5,0MM Diam: 24 - cd 12cm	54,00	33,64		R\$ 1.816,56		
9	Mercado		ESTACAS 4F 10MM-3MT / EST Red: 5,0MM Diam: 24 - cd 15cm	27,00	26,61		R\$ 718,47		
10	Mercado		ESTACAS 4F 10MM-3MT / EST Red: 5,0MM Diam: 24 - cd 15cm	33,00	R\$ 26,61		R\$ 878,13		
11	97913	M3XKM	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M ³ , EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	2271,23		R\$ 3,40	R\$ 7.722,20	0,0205	15
12	100973	M3	CARGA, MANOBRA E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M ³ - CARGA COM PÁ CARREGADEIRA (CAÇAMBA DE 1,7 A 2,8 M ³ / 128 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	44,53		R\$ 9,23	R\$ 411,05	0,0614	
							Total	R\$ 59.881,00	

Fonte: Próprio autor

FIGURA 12 - Orçamento para execução de fundação com estacas escavadas mecanicamente, com base na tabela SINAPI.

Orçamento Estaca Hélice contínua									
item	código	uni.	Descrição	Quantidade	Valor. M	Valor. M.O.	Valor Total	Coefficiente de representatividade	Distância (m)
1	43360	m³	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 220 +/- 30 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	25,36	R\$ 533,53		R\$ 13.531,42	0,1133	
2	44535	m³	SERVICO DE BOMBEAMENTO DE CONCRETO COM CONSUMO MINIMO DE 40 M3, (DISPONIBILIZACAO DE BOMBA), SEM O LANÇAMENTO	25,36		44,21	R\$ 1.121,26		
3	88316	H	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	24		R\$ 29,32	R\$ 703,68	0,2509	
4	90674	CHP	PERFURATRIZ COM TORRE METÁLICA PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 30 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 800 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 268 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 170 KNM - CHP DIURNO. AF_06/2015	24		R\$ 684,20	R\$ 16.420,80	0,0242	
5	90675	CHI	PERFURATRIZ COM TORRE METÁLICA PARA EXECUÇÃO DE ESTACA HÉLICE CONTÍNUA, PROFUNDIDADE MÁXIMA DE 30 M, DIÂMETRO MÁXIMO DE 800 MM, POTÊNCIA INSTALADA DE 268 HP, MESA ROTATIVA COM TORQUE MÁXIMO DE 170 KNM - CHI DIURNO. AF_06/2015	3		R\$ 300,91	R\$ 902,73	0,0594	
6	90776	H	ENCARREGADO GERAL COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	24		R\$ 49,17	R\$ 1.180,08	0,0836	
7	90778	H	ENGENHEIRO CIVIL DE OBRA PLENO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	24		R\$ 123,76	R\$ 2.970,24	0,0157	
8	Mercado	m	ESTACAS SF 10MM-6MT / EST Red: 5,0MM Diam: 24 - ed 12cm	168		R\$ 33,64	R\$ 5.651,52	2,2428	
9	97913	M3XKM	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M³, EM VIA URBANA EM REVESTIMENTO PRIMÁRIO (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	1574,65		R\$ 3,40	R\$ 5.353,82	0,029	15
10	100973	M3	CARGA, MANOBR A E DESCARGA DE SOLOS E MATERIAIS GRANULARES EM CAMINHÃO BASCULANTE 6 M³ - CARGA COM PA CARREGADEIRA (CAÇAMBA DE 1,7 A 2,8 M³ / 128 HP) E DESCARGA LIVRE (UNIDADE: M3). AF_07/2020	30,88		R\$ 9,23	R\$ 284,98	0,0966	
							Total	R\$ 48.120,53	

Fonte: Próprio autor

FIGURA 13 - Orçamento para execução de fundação com estacas hélice contínua, com base na tabela SINAPI.

Ao comparar os orçamentos finais, observou-se uma redução de aproximadamente 19,64% nos custos desta etapa, destacando-se o método de fundação com estaca hélice contínua como o mais vantajoso para o cliente final, conforme ilustrado na FIGURA 14.

Fundação	Valor final (R\$)
Estaca escavada	R\$ 59.881,00
Estaca hélice contínua	R\$ 48.120,53
Economia monetária	R\$ 11.760,47
Economia (%)	19,64

Fonte: Próprio autor

FIGURA 14 - Análise Comparativa dos Resultados Financeiros.

CONCLUSÃO

Após todas as análises realizadas podemos concluir que a sondagem do terreno é um processo muito importante para dar início ao projeto, dessa forma é possível garantir que o dimensionamento da fundação seja mais assertivo. É importante ressaltar que além dos critérios de segurança e estabilidade do projeto estabelecidos em normas, é imprescindível que os

projetos sejam dimensionados para mais de um tipo de fundação, e não só com base no método que é comum na região ou para aquele tipo de situação. A partir desse redimensionamento para estacas hélice foi possível obter uma redução significativa dos custos em 19,64%, mesmo utilizando de um método que se diz ser mais oneroso. Embora o trabalho não tenha abordado a análise de um possível superdimensionamento do projeto de fundação das estacas escavadas fornecido pelo proprietário, as evidências apontam que uma avaliação técnica detalhada e uma abordagem flexível no dimensionamento das fundações são essenciais para alcançar soluções mais econômicas e eficientes. Portanto, o estudo das fundações profundas, especialmente com o uso de estacas hélice contínua, revelou-se um aprendizado valioso para a realização de uma análise técnica aprofundada, possibilitando decisões mais assertivas e vantajosas para o cliente final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Stephane *et al.* **Fundações e obras de contenção: revisão técnica.** Porto Alegre: Sagah, 2021. 263p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786556902593/pageid/1>. Acesso em: 28 nov. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6122a: Projeto e execução de fundações.** 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019. 108 p. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/nbr-6122-2019-projeto-e-execucao-de-fundacoes-pdf-free.html>. Acesso em: 27 out. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6484b: Solo-Sondagem de simples reconhecimento com SPT.** 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118c: Projeto de estruturas de concreto- Procedimento.** 3. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 238 p.

SÃO PAULO. Caixa Econômica Federal. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Relatório de Insumos e Composições: sem desoneração. Sem desoneração.** 2024. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664. Acesso em: 18 nov. 2024.

CARVALHO, Mauricio de. **Análise comparativa entre fundação superficial do tipo sapata isolada e radier liso em obra de edificação.** 2015. Disponível em: https://www.fasar.com.br/arquivos/projetos/engciv/EngCiv-2015-Analise_Comparativa_entre_fundacao-TCC.pdf. Acesso em: 03 nov. 2024.

ESTACA escavada - O que são? Para que servem? 2024. Disponível em: <https://www.totalconstrucao.com.br/estaca-escavada/>. Acesso em: 03 nov. 2024.

ESTACA Hélice Contínua. NI. Disponível em: <https://www.geofix.com.br/servico-ehc.php>. Acesso em: 03 nov. 2024.

HACHICH, Waldemar *et al.* **Fundações: Teoria e prática**, 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 1998. 751 p.

LISBOA, Gabriela, *et al.* **Análise do comportamento de fundações em edifícios de Santos.** 2022. Disponível em: <https://revistaft.com.br/analise-do-comportamento-de-fundacoes-em-edificios-de-santos/>. Acesso em: 03 nov. 2024.

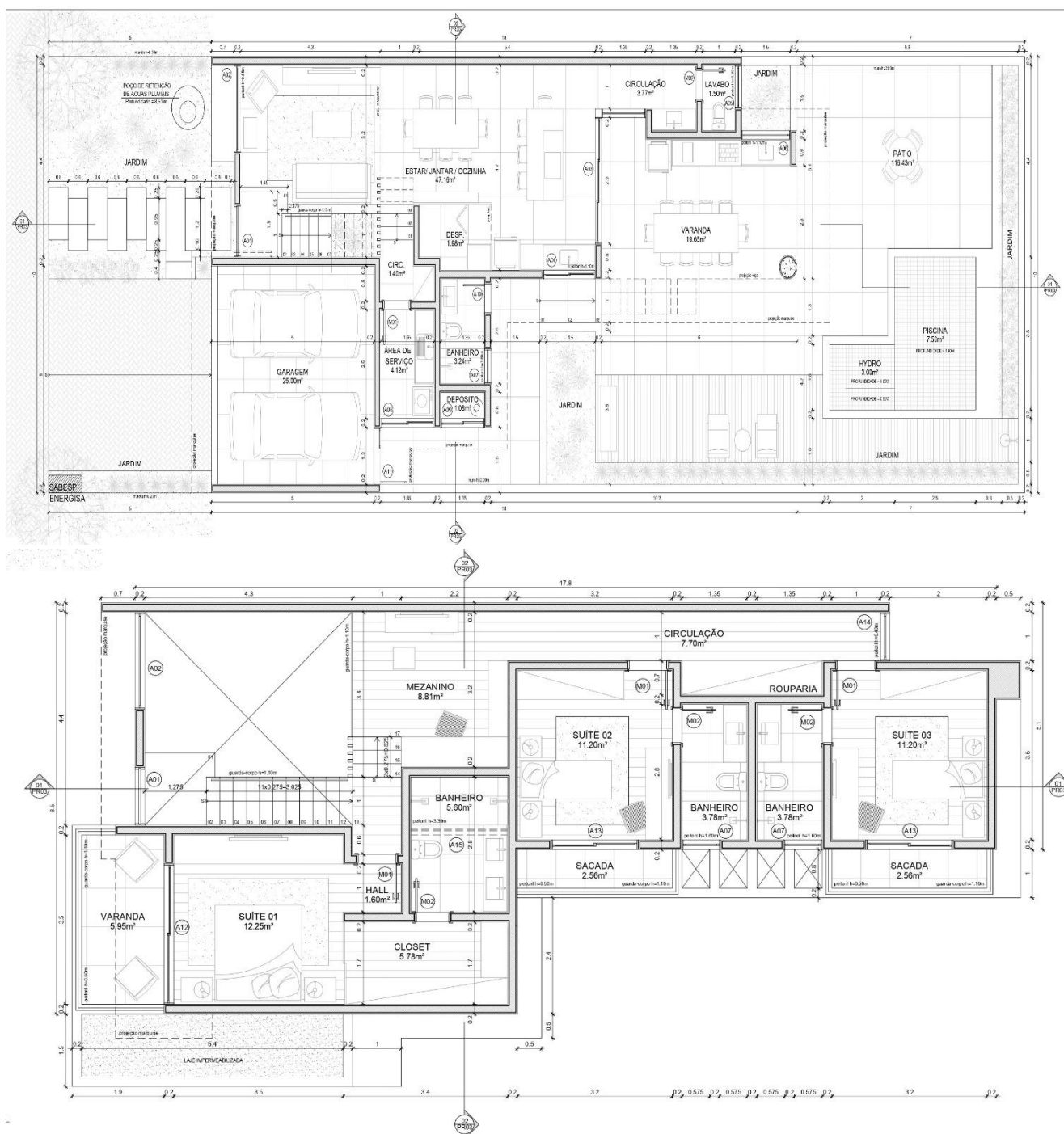
NAVES, Lucas Alves Veloso. **Análise comparativa técnico-econômica entre fundações tipo estaca escavada e hélice contínua monitorada para um projeto de edificação situado na Orla 14 em Palmas/TO. 2018.** Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-do-rio-grande-do-norte/topicos-especiais-emgeotecnia/nbr-6484-2020-nbr-6484-2020-sondagem-spt/49733291>. Acesso em: 26 ago. 2024.

OLIVEIRA, Guilherme de Barros. **Análise comparativa entre projetos de fundação focados na engenharia de valor – estaca hélice contínua versus estaca escavada: estudo de caso.** 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/9dcc1572-e1c5-47c1-96ba-473a27413fe1>. Acesso em: 12 ago. 2024.

ORTEGA, Weigle Ventura; PEDREIRO, Marcelo Rodrigues de Matos. **Tipos de estruturas para fundações de pequeno e médio porte: revisão de literatura.** Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/download/11478/5126/20259>. Acesso em: 26 ago. 2024.

ANEXOS

ANEXO 1- Planta do empreendimento respectivamente pavimento térreo e pavimento superior.



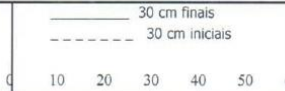
Fonte: Projeto arquitetônico locado no Ille de France- Lote 11/Quadra G, fornecido pelo proprietário (2024).

ANEXO 2- Relatório 4068/23 referente ao furo da sondagem 1 (SPT 01).

Relatório de Sondagem										N° 4068/23	
SPT Furo 01		Cota		30 cm finais						30 cm iniciais	
SPT - Standart Penetration Test											
Camadas - Classificação dos solos											
Revestimento	Método cravação	Cota	NA Inic.	NA Final	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	0	Prof. Camadas (m)			
1,5	TC				1	3	1				
					2	4	2				
					2	5	3	2,45			
					2	6	4				
					3	7	5				
					3	8	6				
					4	9	7				
					4	11	8				
					5	15	9				
					8	21	10				
					11	26	11				
					12	32	12				
					14	38	13	12,45			
					19	47	14				
					20	56	15	14,45			
							16	15,45			
							17				
							18				
							19				
							20				
							21				
							22				
							23				
							24				
							25				
							26				
							27				
							28				
							29				
							30				
							31				
							32				
							33				
							34				
							35				
							36				
							37				
							38				
Nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 1/2 "		Data de execução			
NA Inic.	m	00/00/0000	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0	kg	Início 08/01/2024			
NA Final	m	00/00/0000	Ø externo	2 ,0 "	Altura de queda	75,0	cm	Término 08/01/2024			

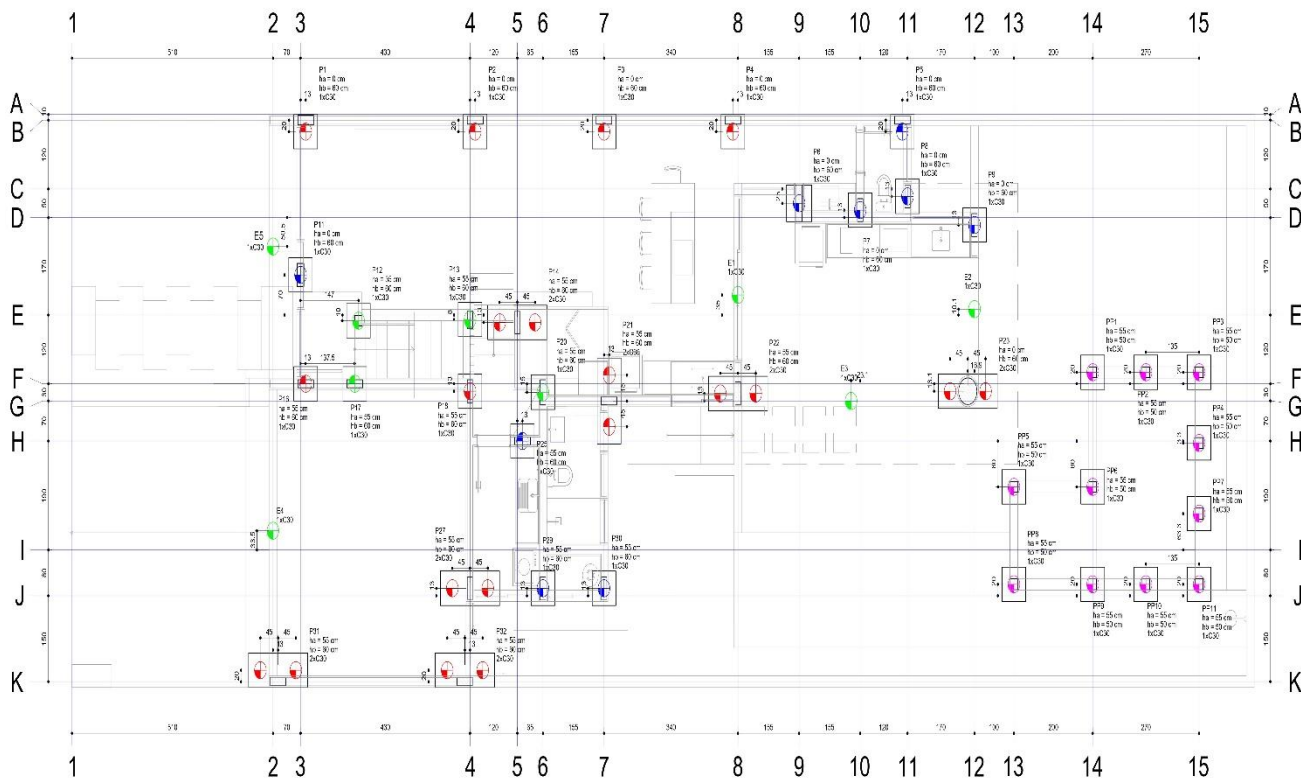
Fonte: Relatório fornecido pelo proprietário da residência.

ANEXO 3- Relatório 4068/23 referente ao furo da sondagem 2 (SPT 02).

Revestimento		Método cravação	Cota	NA Inic.	NA Final	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	0	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° 4068/23		
1,5		TC				1	3	1		SPT Furo 02		Cota		
						1	4	2	2,45	SPT - Standart Penetration Test				
						2	5	3		Camadas - Classificação dos solos				
						3	8	4		Argila pouco arenosa, mole, marrom.				
						4	9	5						
						5	12	6						
						6	15	7		Argila pouco arenosa, mole a dura, vermelha.				
						7	19	8						
						9	23	9						
						10	26	10						
						11	29	11						
						12	33	12	11,45	Argila arenosa, dura, vermelha.				
						14	37	13	12,45	Argila silto arenosa, dura, vermelha.				
						17	48	14						
						20	55	15	15,45					
								16		NOTA: Não foi encontrado o nível do lençol freático.				
								17						
								18						
								19						
								20						
								21						
								22						
								23						
								24						
								25						
								26						
								27						
								28						
								29						
								30						
								31						
								32						
								33						
								34						
								35						
								36						
								37						
								38						
Nível d'agua		Amostrador		Revestimento Ø 2 1/2 "		Data de execução								
NA Inic.	m	00/00/0000	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0 kg	Início	09/01/2024						
NA Final	m	00/00/0000	Ø externo	2 .0 "	Altura de queda	75,0 cm	Término	09/01/2024						

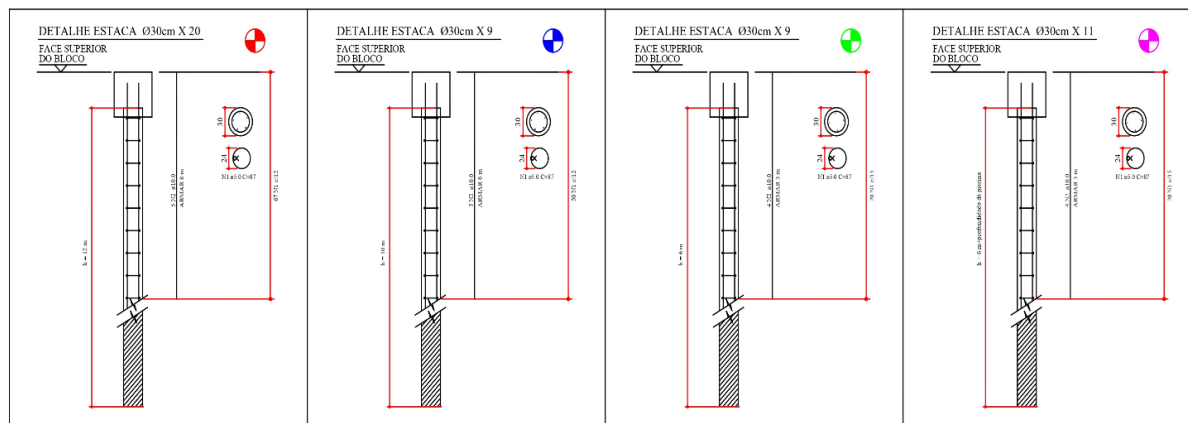
Fonte: Relatório fornecido pelo proprietário da residência.

ANEXO 4 - Planta de locação de estacas.



Fonte: Projeto estrutural locado no Ille de France- Lote 11/Quadra G, fornecido pelo proprietário (2024).

ANEXO 5- Detalhamento das armaduras e profundidade das estacas escavadas do projeto.



Fonte: Projeto estrutural locado no Ille de France- Lote 11/Quadra G, fornecido pelo proprietário (2024).

ANEXO 6 – Tabela de cargas solicitadas nas estacas.

Pilar			
Nome	Seção (cm)	Carga Máx. (tf)	Carga Mín. (tf)
E1	-	3.5	2.8
E2	-	0.8	0.5
E3	-	0.9	0.5
E4	-	1.1	0.6
E5	-	0.8	0.6
P1	17x40	10.1	9.5
P2	14x40	14.0	13.0
P3	14x40	14.8	13.3
P4	14x40	17.4	15.8
P5	14x40	9.1	6.4
P6	14x64	9.1	8.1
P7	14x40	9.6	8.0
P8	14x40	8.5	7.0
P9	14x40	12.2	10.7
P11	17x40	10.9	10.1
P12	19x19	0.7	0.5
P13	14x30	2.8	0.9
P14	14x40	19.7	15.2
P16	14x40	17.9	15.0
P17	14x40	4.4	2.6
P18	14x40	18.0	12.7
P20	14x44	3.9	1.5
P21	14x40	23.2	18.2
P22	14x40	33.6	29.3
P23	C47	24.1	20.9
P25	14x40	8.0	3.5
P27	14x40	22.0	15.5
P29	14x40	5.9	0.8
P30	14x40	9.5	4.7
P31	14x40	8.9	5.0
P32	14x40	6.1	1.6
PP1	19x19	3.1	0.4
PP2	19x19	3.5	0.3
PP3	19x19	2.2	0.3
PP4	19x19	4.2	0.3
PP5	19x19	3.0	0.4
PP6	19x19	9.0	0.4
PP7	19x19	4.2	0.3
PP8	19x19	2.9	0.4
PP9	19x19	4.9	0.3
PP10	19x19	3.3	0.3
PP11	19x19	2.2	0.3

Fonte: Projeto estrutural locado no Ille de France- Lote 11/Quadra G, fornecido pelo proprietário (2024).

ANEXO 7 - Vantagens e desvantagens da estaca escavada e da estaca hélice contínua.

Considerações	Estacas Escavada	Estaca Hélice Contínua
Vantagens	Alta produtividade	Elevada produtividade reduz significadamente o cronograma de obra
	Baixo Custo	Equipe reduzida na execução
	Adaptabilidade em vários tipos de terreno	Monitoramento eletrônico em toda execução
	Produz pouca vibração	Processo executivo não produz distúrbios e vibrações típicos dos equipamentos à percursão
	Permite coleta de amostras de solo	Não causa descompressão no terreno
	Armadura pode ser inserida antes ou depois da	A perfuração com hélice não poduz detritos poluídos por lama bentonítica
	Concretagem no comprimento necessário	Redução dos problemas ligados a disposição final de material resultante da escavação
	Fácil mobilidade do equipamento	Pode ser utilizada próxima a estruturas existentes
Desvantagem		Alta produtividade quando há um grande número de estacas com o mesmo diâmetro
		Muito usado como estrutura de contenção, desde que os esforços transversais sejam compatíveis com os comprimentos de armacão permitido
	Baixa capacidade de carga	Em função do porte do equipamento a área de execução deve ser plana e de fácil movimentação
	Executadas somente acima do N.A.	Devido a grande produtividade exige uma central de concreto próxima do local de trabalho
	Produz detritos em sua escavação	Necessidade de uma pá- carregadeira na obra para remoção e limpeza do material extraído da perfuração para fora da área de trabalho
	Baixo controle executivo	Necessário um número mínimo de estacas compatível com o custo de mobilização dos equipamentos envolvidos
	Utilizada apenas em solos coesos com sustentação lateral	Equipamento grande necessitando de área ampla na obra e terreno plano

ANEXO 8 - Tabela de otimização de profundidades entre estaca escavada e estaca hélice contínua de acordo com a área de influência do furo 1 (SPT 01).

Calcular com SPT 01:	Carga Solicitante projeto máx	Carga resistente	Profundidade estaca hélice contínua otimizada	Profundidade projeto estaca escavada
	(tf)	(tf)	(m)	(m)
P1	10,10	13,49	8	12
E5	0,80	9,02	6	6
P11	10,90	13,49	8	10
P16	17,90	21,36	10	12
E4	1,10	9,02	6	6
P31	8,90	9,02	6	12
P2	14,00	21,36	10	12
P12	0,70	9,02	6	6
P17	4,40	9,02	6	6
P13	2,80	9,02	6	6
P14	19,70	21,36	10	12
P18	18,00	21,36	10	12
P27	22,00	32,81	12	12
P32	6,10	9,02	6	12
P3	14,80	21,36	10	12
P20	3,90	9,02	6	6
P25	8,00	9,02	6	10
P29	5,90	9,02	6	10
P21	23,20	32,81	12	12
P30	9,50	13,49	8	10
P4	17,40	21,36	10	12

Fonte: Próprio autor.

ANEXO 9 - Tabela de otimização de profundidades entre estaca escavada e estaca hélice contínua de acordo com a área de influência do furo 2 (SPT 02).

Calcular com SPT 02:	Carga Solicitante projeto máx	Carga resistente	Profundidade estaca hélice contínua otimizada	Profundidade projeto estaca escavada
	(tf)	(tf)	(m)	(m)
E1	3,50	10,79	6	6
P22	33,60	39,42	12	12
P6	9,10	10,79	6	10
P7	9,60	10,79	6	10
P5	9,10	10,79	6	10
P8	8,50	10,79	6	10
P9	12,20	17,96	8	10
E2	0,80	10,79	6	6
E3	14,80	17,96	8	6
P23	24,10	39,42	12	12
PP5	3,00	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP8	2,90	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP1	3,10	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP2	3,50	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP3	2,20	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP6	9,00	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP4	4,20	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP7	4,20	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP9	4,90	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP10	3,30	10,79	6	6+profundidade da piscina
PP11	2,2	10,79	6	6+profundidade da piscina

Fonte: Próprio autor.

ANEXO 10 - Tabela de dimensionamento das armaduras para estaca hélice contínua.

SPT 01/SPT02	Fck	Fyk	Diâmetro	L estaca	Qadm Solo	Qadm Estaca	R lateral	Cobrimento	Bitola Aço	Comprimento Mínimo Longitudinal	Área da estaca	Tensão solicitante estaca	Verificação da Tensão da estaca
Pilares	(KN/cm ²)	(KN/cm ²)	estaca (cm)	(cm)	(KN)	(KN)	(KN)	(cm)	(mm)	(cm)	(cm ²)	(KN/cm ²)	Norma
P1	3	50	30	800	132,29	99,04767	237,23	2,5	10	400	706,85775	0,1401	NÃO ARMAR
E5	3	50	30	800	88,46	7,84536	237,22	2,5	10	400	706,85775	0,0111	NÃO ARMAR
P11	3	50	30	800	132,29	106,89303	237,23	2,5	10	400	706,85775	0,1512	NÃO ARMAR
P16	3	50	30	1000	209,47	175,53993	366,62	2,5	10	400	706,85775	0,2483	NÃO ARMAR
E4	3	50	30	600	88,46	10,78737	157,10	2,5	10	400	706,85775	0,0153	NÃO ARMAR
P31	3	50	30	600	88,46	87,27963	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,1235	NÃO ARMAR
P2	3	50	30	1000	209,47	137,2938	366,62	2,5	10	400	706,85775	0,1942	NÃO ARMAR
P12	3	50	30	600	88,46	6,86469	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,0097	NÃO ARMAR
P17	3	50	30	600	88,46	43,14948	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,0610	NÃO ARMAR
P13	3	50	30	600	88,46	27,45876	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,0388	NÃO ARMAR
P14	3	50	30	1000	209,47	193,19199	237,23	2,5	10	400	706,85775	0,2733	NÃO ARMAR
P18	3	50	30	1000	209,47	176,5206	237,23	2,5	10	400	706,85775	0,2497	NÃO ARMAR
P27	3	50	30	1200	321,76	215,7474	563,80	2,5	10	400	706,85775	0,3052	NÃO ARMAR
P32	3	50	30	600	88,46	59,82087	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,0846	NÃO ARMAR
P3	3	50	30	1000	209,47	145,13916	366,62	2,5	10	400	706,85775	0,2053	NÃO ARMAR
P20	3	50	30	600	88,46	38,24613	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,0541	NÃO ARMAR
P25	3	50	30	600	88,46	78,4536	157,12	2,5	10	400	706,85775	0,1110	NÃO ARMAR
P29	3	50	30	600	88,46	57,85953	237,23	2,5	10	400	706,85775	0,0819	NÃO ARMAR
P21	3	50	30	1200	321,76	227,51544	563,80	2,5	10	400	706,85775	0,3219	NÃO ARMAR
P30	3	50	30	800	132,29	93,16365	237,23	2,5	10	400	706,85775	0,1318	NÃO ARMAR
P4	3	50	30	1000	209,47	170,63658	366,62	2,5	10	400	706,85775	0,2414	NÃO ARMAR
E1	3	50	30	600	105,81	34,32345	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0486	NÃO ARMAR
P22	3	50	30	1200	386,58	329,50512	683,92	2,5	10	400	706,85775	0,4862	NÃO ARMAR
P6	3	50	30	600	105,81	89,24097	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,1263	NÃO ARMAR
P7	3	50	30	600	105,81	94,14432	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,1332	NÃO ARMAR
P5	3	50	30	600	105,81	89,24097	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,1263	NÃO ARMAR
P8	3	50	30	600	105,81	83,35695	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,1179	NÃO ARMAR
P9	3	50	30	800	176,13	119,64174	305,01	2,5	10	400	706,85775	0,1693	NÃO ARMAR
E2	3	50	30	600	105,81	7,84536	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0111	NÃO ARMAR
E3	3	50	30	800	176,13	145,13916	305,01	2,5	10	400	706,85775	0,2053	NÃO ARMAR
P23	3	50	30	1200	386,58	236,34147	683,92	2,5	10	400	706,85775	0,3344	NÃO ARMAR
PP5	3	50	30	600	105,81	29,4201	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0416	NÃO ARMAR
PP8	3	50	30	600	105,81	28,43943	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0402	NÃO ARMAR
PP1	3	50	30	600	105,81	30,40077	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0430	NÃO ARMAR
PP2	3	50	30	600	105,81	34,32345	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0486	NÃO ARMAR
PP3	3	50	30	600	105,81	21,57474	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0305	NÃO ARMAR
PP6	3	50	30	600	105,81	88,2603	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,1249	NÃO ARMAR
PP4	3	50	30	600	105,81	41,18814	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0583	NÃO ARMAR
PP7	3	50	30	600	105,81	41,18814	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0583	NÃO ARMAR
PP9	3	50	30	600	105,81	48,05283	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0680	NÃO ARMAR
PP10	3	50	30	600	105,81	32,36211	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0458	NÃO ARMAR
PP11	3	50	30	600	105,81	21,57474	181,77	2,5	10	400	706,85775	0,0305	NÃO ARMAR

Fonte: Próprio autor.