



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Redeado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

Cesar Guimarães Milhomem

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS SOLICITADAS A CARGAS HORIZONTAIS

Palmas – TO

2021

Cesar Guimarães Milhomem

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS SOLICITADAS A CARGAS HORIZONTAIS

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) I do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Edivaldo Alvez Dos Santos.

Palmas – TO

2021

Cesar Guimarães Milhomem

DIMENSIONAMENTO DE ESTACAS SOLICITADAS A CARGAS HORIZONTAIS

Projeto de Pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II do curso de bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Me. Edivaldo Alves Dos Santos.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Kenia Parente Lopes Mendonça

Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof.a Prof. Me. Edivaldo A. Dos Santos

Coorientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof.a M.e Denis Cardoso Parente

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2021

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	5
2.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	6
3.	OBJETIVOS.....	6
3.1.	OBJETIVO GERAL.....	6
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
4.	JUSTIFICATIVA.....	6
5.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
5.2.1.	FUNDAÇÕES RASAS:.....	9
5.2.2.	FUNDAÇÕES PROFUNDAS:.....	9
6.	METODOLOGIA	25
6.1.	DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO.....	25
6.2.	DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO	25
6.3.	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	26
6.4.	DIMENSIONAMENTO CARGA HORIZONTAL.....	26
7.	MEMORIAL	27
8.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
9.	REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de construção civil ascenderam bastante, junto ao elevado crescimento da população com o decorrer dos anos, e a necessidade de estruturas de grande porte aumentou consideravelmente, porém buscando estruturas mais resistentes e esbeltas, mesmo com os diversos métodos construtivos sendo criados as obras ficaram mais carregadas e tornou-se um desafio cada vez maior para os engenheiros solucionarem fazendo com que esses esforços passem pela fundação e se dissipem no solo. As ações horizontais como ventos, sismos, impactos de marés em casos de pontes, esses são esforços que estarão acompanhando a estrutura e conseqüentemente gerando momento no topo da estaca.

De acordo a SANTOS (2008), a transferência de carga da estrutura para solo é um parâmetro importante e existem vários métodos de análise solo-estrutura que foram desenvolvidos para o dimensionamento de estacas sujeitas a ações horizontais. Praticamente, em todos esses métodos, a estaca é considerada como uma peça linear caracterizada por uma rigidez à flexão (EI).

Segundo Obras Geotécnicas. Lisboa, (2008). As ações horizontais induzidas na superestrutura são transmitidas até o nível das fundações dando origem a esforços horizontais e momentos concentrados. Estas cargas são, em grande parte, suportadas pela reação lateral do solo que se opõe ao movimento das estacas, gerando-se assim esforços de interação

Por estas forças estarem tendo impactos na estrutura é importante ser considerado no projeto sendo calculado para saber se é possível do solo resistir a tais impactos, pois ele juntamente com a fundação que irá resistir as ações horizontais e momento fletor, além das deformações que são indesejáveis na estaca podendo acarretar na ruptura da mesma.

Conforme Pablo Seminotti. Porto Alegre: DECIV/EE/UFRGS, 2016. Na maioria dos casos, em fundações de estruturas correntes, a representatividade ou significância de esforços horizontais não é tão grande assim (frente aos carregamentos verticais), e, portanto, nenhuma medida especial é tomada para tal. Entretanto, quando o esforço horizontal é significativo, as tensões no lado oposto ao de aplicação da carga aumentarão, enquanto que no lado da aplicação, diminuirão. Este processo ocorre até um determinado ponto em que um buraco se abre num dos lados da estaca (lado de aplicação) e uma ruptura aparece no outro (lado oposto ao da aplicação). (DÉCOURT, 1998).

Seguindo a NBR 6122/2019. Para qualquer edificação deve ser feita uma campanha de investigação geotécnica preliminar, constituída no mínimo por sondagens a percussão (com SPT), visando a determinação da estratigrafia e classificação dos solos, a posição do nível d'água e a medida do índice de resistência à penetração NSPT, de acordo com a ABNT NBR 6484. Na classificação dos solos deve ser empregada a ABNT NBR 6502.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Como dimensionar essas contribuições de esforços horizontais e de momento, mesmo com a falta de informações sobre essas ações, que podem acontecer de danificar a estrutura?

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Verificar a relevância da contribuição dos esforços horizontais tanto no dimensionamento geométrico quanto estrutural.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Segundo o objetivo geral que guiará o trabalho é proposto os específicos:

- Utilizar métodos analíticos para determinação do momento fletor máximo e deslocamento máximo da estaca analisada
- Analisar a diferença de comportamento das estacas quando estiverem sujeitas a esforços horizontais.
- Verificar o consumo de aço e concreto em função das ações horizontais

4. JUSTIFICATIVA

Por estacas serem as mais usuais em fundações, servindo bem como suporte, e transferência de esforços da superestrutura ao solo tendo o bloco como engaste, o mesmo deve ser concebido a suportar esses esforços das cargas horizontais e momento nas estacas.

É necessário considerar estas cargas horizontais no projeto, pois elas existem na prática e por essas estacas estarem submersas no solo, isso torna o modelo de cálculo mais complexo assemelhando-se a um modelo tridimensional, desta forma, há modelos de cálculo com métodos empíricos que podem dimensionar estruturas com tais cargas com auxílio de ábacos, diagramas e ferramentas computacionais, como será utilizado para chegar o objetivo.

Segundo Camila Galdino Mendes. Rio de Janeiro: (2013). As estacas não estão apenas sujeitas a cargas verticais, sendo frequentemente solicitadas por carregamentos horizontais. Geralmente as cargas verticais são significativamente maiores que as horizontais. Sendo assim, essas últimas são facilmente absorvidas pela resistência e rigidez dos elementos e, por isso, sua consideração específica no dimensionamento é desprezada na maioria dos casos. Entretanto, existem situações em que estas cargas não podem ser desprezadas, pois seus valores elevados determinam as condições de carregamento, como por exemplo, estruturas portuárias, torres de linhas de transmissão, estruturas off-shore, pontes, viadutos, entre outras, devido ao impacto de navios, ação do vento, das ondas e das correntes.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1. SONDAGEM:

Para iniciar o dimensionamento de fundações é necessário fazer uma visita ao local para que possa ser feita uma verificação da área a ser projetada, obtenção de dados da construção da edificação, e os dados geológicos e geotécnicos que é o passo mais importante, pois através da investigação geológica e geotécnica que possibilita conhecer as características do solo, como, a espessura das camadas, suas propriedades, resistência e a possível descoberta do lençol freático caso exista, tudo através da sondagem do local, que será através do ensaio que se inicia o dimensionamento com o laudo de sondagem.

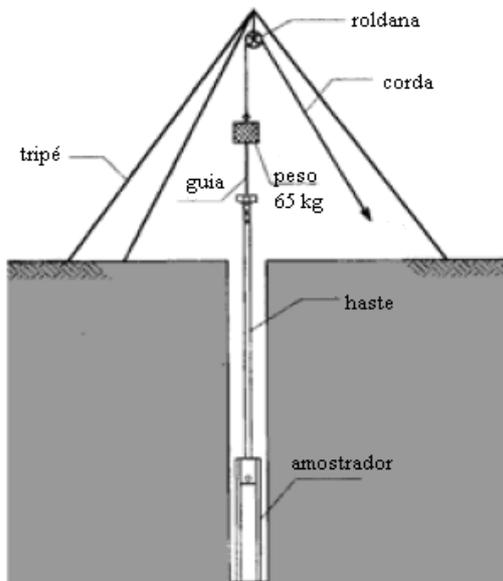
Essa análise do solo deve ser feita com muita cautela e atenção para que possa ser bem executada, onde é necessário de um grupo bem capacitado para que possa agregar e o serviço ser realizado com êxito. A investigação sendo ela bem organizada e com todas informações necessárias é crucial para que seja feita a escolha econômica e correta no tipo de fundação.

Para qualquer construção a ter o solo como apoio é necessário uma análise geológica do terreno no local a ser projetado a estrutura, e para esta inspeção é realizado o ensaio standard penetration test, informado na figura 1, que este é mais utilizado no Brasil e em todo o mundo, que serve para conhecimento do perfil do solo, segundo a NBR 6484/2020 a execução do ensaio é realizado aterrando uma amostra padrão no solo, que é feito a coleta de cada camada do mesmo, é feito a cravação por golpes de um martelo, onde para cada metro de profundidade atingido pelo equipamento, é informado a resistência da camada do subsolo.

Para a cravação do amostrador, é feito a marcação de 45 cm em sua haste, é feito a divisão em 3 seções de 15 cm. Então é anotado o número de golpes do martelo que são necessários para atingir os últimos 30 cm, obtendo um resultado para cada subdivisão de 15 cm, encontrando-se o N_{spt} do trecho. Para a execução com o equipamento manual tem a diferença de que todos os processos são braçais.

As penetrações do amostrador devem seguir os exemplos da tabela 1.

Figura 1: Tripé empregado na execução do ensaio SPT



Fonte: DANTAS NETO, 2008

Tabela 1: Apresentação das penetrações

Penetração	Registro dos golpes	Exemplo
Penetração de 45 cm Três trechos iguais a 15 cm	Golpes por trecho	3/15 – 3/15 – 4/15
Penetração diferente de 45 cm Trechos diferentes de 15 cm	Número de golpes para uma penetração imediatamente superior a 15 cm	3/17 – 4/14 – 5/15
Penetração superior a 45 cm com a aplicação do primeiro golpe de martelo	Número de golpes e respectiva penetração	1/58
Penetração com haste e amostrador, sem número de golpes	Sem número de golpes	PH/50
Penetração com martelo, haste e amostrador, sem número de golpes	Sem número de golpes	PM/70
Penetração superior a 45 cm com a aplicação de poucos golpes do martelo	Número de golpes e respectiva penetração nos respectivos intervalos	1/33 – 1/20
Penetração inferior a 45 cm Se em qualquer dos três segmentos, o número de golpes ultrapassar 30	Número de golpes para cada intervalo de penetração	32/15
Se não for observado avanço do amostrador durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo	Número de golpes para zero centímetros de penetração	5/0

Fonte: NBR 6484:2020

Caso seja encontrado rocha durante o ensaio, é necessário a troca de ensaios para o de sondagem rotativa, pois utiliza-se uma coroa diamantada na ponta da tubulação servindo para perfurar as rocha permitindo a passagem dos equipamentos para a determinação da qualidade da rocha e conhecimento da resistência do minério, sendo necessário ser retirado uma amostra para verificação em laboratório.

5.2. FUNDAÇÃO

A fundação é uma estrutura que tem como função o recebimento de carregamento da superfície e transferência dos mesmos ao solo para que essas cargas se dissipem como um bulbo de tensão. A classificação das fundações é rasa, e profunda. A diferença entre elas é a profundidade e a transferência de carregamento para o solo.

Podendo ser para o tipo de fundação profunda tanto estacas como tubulões. Sendo que será tratado de estacas uma classificada como profunda, podendo ser feita de madeira, concreto pré-moldado, aço e outros metais.

5.2.1. FUNDAÇÕES RASAS:

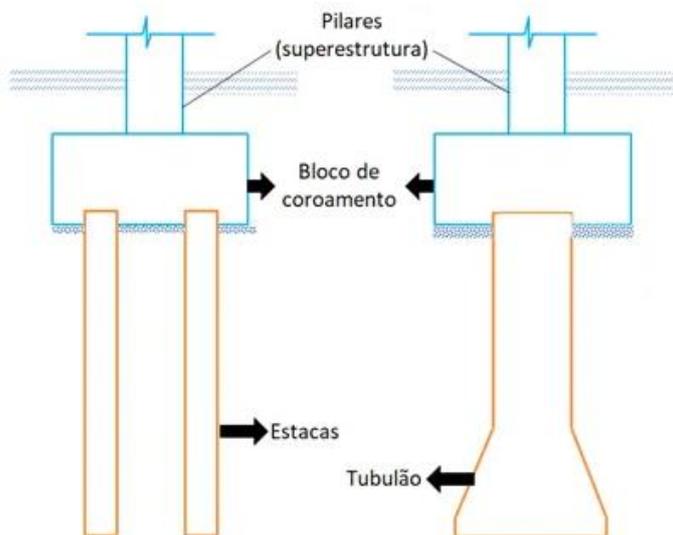
Normalmente é utilizado fundações rasas em edificações de até dois pavimentos, geralmente este tipo de fundação é feita manualmente feitas de concreto armado e os esforços são transmitidos diretamente ao solo. Visto que as fundações rasas devem consistir de uma profundidade menor que duas vezes sua menor base, transferindo a carga suportada através da base (resistência de ponta). Os tipos são:

- Radier
- Sapata Isolada
- Viga Baldrame
- Sapata Corrida

5.2.2. FUNDAÇÕES PROFUNDAS:

As fundações profundas são utilizadas quando o solo das fundações rasas não consegue resistir aos esforços passados a fundação da estrutura, e as cargas são transmitidas através de atrito lateral, ou até mesmo com a soma do atrito lateral e da resistência de ponta. As fundações profundas estão divididas em dois grupos consistindo de tubulões e estacas.

Figura 2: Fundações Profundas



Fonte: Nelso Schneider – Fundações Profundas, 2020

5.2.2.1. ESTACAS:

As fundações profundas do tipo estaca são realizadas segundo a NBR 6122/2019 e para que seja classificada como profunda deve estar submersa a oito vezes a menor dimensão em planta, ou a sua base estar distante do nível do terreno de no mínimo 3 metros.

E de acordo com a norma as estacas são elementos de fundação que tem como objetivo a transição de carregamento para o solo tendo o bloco de coroamento como transição desses esforços, e acontece de duas maneiras, através do atrito lateral entre a estaca e o solo e também da resistência de ponta da estaca, sendo este caracterizado como principal característica das fundações profundas. Existem vários tipos de estacas, subdivididas em dois grupos moldadas in loco e pré-moldadas, sendo elas:

➤ ESTACAS PRÉ-MOLDADAS:

Estas estacas são do tipo fixadas no solo por prensagem, vibração ou percussão. Podendo ser dos tipos de concreto, madeira ou aço além de serem realizadas com muita rapidez.

• ESTACA DE MADEIRA:

Estas estacas são utilizadas troncos de árvores e são na maioria das vezes utilizadas para construções provisórias, caso seja para uma permanente é necessário ter o cuidado com fungos, bactérias e outros realizando tratamento da madeira.

Figura 4: Estacas de Madeira



Fonte: Virtuhab – Estaca de Madeira

A ponta da estaca é necessária de diâmetro superior a 15 centímetros assim como o do topo deve ser maior que 25 centímetros, onde na ponta deve existir uma proteção de aço para que caso necessite penetrar em camadas de solo mais resistentes, e na superfície para que possa resistir a efeitos da cravação.

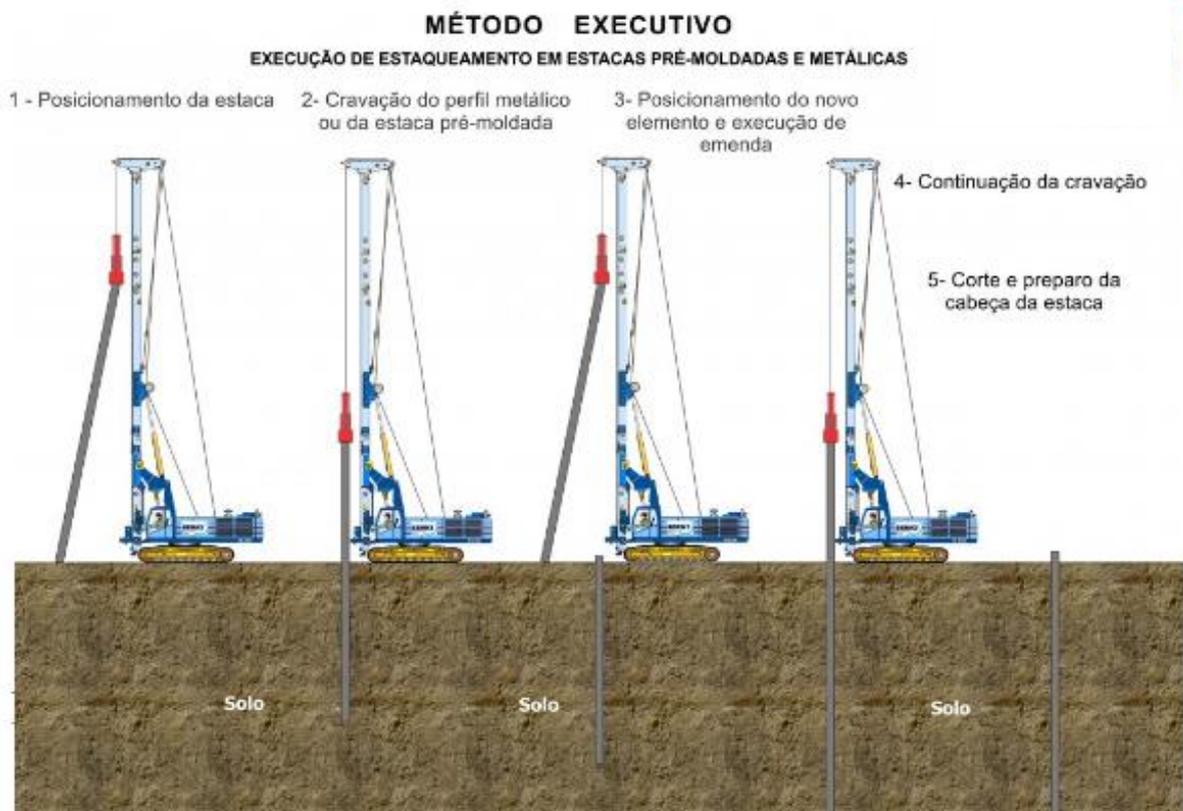
A cravação dessa estaca acontece por meio de um martelo que é solto em queda livre e tenha uma relação do pilão com a estaca sendo superior a 1,0.

- **ESTACA METÁLICA:**

As estacas metálicas são definidas de acordo com a NBR 6122/2019, onde as mesmas podem ser de perfis Laminados ou soldados, até mesmo de chapas dobradas, tubos sem costura e trilhos também, porém deve-se resistir a corrosão de acordo com sua própria fabricação a não ser quando tem contato direto áreas marítimas que assim deve ter um tratamento especial do aço.

A cravação dessa estaca acontece por meio de um martelo de peso menor que 10KN que é solto em queda livre e tenha uma relação do pilão com a estaca sendo inferior a 0,5.

Figura 5: Execução de Ensaio de Estacas Metálicas



Fonte: Serki – Estacas Cravadas

- **ESTACA DE CONCRETO:**

Este tipo de estaca pode ser tanto de concreto armado quanto de concreto protendido, tendo suas formas horizontais ou verticais, a escolha do tipo de como a estaca será cravada por prensagem, vibração ou percussão, depende de suas dimensões, de propriedades do terreno, projeto e vizinhança.

Figura 3: Estacas de Concreto



circular

quadrada

octogonal

Fonte: Slideshare – Estacas Pré-moldadas de Concreto

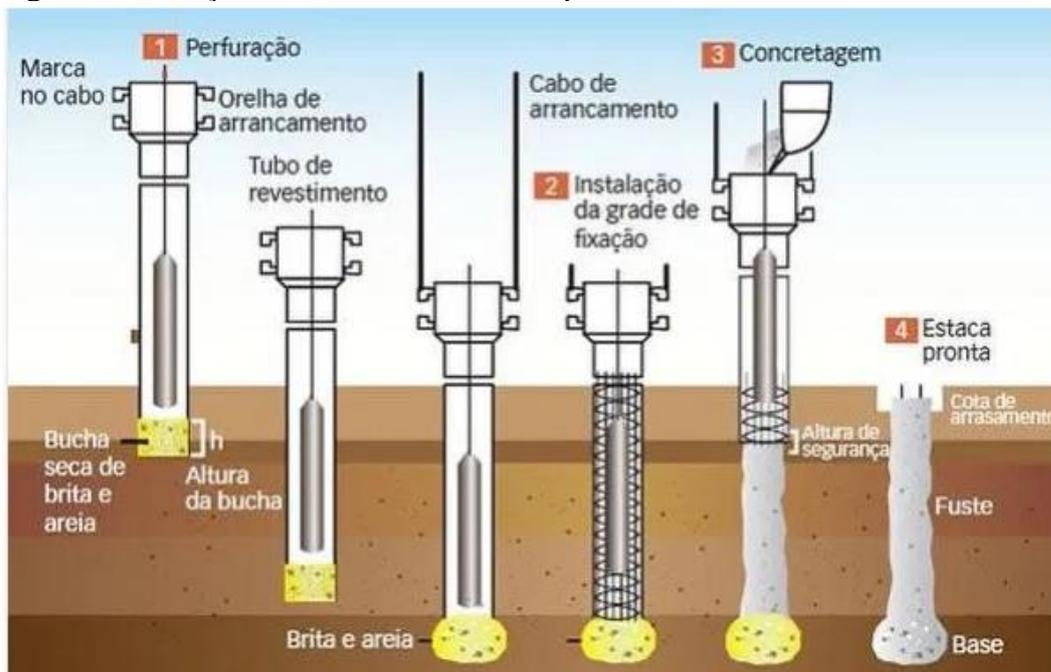
- **ESTACAS MOLDADA IN LOCO:**

Existe vários tipos de estacas moldados in loco são elas:

- **ESTACA FRANKI:**

Este é um tipo de fundação que além de poder atingir grandes profundidades também apresenta resistência elevada, e sua execução é por meio do cravamento de um tubo que é golpeado através de um bate estaca, e no decorrer de que a estaca é removida é acrescentado o concreto e a armadura na estaca.

Figura 6: Execução de Ensaio de Estacas Tipo Franki

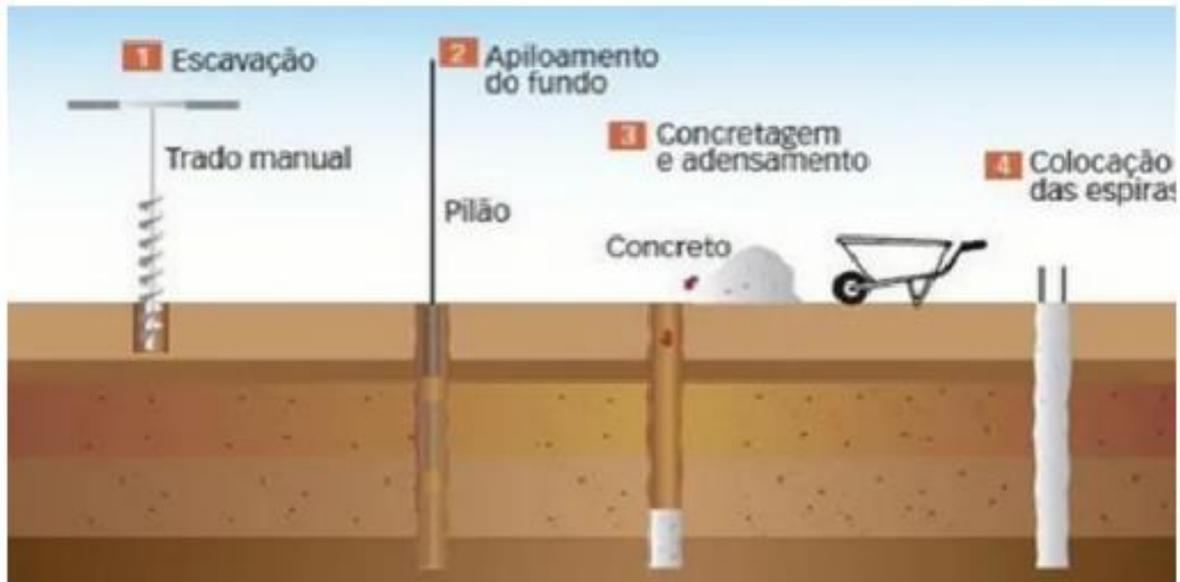


Fonte: Nelso Schneider – Execução de Estacas Parte 5

- **ESTACA BROCA:**

Este tipo de estaca é utilizado para construções que necessitam de pequenos carregamentos, pois seu diâmetro e profundidade são inferiores aos demais tipos, e sua execução é através de um trado manual, em seguida é feita a concretagem.

Figura 7: Execução de Ensaio de Estaca Broca

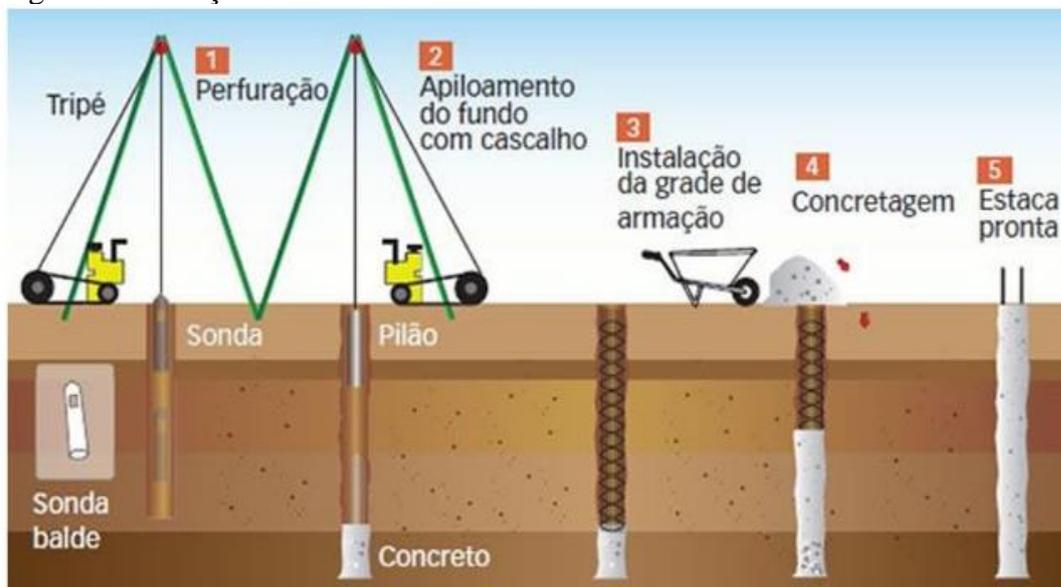


Fonte: : Nelso Schneider – Estaca Broca

- **ESTACA STRAUSS:**

Estacas deste tipo são executadas com um equipamento leve e de fácil manuseio para a escavação e remoção do solo para que assim seja feita a concretagem juntamente com a armação, porém este método é pouco utilizado não sendo indicado para solos muito saturados, moles ou que tenha em sua presença lençol freático, pois é utilizado muito resíduo.

Figura 8: Execução de Ensaio de Estaca Strauss



Fonte: VWF Fundações – Estaca Tipo Strauss

- **ESTACA A TRADO MECÂNICO OU ROTATIVO:**

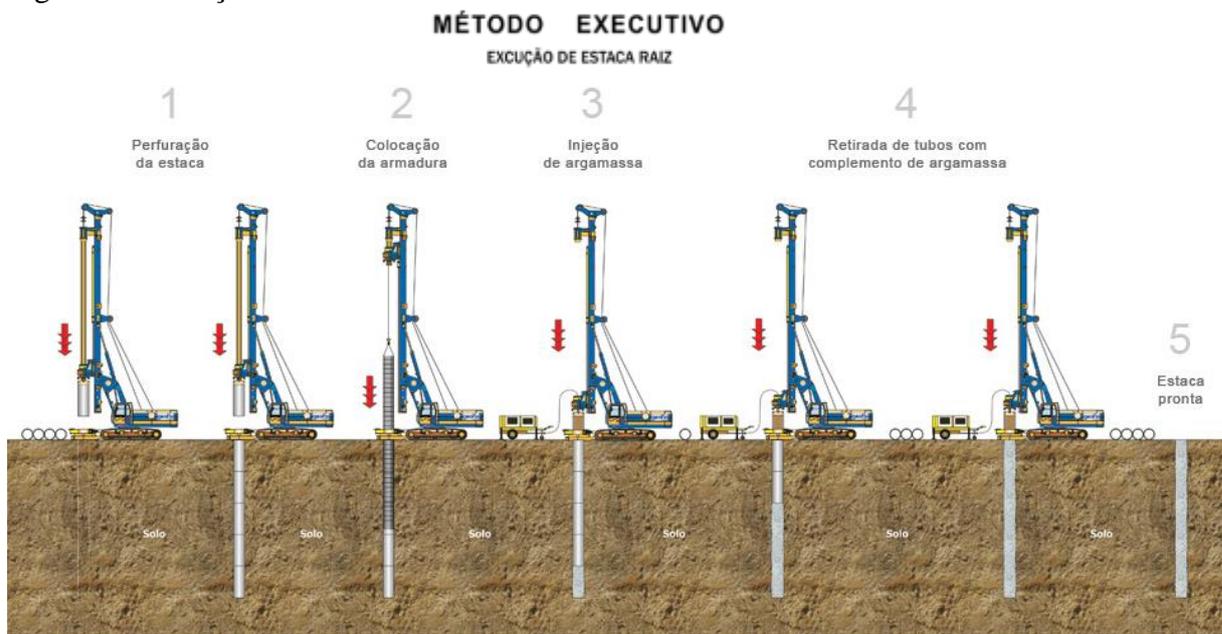
Este tipo de estaca é feito através de um trado helicoidal que faz a retirada do solo quando o trado está cheio, após ter sido feito toda a retirada de solo e a compactação do mesmo com brita, se inicia a concretagem de preferência sendo concreto auto adensável para que em seja colocado a armadura.

- **ESTACA RAIZ:**

Este tipo de estaca é realizada através da escavação com um equipamento rotativo que se utiliza água, lama betonítica ou polímero sintético, podendo ser executado a concretagem ou somente adiciona a argamassa e em seguida a armadura.

Este método além de atingir profundidade maior que 50 metros, também pode ser utilizado em qualquer tipo de solo, até mesmo em pedregulhos, rochas e etc. podendo apresentar diâmetros entre 15 e 50 centímetros.

Figura 9: Execução de Ensaio de Estaca Raiz

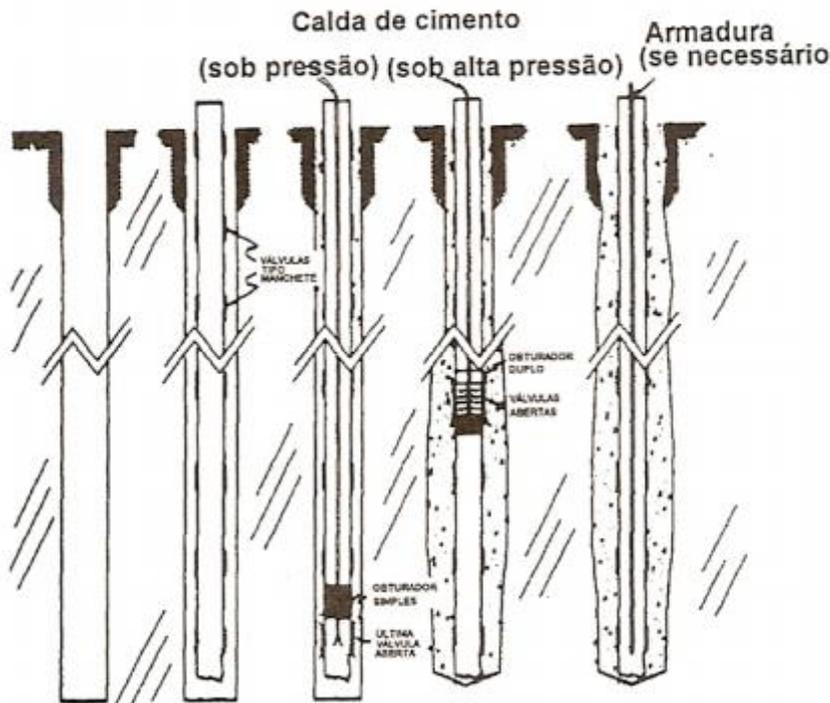


Fonte: Serki – Estacas Injetadas (Raiz)

- **MICRO ESTACA:**

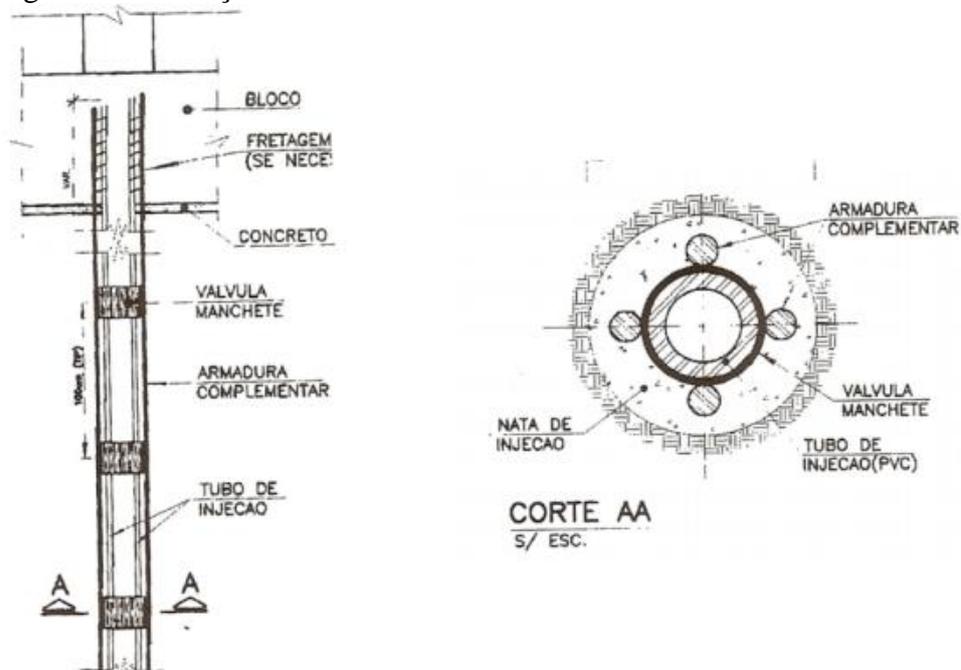
Estas estacas são utilizados pequenos diâmetros para sua execução, e após a escavação pode-se utilizar tanto cimento quanto argamassa para seu preenchimento juntamente com a armadura, além de ser muito utilizada em construções que são de difícil acesso para os equipamentos de médio porte e manuais também.

Figura 10: Execução de Ensaio de Micro Estaca



Fonte: Hachich et al.

Figura 11: Execução de Ensaio de Micro Estaca



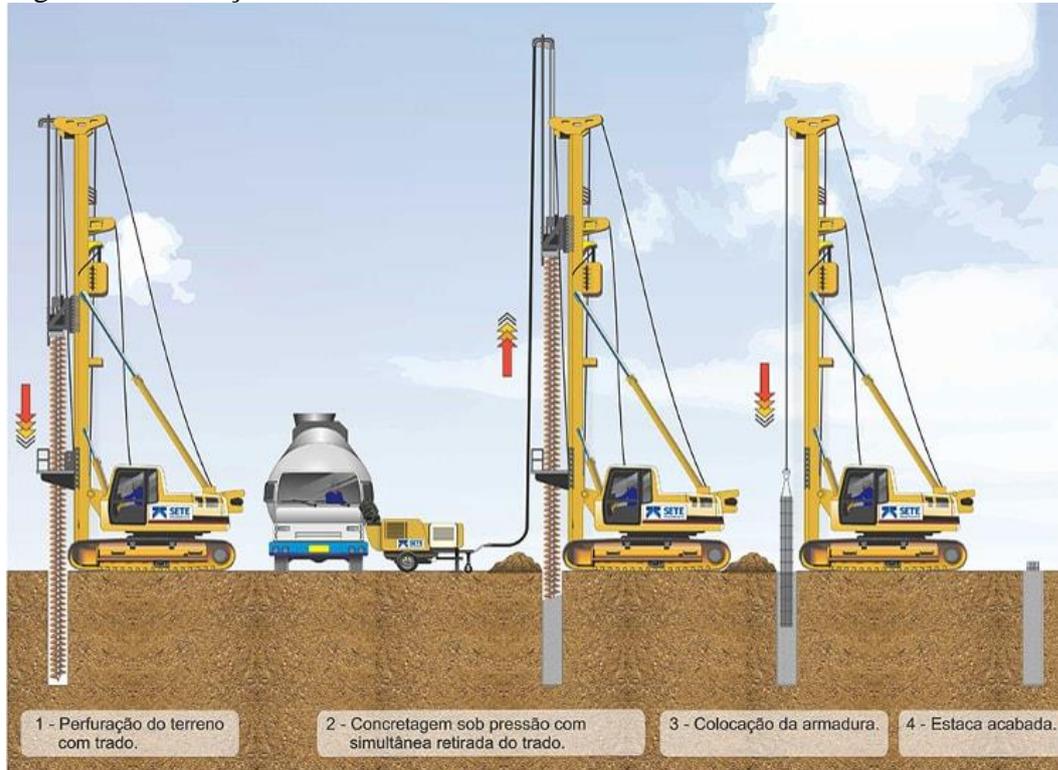
Fonte: Hachich et al.

- **ESTACA HÉLICE CONTÍNUA:**

Para a execução desta estaca é feito a perfuração do solo, e no momento que é atingida a profundidade definida por projeto é feito a inserção do concreto ao mesmo momento que é feito a retirada do trado com o solo, após o fim da concretagem é adicionado a armadura, porém para que seja possível é necessário o slump adequado.

Este método sendo ele bastante rápido, e atingindo grandes profundidades, além de garantir a eficácia e precisão pois em todos os processos é feito o acompanhamento por computadores.

Figura 12: Execução de Ensaio de Estaca Hélice Contínua



Fonte: Escola Engenharia - Estaca Hélice Contínua Vantagens e Desvantagens

5.3. DIMENSIONAMENTO

A capacidade de carga é a tensão transmitida pela fundação ao solo, podendo causar nesta ruptura ou deformação excessiva, esta capacidade depende tanto de propriedades do solo quanto da fundação.

Para o cálculo da capacidade de carga, segundo a NBR 6122:2019, é utilizado alguns métodos. Sendo eles:

- Prova de carga sobre placa – Determinando sobre o ensaio, de modo a considerar os resultados a relação efeito escala, assim como as camadas de solo a influenciar.

- Métodos Analíticos – Acontece através de métodos baseados em teorias de capacidade de carga.
- Métodos Empíricos – Determinação através de teorias de capacidade de carga seguindo especificações de projeto.
- Métodos Semiempíricos – Considera a relação de resultados obtidos através de ensaios com tensões de cálculo.

Para o dimensionamento geotécnico a planta de carga e o laudo de sondagem são dados essenciais, também é necessário escolher o método semiempírico que vai ser utilizado como meio para obtenção dos resultados de resistência total a ruptura da estaca (R_t) que é máxima carga suportada pela estaca.

Para o cálculo da resistência total (R_t) é necessário de alguns dados que são obtidos através do tipo de solo como especificado no laudo de sondagem e do tipo de estaca que será escolhido uma que seja mais utilizada na região, como mostra as tabelas 2 e 3 a seguir:

Tabela 2: Fatores de Correção K e α

Tipo de solo	K (MPa)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia silto-argilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilo-siltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte areno-argiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argilo-siltoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila aerno-siltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila silto-arenosa	0,33	3,0

Fonte: Adaptados de Aoki Velloso (1975)

Tabela 3: Fatores de Correção F1 e F2 Atualizados

Tipo de estaca	F ₁	F ₂
Franki	2,50	2 F1
Metálica	1,75	2 F1
Pré-moldada	1 + D/0,80	2 F1
Escavada	3,0	2 F1
Raiz, Hélice contínua e Ômega	2,0	2 F1

Fonte: Adaptados de Aoki Velloso (1975)

Agora, com as equações, o método consiste em determinar duas parcelas da carga a resistência de ponta (Rp) equação 1, e a resistência lateral (Rl) equação 2, transmitida pela fundação ao solo e somando-as no final para encontrar a resistência total (Rt) equação 3.

$$R_p = A_{est} * \frac{K * NSPT}{F_1}$$

$$R_l = \frac{U}{F_2} * \sum_1^n (\alpha * K * Nl * \Delta l)$$

$$R_t = R_p + R_l$$

Rp = Resistência de Ponta (KN)	K = Coeficiente (Mpa)
Aest = Área da Estaca (m ²)	NSPT = Resistência a Penetração da Ponta
F1 = Coeficiente (Adimensional)	α = Coeficiente (%)
Rl = Resistência Lateral (KN)	Nl = Resistência a Penetração da Camada de Solo
U = Perímetro da Estaca (m)	Δl = Altura da camada de Solo (m)
F2 = Coeficiente (Adimensional)	Rt = Resistência Total (KN)

Lembrando que esta soma das resistências lateral e de ponta (Rt) se divide por 2,0 que é o fator de segurança a ser atribuído segundo a norma NBR 6122:2019 para o cálculo da capacidade de carga admissível segue a equação 4.

$$R_{adm} = \frac{R_t}{2}$$

R _{adm} = Capacidade de Carga Admissível (KN)
R _t = Resistência Total (KN)

Definir o tipo de estaca e a dimensão, em seguida é a escolha do método que foi aplicado Aoki-Veloso e utilizar dados tabelados para início do cálculo.

Para iniciar o dimensionamento Geométrico é feita a definição da quantidade de estacas levando em consideração a majoração da carga dos pilares através da equação 5:

$$N_{est} = \frac{1,1 * P}{R_{adm}}$$

Nest =	Número de Estacas
P =	Carga Dos Pilares (KN)
Radm =	Capacidade de Carga Admissível (KN)

Deve ser observado nas estacas a carga em que cada uma será solicitada majorando com o fator de segurança essa carga efetiva nas estacas (qef), onde a mesma é calculada através da equação 6: Carga Efetiva Das Estacas

$$q_{ef} = \frac{1,1 * P}{N_{est}}$$

qef =	Carga Efetiva (KN)
P =	Carga Dos Pilares (KN)
Nest =	Número de Estacas

Tabela 4: Capacidade de carga das estacas:

ESTACAS ESCAVADAS

Tipo de estaca	Dimensão (cm)	Carga nominal (kN)
Franki = 6,0 Mpa	φ 35	600
	φ 40	750
	φ 45	950
	φ 52	1.300
	φ 60	1.700
Raiz = 8,0 a 22,0 MPa	φ 10	100 – 150
	φ 12	100 – 250
	φ 15	150 – 350
	φ 20	250 – 600
	φ 25	400 – 800
	φ 31	600 – 1.050
Hélice contínua = 4,0 a 5,0 MPa	φ 27,5	250 – 300
	φ 35	400 – 500
	φ 40	500 – 650
	φ 50	800 – 1.000
	φ 60	1.100 – 1.400
	φ 70	1.550 – 1.900
	φ 80	2.000 – 2.500
	φ 90	2.550 – 3.200
	φ 100	3.150 – 3.900

Fonte: Aula 7 Fundações (Edivaldo) – Projeto Geométrico e Estrutural de Estacas

Para a definição do bloco em função do número de estacas é utilizado as fórmulas a seguir:

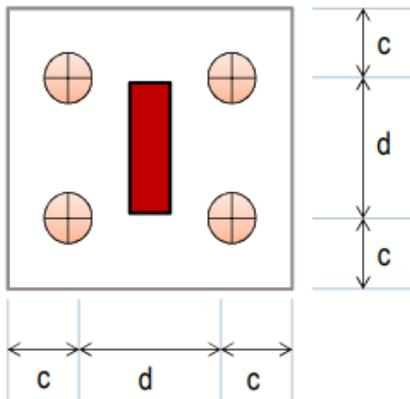
- Para estacas escavadas é utilizado a equação 7 a seguir:

$$d = 3 * \varnothing \quad \varnothing = \text{diâmetro da estaca}$$

- Para estacas cravadas são utilizados as equações 8 e 9 a seguir:

$$d = 2,5 * \varnothing \quad c = \frac{\varnothing}{2} + 15$$

Figura 13: Dimensões do Bloco em Função do Número de Estacas



Fonte: Aula 7 Fundações (Edivaldo) – Projeto Geométrico e Estrutural de Estacas

Para iniciar o dimensionamento estrutural é necessário saber se irá precisar de armadura mínima através da tensão na estaca (σ_{est}) que é definida pela equação 10:

$$\sigma_{est} = \frac{q_{ef}}{A_{est}}$$

$\sigma_{est} =$	Tensão na Estaca (Mpa)
$q_{ef} =$	Carga Efetiva (KN)
$A_{est} =$	Área da Estaca (m ²)

Caso essa tensão (σ_{est}) exceda 5Mpa será calculado a armadura com a equação 11 seguinte:

$$A_s = \frac{Nd * \left(1 + \frac{6}{\varnothing}\right) - 0,85 * A_c * f_{cd}}{f_{yd}}$$

Onde:

$$\left(1 + \frac{6}{\varnothing}\right) \geq 1,1$$

As =	Área de Aço Mínima (cm ²)
Nd =	Valor de cálculo da força normal solicitante (KN)
fcd =	resistência de cálculo do concreto (KN)
fyd =	resistência característica ao escoamento do aço (KN)
Ø =	Diâmetro (cm)

Caso essa tensão (σ_{est}) não exceda 5Mpa a armadura será calculado segundo a equação 12 seguinte:

$$ASmín = \frac{0,5}{100} * Ac$$

Asmín =	Área de Aço Mínima (cm ²)
Ac =	Área de Concreto (cm ²)

No detalhamento é definido o espaçamento (Esp) entre as barras de aço na estaca através da equação 13:

$$Esp = \frac{\pi * (\Ø - (2 * C))}{Nb}$$

Esp =	Espaçamento (cm)
Nb =	Número de Barras
Ø =	Diâmetro (cm)
C =	Cobrimento (cm)

Onde:

$$Nb = \frac{ASmín}{Aest}$$

Tabela 5: Área da secção das barras de aço

Valor nominal para cálculo		Área de aço da seção conforme número de barras – A_s [cm ²]									
ϕ diâmetro (mm)	massa linear (kg/m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	0,16	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
6,3	0,25	0,315	0,63	0,945	1,26	1,575	1,89	2,205	2,52	2,835	3,15
8,0	0,40	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
10,0	0,63	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20	8,80
12,5	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50
16,0	1,60	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
20,0	2,50	3,15	6,30	9,45	12,60	15,75	18,90	22,05	25,20	28,35	31,50
25,0	4,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00	40,00	45,00	50,00
32,0	6,30	8,00	16,00	24,00	32,00	40,00	48,00	56,00	64,00	72,00	80,00
40,0	10,00	12,50	25,00	37,50	50,00	65,50	75,00	87,50	100,00	112,50	125,00

A força horizontal e momento máximo em estacas não é de costume ser calculado, porém esses efeitos não sendo considerados, em estacas mais curtas rompem no solo, já em estacas longas rompem no fruste, para calcular o momento fletor ao longo da estaca serão considerados molas no lugar do solo, para iniciar será calculado o coeficiente dessas molas através da equação 14:

$$Cz = m * z$$

$Cz =$	Coeficiente de Mola (KN/m ³)
$m =$	Coeficiente (KN/m ⁴)
$z =$	Altura da Camada de Solo (m)

Será considerado então mola a cada metro, desconsiderando o primeiro metro assim como é feito na sondagem, caso o SPT esteja em um intervalo da tabela 5 a seguir, é feito a interpolação do valor m (KN/m⁴) para o cálculo do coeficiente da mola.

Tabela 6: Parâmetros Para Coeficiente de Mola para solos arenosos

Solo	consistência	SPT	M (KN/m ⁴)	
Areias e siltes arenosos	Fofa(o)	≤ 4	<1000	
	Pouco compacta(o)	5 a 8	1000	2000
	Medianamente compacta(o)	9 a 18	2000	4000
	Compacta(o)	19 a 40	4000	6000
	Muito compacta(o)	> 40	>6000	

Fonte: Terzagui e Peck Apud Tietz (1976)

Para o cálculo do coeficiente das molas será utilizado o software ftool, e para o detalhamento das estacas o pcalque, que nele é possível dimensionar varias formas de seções das estacas, nele é necessário utilizar dados da NBR 6122/2019 como o fck do concreto segundo a classe de agressividade ambiental e o tipo de estaca.

Através do diagrama de interação de esforço normal e momento fletor gerado pelo pcalque, encontramos o momento fletor resistente (My) quando estaca está sem carga vertical.

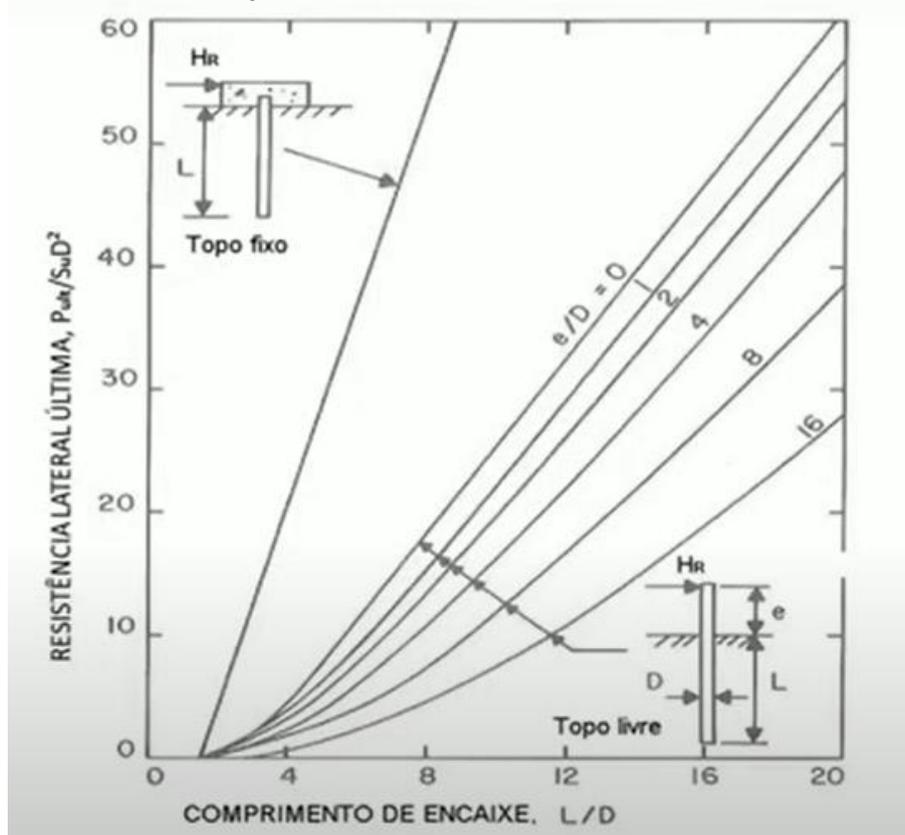
Para o cálculo da resistência lateral ultima (Rlu) precisa se do comprimento da estaca e o diâmetro escolhido. Após este processo calcula-se a Rlu através da equação 15:

$$Rlu = \frac{L}{\phi}$$

Rlu =	Resistência Lateral Última (KN)
L =	Comprimento (m)
ϕ =	Diâmetro (cm)

Como a estaca estará no nível do solo será considerado o “e” do ábaco como zero, para que seja definido a curva do ábaco, e o resultado da resistência lateral última, será observado subindo na curva até seu encontro com a relação encontrada (Rlu), após o encontro o resultado será o valor que estará ao lado esquerdo do ábaco.

Figura 14: Primeiro Ábaco para Resistência Lateral Última



Para o encontro da resistência lateral última conforme o segundo ábaco utilizamos a equação 16 seguinte:

$$Rlu = \frac{My}{Su * \varnothing^3}$$

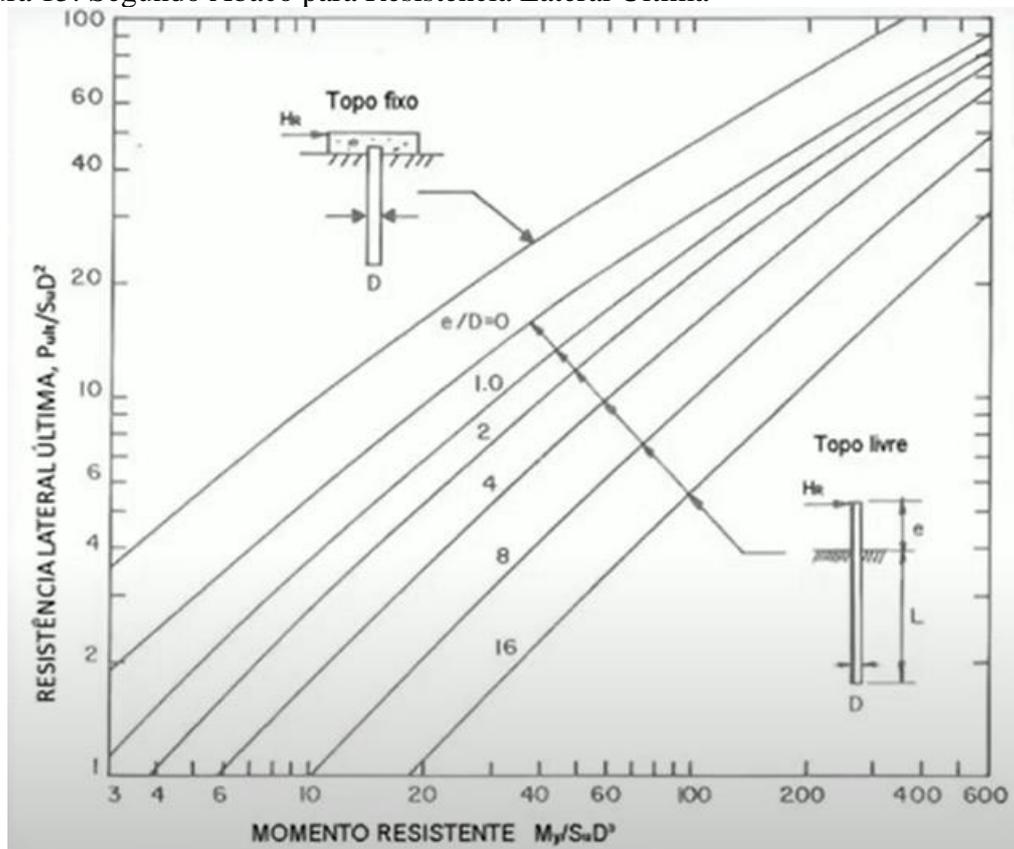
Onde:

$$Su = 0,75 * Coesão$$

Rlu =	Resistência Lateral Última (KN)
My=	Momento Resistente da Estaca (KN.m)
Su=	0,75xCoesão (KN/m ²)
Ø =	Diâmetro (cm)

Para a utilização deste ábaco após encontrar o resultado de Rlu, segue ao encontro da curva que é utilizado o mesmo critério do primeiro ábaco com relação ao “e”, em seguida o valor definido está ao lado esquerdo do ábaco.

Figura 15: Segundo Ábaco para Resistência Lateral Última



Para verificação da carga lateral última é utilizado o menor valor de resistência lateral última entre os dois ábacos na equação 17:

$$Pult = \frac{Rlu * Su * \varnothing^2}{2}$$

Pult=	Carga Lateral Máxima (KN)
Rlu =	Resistência Lateral Última (KN)
Su=	0,75xCoesão (KN/m ²)
Ø =	Diâmetro (cm)

6. METODOLOGIA

A metodologia científica é o estudo dos métodos ou da forma, ou dos instrumentos necessários para alcançar um objetivo. É onde será especificado os métodos a serem realizadas. O objetivo do projeto é o dimensionamento de estacas solicitadas a cargas horizontais, a metodologia foi dividida e etapas.

6.1. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO

Iniciando com a obtenção do laudo de sondagem que através dele é feito o conhecimento das camadas do solo. Pois para isso é utilizado o método de sondagem mais usual na região, que para este caso é hélice contínua. Além do método de cálculo semiempírico para a obtenção da resistência do solo, através de dados obtidos das tabelas de Aoki-Veloso, e das informações do solo segundo o laudo de sondagem.

Para encontrar o valor da resistência do solo, foi utilizado a equação 1 para a resistência de ponta, em seguida a resistência lateral na equação 2, e a soma de ambas conforme a equação 3, dividindo-a pelo fator de segurança que resulta a capacidade de carga admissível na equação 4.

Na planta de carga obtemos os dados da superestrutura para o dimensionamento, como posicionamento e dimensões dos pilares e a carga passada para os mesmos.

6.2. DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO

O processo geométrico iniciou-se com a quantidade de estacas, que para ser definida é necessário ter a carga dos pilares da planta de carga e a capacidade de carga admissível, segundo a equação 5.

Para a carga efetiva é necessário fazer a divisão majorando conforme a equação 6, com a carga dos pilares e o número de estacas.

Para dimensionar o bloco de ancoragem é necessário ter dados como a quantidade de estacas, o tipo e o diâmetro das mesmas, pois assim é estabelecido as dimensões do bloco, com a equação 7 ou 8 e 9.

6.3. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Primeiramente para a armadura da parte estrutural, é necessário saber se será utilizado a armadura mínima utilizando a equação 10.

Caso seja excedido os 5MPa será feito cálculo com a equação 11, se não a área de aço utilizado será a mínima multiplicando a área de concreto por 5% como explicado na formulação 12.

No espaçamento das armaduras é necessário do diâmetro e da quantidade de barras calculadas como especificado na equação 13.

6.4. DIMENSIONAMENTO CARGA HORIZONTAL

Passando para o objetivo do projeto, começa com a obtenção do coeficiente de molas será calculado a cada metro, caso aconteça de ter um spt entre intervalos da tabela 5, será feito interpolação do valor para que seja encontrado um novo valor de “m”, e calculado o coeficiente na equação 14.

Para que seja encontrado a resistência lateral última primeiramente é necessário fazer a relação da formulação 15 do ábaco 1, em seguida encontrar o valor da equação 16 do ábaco 2. Por fim será feito a comparação para que seja utilizado o menor valor dos dois.

Para esta verificação da carga lateral última é feito o cálculo da formulação 17 utilizando o menor valor da resistência lateral última, e com o resultado da equação é feito a comparação com a de projeto, caso tenha sido maior que a solicitada em projeto está ok, se não será necessário um novo redimensionamento.

7. MEMORIAL

- Sondagem

Para realizar o dimensionamento para definição da carga última foi obtido os laudos de sondagem conforme o Anexo A, então foi realizado a média para dados de cálculo.

- Carga Atuante no Pilar E1

Segundo a planta de carga fornecida observou-se uma carga concentrada de 7tf do peso próprio do pilar E1 com seção de 30cm de diâmetro.

Partindo das cargas do projeto, optou-se pela escolha da estaca escavada do tipo Hélice Continua Monitorada (HCM), com diâmetro de 27,5cm para a estaca do Pilar E1, seguindo os diâmetros apresentados na tabela 4, em seguida aplicou o método de Aoki e Velloso.

Figura 16: Dimensionamento da Capacidade de Carga



N_{SPT} MÉDIO	ΔL (m)	K MÉDIO (kN/m ²)	α	Q_d (kN)	20% Q_d	Q_i (kN)	ΣQ_i	R	FS	R_{adm} (kN)	Estaca
3	1	840	0,020	74,84	14,97	10,89	10,89	25,85	2,00	12,93	
3	1	840	0,020	74,84	14,97	10,89	21,77	36,74	2,00	18,37	
5	1	840	0,020	124,73	24,95	18,14	39,91	64,86	2,00	32,43	
8	1	920	0,016	218,58	43,72	25,43	65,35	109,06	2,00	54,53	
10	1	920	0,016	273,22	54,64	31,79	97,14	151,79	2,00	75,89	
14	1	920	0,016	382,51	76,50	44,51	141,65	218,15	2,00	109,08	
14	1	880	0,018	365,88	73,18	47,90	189,55	262,72	2,00	131,36	
11	1	840	0,019	274,41	54,88	37,92	227,47	282,35	2,00	141,17	
12	1	840	0,019	299,35	59,87	41,37	268,83	328,70	2,00	164,35	
19	1	840	0,019	473,98	94,80	65,50	334,33	429,12	2,00	214,56	
21	1	840	0,019	523,87	104,77	72,39	406,72	511,49	2,00	255,75	

Após a determinação da capacidade de carga, considerando o atrito lateral, juntamente com a contribuição de ponta, e admitindo fator de segurança global igual a 2, observa-se que o solo adquire capacidade de carga apta a atender a demanda com a profundidade de 12,00m conforme figura 16.

- Área de aço

O consumo de aço é seguido de acordo com a NBR 6122/2019

Figura 17: Estacas de concreto moldadas in loco e tubulões

As estacas ou tubulões podem, quando solicitados a cargas de compressão e tensões limitadas aos valores da Tabela 4, ser executados em concreto não armado, exceto quanto à armadura de ligação com o bloco. Estacas ou tubulões com solicitações que resultem em tensões superiores às indicadas na Tabela 4 devem ser dotados de armadura, que deve ser dimensionada de acordo com a ABNT NBR 6118 sem considerar excentricidade de carga. A armadura mínima de cisalhamento também deve atender a ABNT NBR 6118 e observar os limites da Tabela 4.

Figura 18: Parâmetros relacionados a Estaca HCM

Tabela 4 – 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				

- Tensão na Estaca

$$\sigma_{est} = \frac{qef}{A_{est}}$$

$$\sigma_{est} = \frac{77,00}{0,059}$$

$$\sigma_{est} = 1,30 \text{ MPa}$$

A partir do resultado encontrado acima como a tensão de compressão aplicada a estaca é inferior a 6 Mpa, como estabelecido pela norma o consumo de aço será em função da armadura mínima, que a mesma norma recomenda como sendo 0,4% da seção de concreto da estaca, conforme figura 18.

$$A_{Smín} = \frac{0,4}{100} * A_c$$

$$A_{Smín} = \frac{0,4}{100} * \left(\frac{\pi * (27,5^2)}{4} \right)$$

$$A_{Smín} = 2,38 \text{ cm}^2$$

- Momento Máximo na Estaca

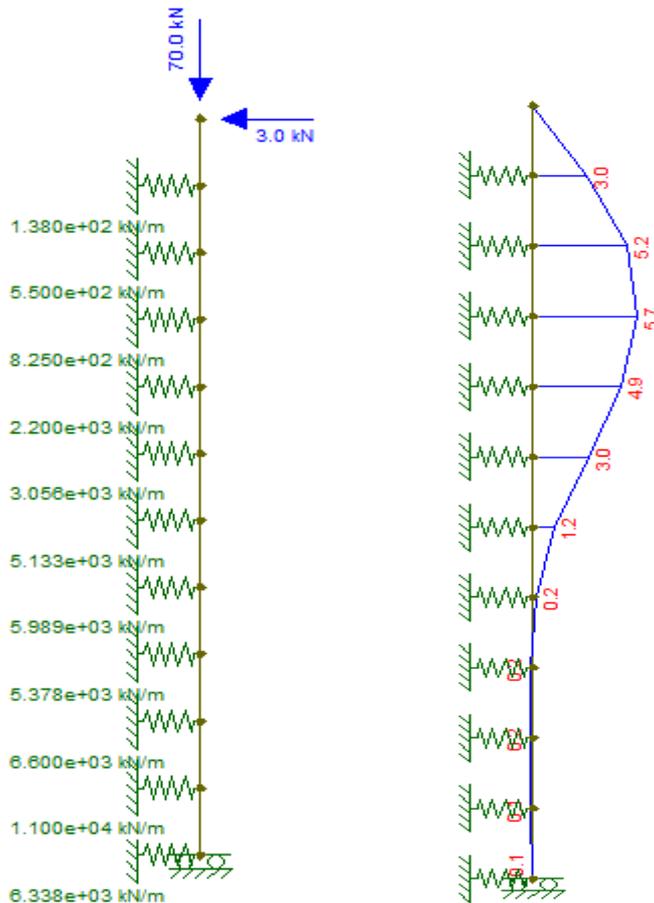
Para determinar o momento máximo na estaca é utilizado a teoria WINKLER, onde através deste modelo é realizado a substituição do solo por molas a cada metro da estaca para análise do comportamento do mesmo com a estaca (ALONSO, 2013).

Tabela : Determinação dos coeficiente de Mola

Profundidade	A_{inf} (m ²)	NSPT	M (KN/m ⁴)	K_{mola} (KN/m)
1	0,138	3	1000	138
2	0,275	3	1000	550
3	0,275	5	1000	825
4	0,275	8	2000	2200
5	0,275	10	2222	3056
6	0,275	14	3111	5133
7	0,275	14	3111	5989
8	0,275	11	2444	5378
9	0,275	12	2667	6600
10	0,275	19	4000	11000
11	0,138	21	4190	6338

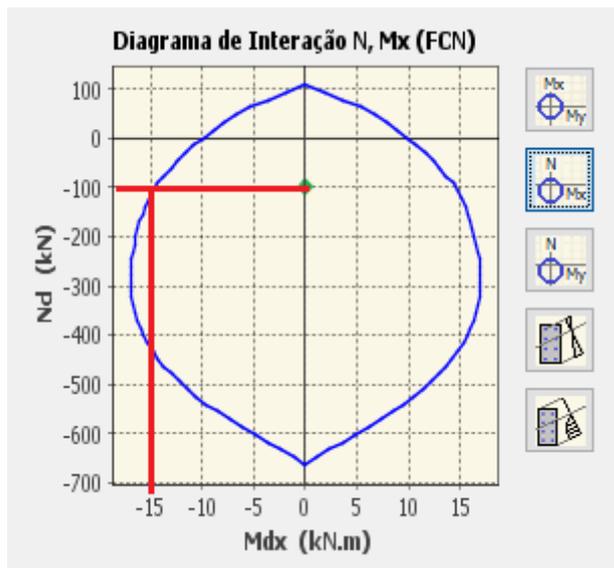
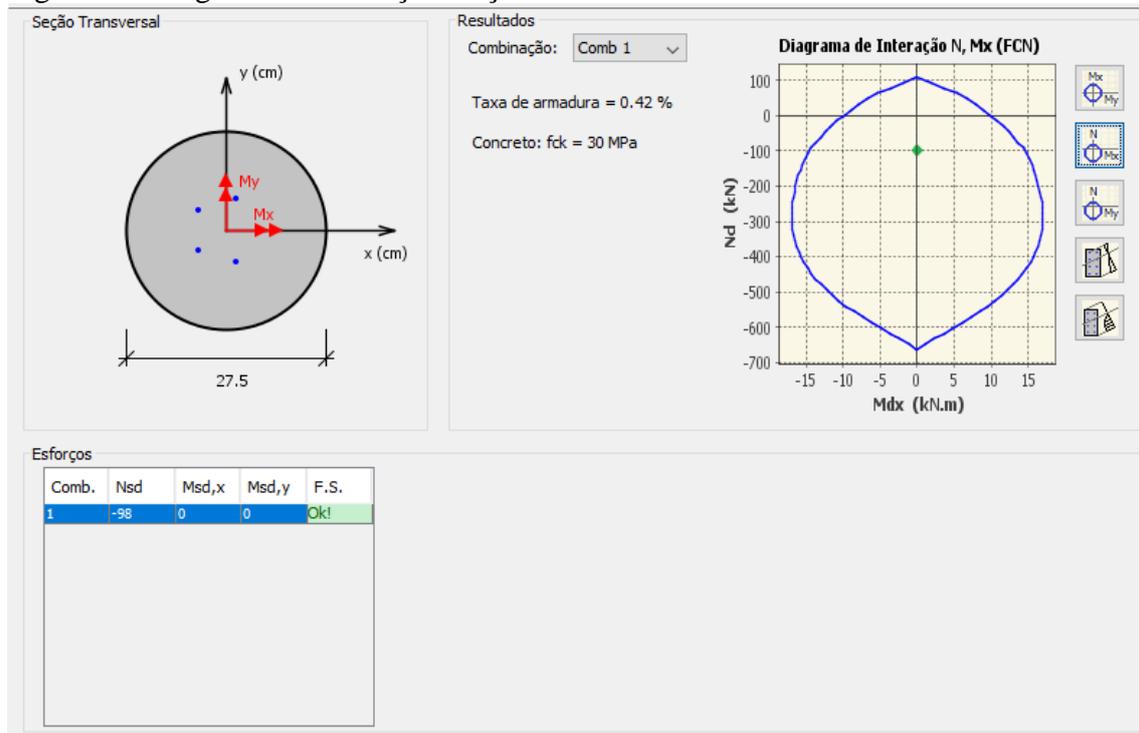
Após o cálculo dos coeficientes de mola pela profundidade, é possível determinar o momento máximo na estaca com auxílio do FTOOL, a partir desta análise o momento máximo é de 5,7KN.m, e está localizado a 3,0m no nível do terreno, segundo a figura 19.

Figura 19: Momento máximo na estaca obtido através do FTOOL.



Para que seja determinado o momento máximo resistente na estaca é utilizado o PCALC, utilizando para a análise de pilares em concreto armado, a partir do diagrama de interação força versus momento figura 20.

Figura 20: Diagrama de interação força versus momento no eixo X.



A partir do diagrama foi encontrado que a estaca apresenta um momento máximo e mínimo de aproximadamente 15 kN.m, ou seja, ela resiste a momento 2,5 vezes maior que o atuante. Em seguida é necessário verificar qual a carga última horizontal a que a estaca pode está submetida, para essa análise é utilizado os gráficos apresentados na figura 14 e 15. (ALOSON, 2013).

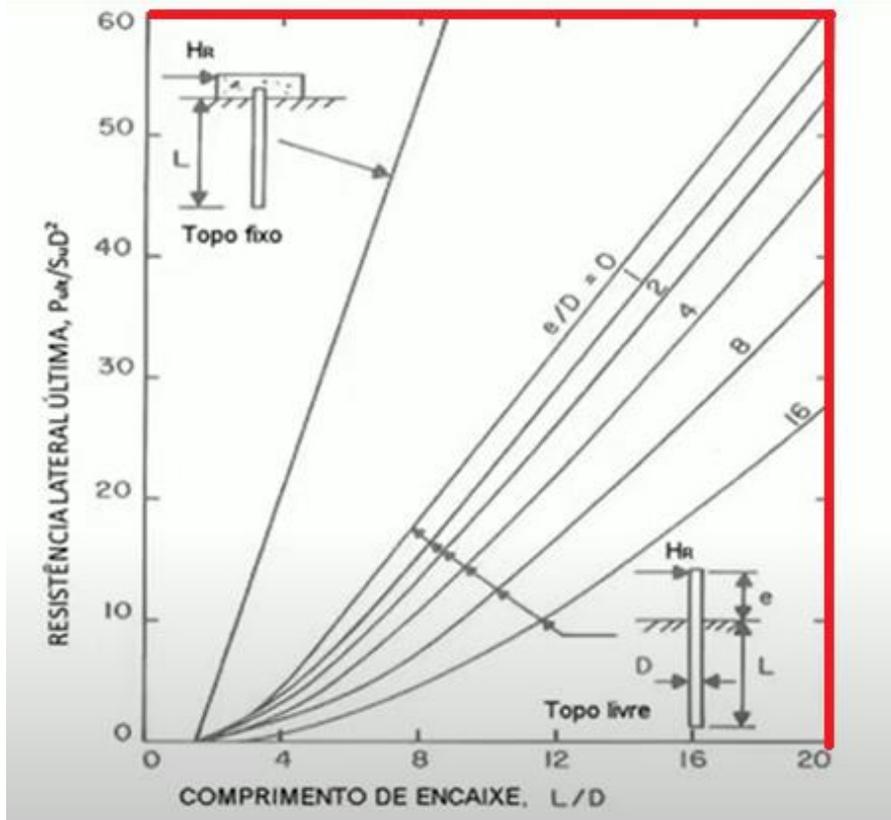
- Análise do primeiro gráfico.

$$Rlu = \frac{L}{\emptyset}$$

$$Rlu = \frac{12}{0,275}$$

$$Rlu = 43,64$$

Figura 20: Ábaco para identificação carga ultima em estacas.



- Análise do segundo gráfico.

$$Su = 0,75 * \text{Coesão}$$

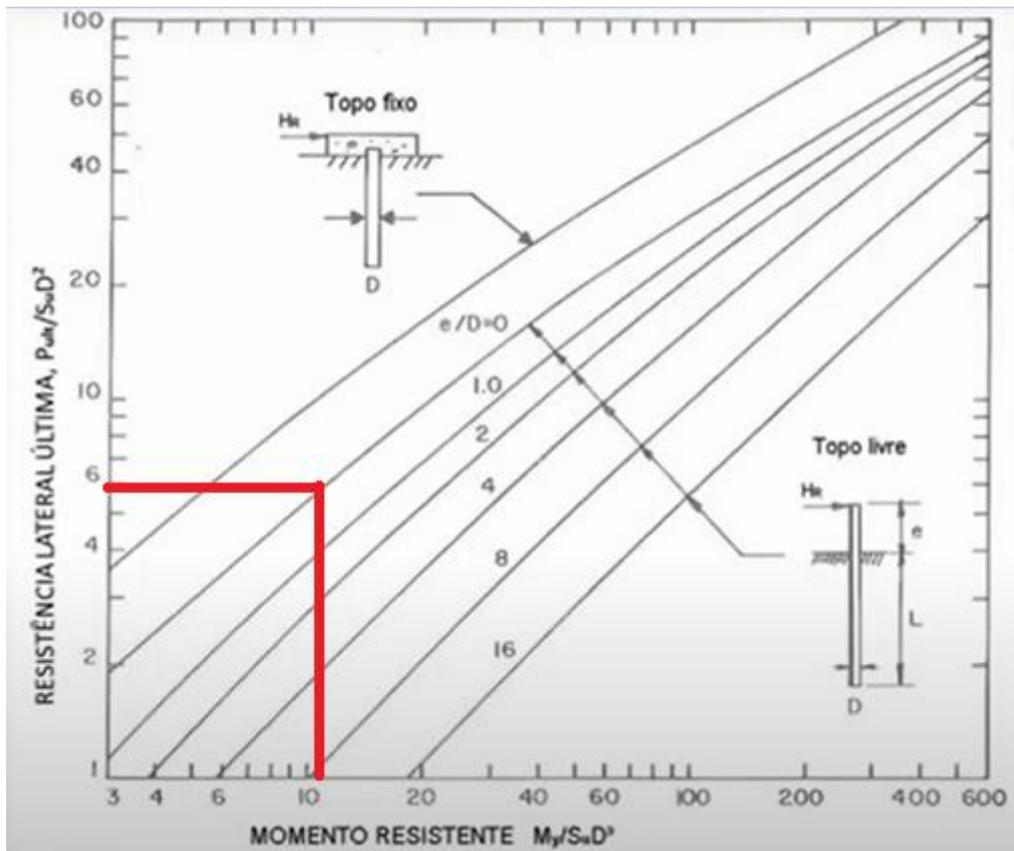
$$Su = 0,75 * 80KPa$$

$$Su = 60KPa$$

$$Rlu = \frac{My}{Su * \emptyset^3}$$

$$Rlu = \frac{15}{60 * (0,275)^3}$$

$$Rlu = 12,021 = 6$$



Como o resultado do segunda ábaco foi menor que o do primeiro será utilizado a resistência lateral última (Rlu) do mesmo.

$$P_{ult} = \frac{R_{lu} * S_u * \varnothing^2}{2}$$

$$P_{ult} = \frac{6 * 60 * (0,275)^2}{2}$$

$$P_{ult} = 13,61 \text{ KN}$$

Utilizando um coeficiente de segurança igual a 2,00 a carga horizontal máxima que a estaca suporta é igual a 13,61 KN, estando submetida a apenas uma carga de 3kN, sendo assim à estaca apresenta estabilidade.

Dados do Projeto:

PILAR											
Nome	Seção (cm)	Carga Máx. (tf)	Carga Mín. (tf)	Mx Máximo (kgf.m)		My Máximo (kgf.m)		Fx Máximo (tf)		Fy Máximo (tf)	
				Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
E1	C30	7	6	1200	-1200	400	-400	1	0	2	-1
E2	C30	3	3	700	-600	100	0	1	0	1	-2
E3	C30	3	3	600	-500	100	0	1	0	1	-2
E4	C30	4	4	200	-500	100	0	1	0	1	0
E5	C30	4	4	100	-200	100	0	1	0	1	0
E6	C30	5	5	100	-200	400	-400	1	0	1	0
E7	C25	8	7	200	-500	200	0	0	0	1	-2
P1	C45	113	74	3100	-4600	800	-1600	0	-1	2	-1
P2	C45	229	197	4500	-4300	600	-2100	0	-3	3	-5
P3	C45	100	79	2100	-2800	800	-1700	1	0	1	-2
P5	C45	170	134	7000	0	700	-2100	1	-1	0	-2
P6	C45	245	92	3800	-5100	1300	-1600	2	0	3	-4
P7	49X62,5	244	197	10500	-14600	5500	-1800	3	0	5	-3
P8	25X70	198	156	1000	-1200	5000	-3300	5	0	1	0
P9	L 90X90X19X19X90°	421	320	34300	-39600	10900	-20300	4	-5	13	-11
P10	25X50	188	120	1100	-1000	1400	-3400	0	-4	0	-2
P11	25X130	597	402	45000	-42200	400	-600	1	0	6	-10
P12	C45	84	68	3600	-5300	1000	-1900	0	-1	2	0
P13	25X74	240	201	10000	-12900	800	-400	2	0	2	-3
P14	19X105	254	110	18200	-17600	600	0	2	0	3	-5
P15	25X50	205	113	4300	-5200	600	-600	2	0	2	-1
P16	19X79	144	78	13300	-12800	100	-1000	0	-3	5	-4
P17	25X74	257	211	9600	-9400	800	-700	0	-1	3	-2
P18	25X40	71	58	1400	-900	900	0	1	0	1	0
P19	C45	240	194	1400	-5700	1300	-1200	2	0	1	0
P20	C45	18	12	3700	-5200	600	-1600	0	-2	1	-1
P21	19X60	162	19	200	-1300	1800	-2800	0	-1	2	0
P22	19X30	11	8	300	-200	400	-300	1	0	0	0
P23	19X50	18	12	3500	-4900	100	-600	0	-1	2	0

Cálculo da Estacas:

Estaca											
Nome	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Rad _m (Mpa)	Nº Estacas	Area Estaca (cm ²)	σ Estaca (Mpa)	Tipo	Barra (mm)	AS Mínina (cm ²)	Nº Barras	Espaçamento (cm)
E1	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	1,30	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
E2	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	0,56	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
E3	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	0,56	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
E4	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	0,74	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
E5	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	0,74	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
E6	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	0,93	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
E7	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	1,48	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
P1	60,00	12,00	693,07	2,00	0,283	2,20	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P2	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	2,23	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P3	60,00	12,00	693,07	2,00	0,283	1,95	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P5	60,00	12,00	693,07	3,00	0,283	2,20	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P6	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	2,38	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P7	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	2,37	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P8	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	1,93	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P9	80,00	12,00	1034,93	5,00	0,503	1,84	Hélice Contínua	16,00	20,11	10	21
P10	60,00	12,00	693,07	3,00	0,283	2,44	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P11	80,00	12,00	1034,93	7,00	0,503	1,87	Hélice Contínua	16,00	20,11	10	21
P12	60,00	12,00	693,07	2,00	0,283	1,63	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P13	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	2,33	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P14	60,00	12,00	693,07	5,00	0,283	1,98	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P15	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	1,99	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P16	60,00	12,00	693,07	3,00	0,283	1,87	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P17	60,00	12,00	693,07	5,00	0,283	2,00	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P18	60,00	12,00	693,07	2,00	0,283	1,38	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P19	60,00	12,00	693,07	4,00	0,283	2,33	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P20	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	3,33	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
P21	60,00	12,00	693,07	3,00	0,283	2,10	Hélice Contínua	12,50	11,31	9	16
P22	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	2,04	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9
P23	27,50	12,00	255,75	1,00	0,059	3,33	Hélice Contínua	8,00	2,38	5	9

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da obtenção dos diagramas de momento fletor e força horizontal pelo cálculo dos diagramas de momento fletor na estaca, é feito o dimensionamento da mesma além de sua armadura longitudinal, com essa armadura é determinado o momento resistente e feito a análise se a estaca resiste a este momento com o valor do momento fletor resistente, em seguida é realizado o cálculo da carga horizontal máxima em que a estaca resiste e com essa força comparar com a atuante, onde a resistente deve ser maior que a atuante.

É de suma importância saber o momento resistente da estaca porque depende do tipo de estaca, diâmetro e de seu comprimento para que seja descoberto sobre seu rompimento, podendo acontecer de duas formas, sendo no solo por ser estacas mais curta, e pode acontecer o rompimento ao longo de seu fruste também através de formulações de rótulas plásticas, e essas rótulas está diretamente relacionada ao momento resistente da seção.

Caso estas ações horizontais e de momento não sejam consideradas no cálculo da fundação, pois são impactos de marés, sismos, e até mesmo ventos, esse ato de não considerar os efeitos pode acontecer de danificar a estrutura e até mesmo acarretar na ruptura da mesma. Então foi realizado análise para que fosse verificado os efeitos de momento e força horizontal.

Após concluir a análise da estaca submetida a carga do pilar E1, é possível verificar o bom desempenho da estaca HCM de 27,5cm de diâmetro, submetida a uma carga vertical de 7tf sendo possível atender até o limite de 25,58tf. Apresentando resistência superior quando verificado as ações horizontais e de momento na sua extremidade está apta para ser executada. Esta análise foi feita para todas as estacas e todas estão aptas para execução.

ANEXO A

BOLETINS DE SONDAGEM

Croquis de locação

Sem escala

Comercial

Orla da Graciosa

Folha: 03



Interessado: Construtora M21	Furo: SP 01
Obra: Comercial	Folha: 04
Local obra: Orla da Graciosa	Data do Laudo: 16/12/20

Descrições do amostrador: Diâmetro externo = 2 1/2" Peso batente= 65 Kg Diâmetro do Revestimento = 2 1/2"
 Diâmetro interno = 1 3/8" Altura da queda = 75 cm Diâmetro da Haste = 1"

Profun- didade	Nº da Amostra	N.A. 24 h	1º+2º 15	2º+3º 15	1º e 2º penetração					*Consistência / **Compacidade	Descrição do Solo
					10	20	30	40	50		
-1,00	01										Areia coloração marrom
-2,00	02		4	5						pouco compacta**	Areia argilosa, coloração amarela
-3,00	03		5	4						fofa**	
-4,00	04		7	8						pouco compacta**	
-5,00	05		13	13						mediamente compacta**	Areia com fragmentos de seixo, coloração variegada
-6,00	06		8	9						mediamente compacta**	
-7,00	07		15	17						mediamente compacta**	
-8,00	08		17	19						compacta**	
-9,00	09		15	14						mediamente compacta**	
-10,00	10		18	18						mediamente compacta**	
-11,00	11		26	28						compacta**	Areia siltosa, coloração variegada
-12,00	12		26	28						compacta**	
-13,00	13		31	33						compacta**	

Nível d'água : 7,45 m	Cota do Furo - RN Arbitrário: 100,45 m
Data do N.A.: 15/12/20	Prof. da sondagem: 12,45 m

Interessado: Construtora M21	Furo: SP 03
Obra: Comercial	Folha: 06
Local obra: Orla da Graciosa	Data do Laudo: 16/12/20

Descrições do amostrador: Diâmetro externo = 2 1/2" Peso batente= 65 Kg Diâmetro do Revestimento = 2 1/2"
 Diâmetro interno = 1 3/8" Altura da queda = 75 cm Diâmetro da Haste = 1"

Profun- didade	Nº da Amostra	N.A. 24 h	1ª+2ª	2ª+3ª	1ª e 2ª penetração					2ª e 3ª penetração					*Consistência / **Compacidade	Descrição do Solo
			15	15	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50		
-1,00	01															Areia siltosa coloração marrom
-2,00	02		2	3											fofa**	Areia siltosa coloração amarela
-3,00	03		3	3											fofa**	
-4,00	04		4	4											fofa**	
-5,00	05		4	4											fofa**	
-6,00	06		9	11											mediamente compacta**	
-7,00	07		11	13											mediamente compacta**	Areia siltosa com pedregulho de seixo, coloração variegada
-8,00	08		13	14											mediamente compacta**	
-9,00	09		13	13											mediamente compacta**	
-10,00	10		9	10											mediamente compacta**	Areia siltosa com fragmentos de seixo, coloração variegada
-11,00	11		18	19											compacta**	
-12,00	12		23	26											compacta**	
-13,00	13		23	23											compacta**	
-14,00	14		30	32											compacta**	
-15,00	15		50	30											dura*	Amostra lavada
-16,00	16		50/9	27/9											dura*	
-17,00	17		50/20	25/05											dura*	

Nível d'água : 7,45 m	Cota do Furo - RN Arbitrário: 100,73 m
Data do N.A.: 17/12/20	Prof. da sondagem: 16,20 m

Interessado: Construtora M21	Furo: SP 04
Obra: Comercial	Folha: 07
Local obra: Orla da Graciosa	Data do Laudo: 11/12/20

Descrições do amostrador: Diâmetro externo = 2 1/2" Peso batente= 65 Kg Diâmetro do Revestimento = 2 1/2"
 Diâmetro interno = 1 3/8" Altura da queda = 75 cm Diâmetro da Haste = 1"

Profundidade	Nº da Amostra	N.A. 24 h	1ª+2ª 15	2ª+3ª 15	1ª e 2ª penetração					2ª e 3ª penetração					*Consistência / **Compacidade	Descrição do Solo
					10	20	30	40	50	10	20	30	40	50		
-1,00	01															Areia com material orgânico, coloração preta
-2,00	02		4	4											fofa**	Areia, coloração amarela
-3,00	03		5	4											fofa**	
-4,00	04		5	5											pouco compacta**	
-5,00	05		10	10											mediamente compacta**	Areia com pedregulho de seixo, coloração variegada
-6,00	06		12	13											mediamente compacta**	
-7,00	07		13	13											mediamente compacta**	
-8,00	08		18	18											mediamente compacta**	
-9,00	09		6	8											pouco compacta**	Areia siltosa com fragmento de seixo, coloração variegada
-10,00	10		11	13											mediamente compacta**	
-11,00	11		17	18											mediamente compacta**	
-12,00	12		16	19											compacta**	
-13,00	13		19	19											compacta**	Areia siltosa , coloração cinza e amarela

Nível d'água : 7,10 m	Cota do Furo - RN Arbitrário: 100,95 m
Data do N.A.: 10/12/20	Prof. da sondagem: 12,45 m
Sondador: Adriano Rodrigues	Coordenadas: 22L 078825

Interessado: Construtora M21	Furo: SP 05
Obra: Comercial	Folha: 08
Local obra: Orla da Graciosa	Data do Laudo: 14/12/20

Descrições do amostrador: Diâmetro externo = 2 1/2" Peso batente= 65 Kg Diâmetro do Revestimento = 2 1/2"
 Diâmetro interno = 1 3/8" Altura da queda = 75 cm Diâmetro da Haste = 1"

Profun- didade	Nº da Amostra	N.A. 24 h	1ª+2ª	2ª+3ª	1ª e 2ª penetração					2ª e 3ª penetração					*Consistência / **Compacidade	Descrição do Solo
			15	15	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50		
-1,00	01															Areia com material orgânico, coloração preta
-2,00	02		4	3												fofa**
-3,00	03		4	2												Areia siltosa, coloração amarela
-4,00	04		6	6												pouco compacta**
-5,00	05		7	7												pouco compacta**
-6,00	06		11	11												mediamente compacta**
-7,00	07		15	15												mediamente compacta**
-8,00	08		8	8												pouco compacta**
-9,00	09		9	11												mediamente compacta**
-10,00	10		7	6												pouco compacta**
-11,00	11		12	14												mediamente compacta**
-12,00	12		15	17												mediamente compacta**
-13,00	13		20	22												compacta**

Nível d'água : 7,12 m	Cota do Furo - RN Arbitrário: 100,72 m
Data do N.A.: 11/12/20	Prof. da sondagem: 12,45 m

ANEXO B
DIMENSIONAMENTO

- Resistência de ponta da estaca:

$$R_p = A_{est} * \frac{K * NSPT}{F_1}$$

$$R_p = 0,059 * \frac{840 * 21}{2}$$

$$\mathbf{R_p = 523,87 KN}$$

- 20% Resistência de ponta da estaca:

$$R_{p20\%} = R_p * 0,20$$

$$R_{p20\%} = 523,87 * 0,20$$

$$\mathbf{R_{p20\%} = 104,77 KN}$$

- Resistência lateral da estaca primeiro metro:

$$R_{l1} = \frac{U}{F_2} * \sum_1^n (\alpha * K * N_l * \Delta l)$$

$$R_{l1} = \frac{0,864}{4} * \sum_1^n (0,020 * 840 * 3 * 1)$$

$$\mathbf{R_{l1} = 10,89 KN}$$

- Resistência lateral da estaca:

$$R_{lt} = \sum_1^n (R_{l1} + R_{l2} + R_{l3} + \dots + R_{l11})$$

$$R_{lt} = \sum_1^n (10,89 + 10,89 + 18,14 + \dots + 72,39)$$

$$\mathbf{R_{lt} = 406,72KN}$$

- Resistência total da estaca:

$$R_t = R_p + R_l$$

$$R_t = 406,72 + 104,77$$

$$\mathbf{R_t = 511,49 KN}$$

- Resistência admissível:

$$R_{adm} = \frac{R_t}{2}$$

$$R_{adm} = \frac{511,49}{2}$$

$$\mathbf{R_{adm} = 255,75 KN}$$

- Número de estacas:

$$N_{est} = \frac{1,1 * P}{R_{adm}}$$

$$N_{est} = \frac{1,1 * 70}{203,36}$$

$$\mathbf{N_{est} = 1}$$

- Carga efetiva na estaca:

$$q_{ef} = \frac{1,1 * P}{N_{est}}$$

$$q_{ef} = \frac{1,1 * 70}{1}$$

$$\mathbf{q_{ef} = 77,00 KN}$$

- Tensão na estaca:

$$\sigma_{est} = \frac{qef}{A_{est}}$$

$$\sigma_{est} = \frac{77,00}{0,059}$$

$$\sigma_{est} = 1,30 \text{ MPa}$$

- Área de aço na estaca:

$$A_{Smín} = \frac{0,4}{100} * A_c$$

$$A_{Smín} = \frac{0,4}{100} * \left(\frac{\pi * (27,5^2)}{4} \right)$$

$$A_{Smín} = 2,38 \text{ cm}^2$$

- Número de barras de aço na estaca:

$$Nb = \frac{A_{Smín}}{A_{barra}}$$

$$Nb = \frac{2,38}{0,5}$$

$$Nb = 5 \text{ Barras}$$

- Espaçamento das barras de aço na estaca:

$$Esp = \frac{\pi * \emptyset}{Nb}$$

$$Esp = \frac{\pi * 27,5}{5}$$

$$Esp = \frac{\pi * (27,5 - (2 * 7))}{5}$$

$$Esp = 9 \text{ cm}$$

9. REFERÊNCIAS

Roberto de Carvalho Sulmoneti. Estudo de métodos construtivos industrializados, 2018.

Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24126/1/M%C3%A9todosConstrutivosIndustrializados.pdf>

Otávio henrique garcia de almeida. Análise do comportamento de estacas verticais submetidas a ações horizontais, 2017. Disponível em:

<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6438/1/analisecomportamentoestacasverticais.pdf>
file:///E:/CESAR/Downloads/pdfcoffee.com_nbr-64842020-solo-sondagem-de-simples-reconhecimento-pdf-free.pdf

Qi Suporte, Cargas horizontais nas fundações, Luis Filipe Longo. Disponível em:

<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115002164614-Cargas-horizontais-nas-funda%C3%A7%C3%B5es->

Mapa da obra, sondagem do solo é essencial para conhecer as características do terreno.

Disponível em: [https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/sondagem-do-solo-e-essencial-para-conhecer-as-caracteristicas-do-](https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/sondagem-do-solo-e-essencial-para-conhecer-as-caracteristicas-do-terreno/#:~:text=Primeira%20etapa%20do%20processo%20construtivo,em%20qualquer%20tipo%20de%20obra.&text=Com%20a%20sondagem%20do%20solo,do%20len%C3%A7ol%20fre%C3%A1tico%2C%20caso%20exista)

[terreno/#:~:text=Primeira%20etapa%20do%20processo%20construtivo,em%20qualquer%20tipo%20de%20obra.&text=Com%20a%20sondagem%20do%20solo,do%20len%C3%A7ol%20fre%C3%A1tico%2C%20caso%20exista](https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/sondagem-do-solo-e-essencial-para-conhecer-as-caracteristicas-do-terreno/#:~:text=Primeira%20etapa%20do%20processo%20construtivo,em%20qualquer%20tipo%20de%20obra.&text=Com%20a%20sondagem%20do%20solo,do%20len%C3%A7ol%20fre%C3%A1tico%2C%20caso%20exista)

Ipog Blog, Tipos de fundações: qual a importância em uma obra e como escolher o mais

adequado, 2019. Disponível em: <https://blog.ipog.edu.br/engenharia-e-arquitetura/tipos-de-fundacoes/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20funda%C3%A7%C3%A3o%20de,viadutos%20ou%20qualquer%20grande%20edifica%C3%A7%C3%A3o.>

MJR Engenharia, Tipos de estacas utilizadas na construção civil, 2018. Disponível em:

<https://mjrengharia.com.br/noticias/tipos-de-estacas-utilizadas-na-construcao-civil/#:~:text=As%20estacas%20s%C3%A3o%20elementos%20de,resist%C3%Aancia%20de%20ponta%20da%20estaca.>

Guia da engenharia, Cálculo de estacas por Aoki-Velloso e Décourt-Quaresma, Filipe Marinho, 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/calculo-estacas-capacidade-carga/>

Guia da engenharia, Capacidade de carga de estacas: exemplo resolvido, Filipe Marinho, 2019. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/capacidade-carga-estacas-exemplo/>

Engenheiro no canteiro, Fundações – Teoria e Prática, Giuliano Tognetti. Disponível em: <https://engenheironocanteiro.com.br/calculo-da-capacidade-de-carga-de-fundacoes-em-estacas-pelo-spt/>

Nelsoschneider, Estaca Broca: O Guia COMPLETO para Dimensionamento e Execução, 2019. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/estaca-broca/>

NBR 6484_2020 - Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio, 2020. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/nbr-64842020-solo-sondagem-de-simples-reconhecimento-pdf-free.html>

Dimensionamento de fundação profunda: estudo de caso de uma obra em Patos de Minas, João Paulo De Carvalho Santos, 2017. Disponível em: <https://www.finom.edu.br/assets/uploads/cursos/categoriasdownloads/files/20190312170344.pdf>

UNIPAR, Comparativo entre ensaio de sondagem à percussão manual e mecânica: um estudo de caso na região oeste do paraná. Disponível em: <https://tcc.unipar.br/files/tccs/a3ca33ba22e13e0f843ec13bfda7859d.pdf>

Escola engenharia, Fundações profundas, 2019. Disponível em: [https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/#:~:text=Funda%C3%A7%C3%B5es%20profundas%20s%C3%A3o%20aquelas%20em,\(lateral\)%20ou%20por%20ambas.](https://www.escolaengenharia.com.br/fundacoes-profundas/#:~:text=Funda%C3%A7%C3%B5es%20profundas%20s%C3%A3o%20aquelas%20em,(lateral)%20ou%20por%20ambas.)

APL Engenharia, Entenda o que são fundações profundas e saiba quando usar, 2019. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/entenda-o-que-sao-fundacoes-profundas-e-saiba-quando-usar/>

Nelsoschneider, Fundações Profundas: Definição, quando são utilizadas e quais são os tipos, 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/fundacoes-profundas/>

Estudo dos tipos de fundações de edifícios de múltiplos pavimentos na região metropolitana de fortaleza, Victor Diego De França Braga. Disponível em:

http://www.deecc.ufc.br/Download/Projeto_de_Graduacao/2009/Estudo%20dos%20Tipos%20de%20Fundacoes%20de%20Edificios%20de%20Multiplos%20Pavimentos%20na%20Regiao%20Metropolitana%20de%20Fortaleza.pdf

APL Engenharia, Fundação em estacas hélice contínua: entenda como funciona, 2019.

Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/fundacao-em-estacas-helice-continua-entenda-como-funciona/#:~:text=A%20estaca%20h%C3%A9lice%20cont%C3%ADnua%20monitorada,trad,o%20simultaneamente%20%C3%A0%20sua%20retirada.>

Escola engenharia, Estaca Hélice Contínua – Vantagens e Desvantagens, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-helice-continua/>

Escola engenharia, Estaca Raiz: Características, Processo Executivo, Vantagens e Desvantagens, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/estaca-raiz/>