UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THIAGO ALEXANDRE ALVES DE LIMA

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO ENTRE PROJETOS DE FUNDAÇÃO POR ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA, PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO E PERFIL METÁLICO

Orientadora: Profa. D.Sc. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Caruaru - PE
2022

THIAGO ALEXANDRE ALVES DE LIMA

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO ENTRE PROJETOS DE FUNDAÇÃO POR ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA, PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO E PERFIL METÁLICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Área de concentração: Geotecnia

Orientadora: Profa. D.Sc. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Caruaru

2022

Estudo de caso: comparativo entre projetos de fundação por estacas tipo hélice contínua, pré-moldadas de concreto e perfil metálico

Case study: comparison between foundation projects by continuous flight auger pile, pre-cast concrete and steel piles

---

RESUMO

Com a constante evolução da engenharia de fundações, várias soluções de estaqueamento vêm sendo desenvolvidas e lançadas no mercado da construção civil com a promessa de maior produtividade e capacidade de carga, ausência de vibração, aliados a um custo competitivo. O presente artigo tem como objetivo comparar, em termos de viabilidade técnica e econômica, uma fundação já dimensionada e executada do tipo hélice contínua, com fundação de estacas pré-moldadas de concreto armado e uma outra fundação tipo perfil metálico, de uma obra localizada na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco. A capacidade de carga foi determinada pelo método de Aoki-Velloso (1975), o qual faz uso de resultados de sondagem a percussão de simples reconhecimento. A fundação hélice contínua do projeto original foi redimensionada para estacas pré-moldadas de concreto armado e estacas metálicas, incluindo os respectivos blocos de coroamento. Foi elaborado um comparativo de custo entre os três sistemas de fundação, sendo possível a análise e discussão de qual tipo de fundação fornece o melhor custo-benefício, considerando as vantagens e desvantagens. A opção referente a fundação em estacas hélice contínua apresentou-se como a de menor custo (R$ 92.546,03). A opção referente a estacas pré-moldada de concreto armado teve um custo 68,05% maior (R$ 155.519,07) e a de perfil metálico 158,97% maior (R$ R$ 239.670,12). Os blocos de coroamento para estaca metálica são os mais dispendiosos (R$ 23.241,35), os blocos para estaca hélice contínua são 47,51% mais econômicos (R$ 12.198,46) e os blocos para estaca pré-moldada de concreto são os mais em conta (R$ 10.519,02). Considerando-se apenas as estacas e a mão de obra necessária para sua execução, a estaca metálica se destaca como a alternativa mais onerosa (R$ 216.426,87), as estacas pré-moldadas e hélice contínua têm custo 33,00% (R$145.000,0) e 62,88% (R$ 80.347,57) menor, respectivamente.

Palavras-chave: Capacidade de carga. Fundação profunda. Viabilidade técnica e econômica.

ABSTRACT

With the constant evolution of foundation engineering, several pile foundation solutions have been developed and launched in the civil construction market with the promise of greater productivity and load capacity, absence of vibration, combined with a competitive cost. This article aims to compare, in terms of technical and economic feasibility, an already designed and executed foundation of continuous flight auger pile, with one of precast reinforced concrete piles and one of steel piles, of an analyzed construction site in the Recife metropolitan area, in Pernambuco state. The load capacity will be determined by the method of Aoki-Velloso (1975), which uses Standard Penetration Test (SPT). The original continuous flight auger pile foundation will be resized to precast reinforced concrete piles and steel piles, including the respective pile caps. A cost comparison between the three foundation systems will be elaborated, being possible, therefore, the analysis and discussion of which type of foundation provides the best cost-effectiveness, considering the advantages and disadvantages. The option referring to the foundation in continuous flight auger pile presented the lowest cost (R$ 92,546.03). The option referring to precast reinforced concrete piles had a cost 68.05% (R$ 155,519.07) higher while steel piles were 158.97% more expensive (R$ 239,670.12). Pile caps for steel piles are the most expensive (R$ 23,241.35), caps for continuous flight auger pile are 47.51% more economical (R$ 12,198.46) and caps for precast reinforced concrete piles are the cheapest (R$ 10,519.02). Considering only the piles and the labor needed for their execution, the steel piles stand out as the most expensive alternative (R$ 216,426.87), the precast and continuous flight auger piles have a cost 33.00% (R$145,000.00) and 62,88% (R$ 80,347.57) lower, respectively.

Keywords: Load capacity. Deep foundation. Technical and economic feasibility.

1 INTRODUÇÃO

Frequentemente, as construtoras fazem engenharia de valor em busca da melhor alternativa para o equilíbrio entre redução de custos, qualidade e segurança da obra.

Estacas hélice contínua são produzidas no mesmo local em que serão aplicadas, executadas enchendo-se de concreto, perfurações previamente executadas no terreno após perfuração com equipamento helicoidal contínuo, que retira o solo conforme se realiza a escavação, e injeta o concreto simultaneamente, utilizando a haste central desse mesmo trado. Atualmente, a estaca

do tipo hélice contínua vem se destacando no cenário da engenharia de fundação, principalmente nos grandes centros urbanos. Nestas localidades, faz-se o uso desta tecnologia devido, principalmente, a sua produtividade e a não produção de ruídos e vibrações às edificações vizinhas (VASCONCELLOS, 2017).

Estacas pré-moldadas de concreto são concretadas em fábrica e enviadas para a obra para cravação por meio de bate-estacas. Suas principais vantagens são relacionadas as suas possibilidades executivas e no seu modo de produção. Aquele benefício diz respeito a sua capacidade de ultrapassar a cota do nível d`água e este, ao seu alto controle tecnológico de seus materiais constituintes (SIPRIANO, 2007).

Estacas metálicas são constituídas de perfis laminados ou soldados, tubos de chapas dobradas e trilhos. As estacas de aço devem resistir à corrosão pela própria natureza do aço ou por tratamento adequado, porém dispensam tratamento se estiverem inteiramente enterradas em terreno natural. Possuem vantagens como, não haver trincas e fissuração, possuírem pouca vibração durante sua cravação (FERNANDES, 2017).

Segundo levantamento feito e apresentado pela Revista Construção Mercado, do estado de São Paulo, a pré-moldada se apresentou 44,79% mais barata em relação à hélice contínua e 47,01% em relação ao perfil metálico. Em outro estudo apresentado na mesma revista comparou-se a estaca hélice contínua com a estaca de concreto pré-moldado, tendo vencido esta última com economia de 33,4% (VASCONCELLOS, 2021).

Este artigo apresenta um estudo comparativo entre o uso de fundações por estacas tipo hélice contínua, pré-moldadas de concreto armado e metálicas de uma obra localizada na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco. Trata-se de uma estrutura comercial simples de pavimento térreo e primeiro andar, baixa cargas e subsolo constituído basicamente de material arenoso, e fundação executada constituída por 30 estacas hélice contínua.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

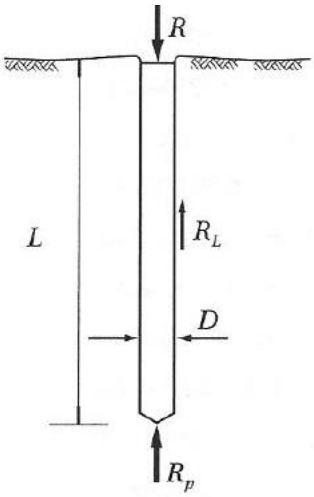
2.1. Capacidade de carga

O Método Aoki-Velloso (1975) foi desenvolvido a partir de correlações entre os ensaios de cone (CPT) e ensaios SPT. O método consiste em determinar duas parcelas da carga transmitida pela fundação ao solo e somá-las ao final. As parcelas são a resistência lateral e a resistência de

ponta. A resistência lateral acontece devido ao atrito lateral (no caso das areias) ou adesão (argilas) entre estaca e solo.

A resistência lateral é a carga que é transmitida ao solo ao longo de todo o comprimento da estaca através de sua área lateral, já a resistência de ponta é referente à carga que é transmitida ao solo somente pela "base", ou ponta, da estaca, ou seja, não é acumulada ao longo da profundidade, como a resistência lateral, conforme esquema da Figura 1.

Figura 1 – Parcelas de resistência que constituem a capacidade de carga



Fonte: Cintra e Aoki (2010)

Então, calcula-se a capacidade de carga pelas equações 1, 2 e 3:

$$R = R_L + R_P \quad (1)$$

$$R_L = \frac{U}{F2}\sum_1^n(\alpha * K * N_L * \Delta_L) \quad (2)$$

$$R_P = A_p * \frac{K*N_P}{F1} \quad (3)$$

Sendo: A_p - área da base da estaca; A_L - área lateral ao longo de todo o comprimento da estaca; K e α: valores tabelados que variam de acordo com a natureza do solo, conforme a Figura 2; $F1$ e $F2$ – fatores de correção tabelados que variam de acordo com o tipo de estaca, conforme a Figura 2; U - perímetro da estaca; N_L- índice de resistência à penetração do solo (Nspt) médio na camada de espessura Δ_L; N_P - índice de resistência à penetração do solo (Nspt) na cota de apoio da ponta da estaca.

Figura 2 – Valores de K, α , F1 e F2

Tab. 1.3 Coeficiente K e razão de atrito α

Solo	K (MP_a)	α (%)
Areia	1,00	1,4
Areia siltosa	0,80	2,0
Areia siltoargilosa	0,70	2,4
Areia argilosa	0,60	3,0
Areia argilossiltosa	0,50	2,8
Silte	0,40	3,0
Silte arenoso	0,55	2,2
Silte arenoargiloso	0,45	2,8
Silte argiloso	0,23	3,4
Silte argiloarenoso	0,25	3,0
Argila	0,20	6,0
Argila arenosa	0,35	2,4
Argila arenossiltosa	0,30	2,8
Argila siltosa	0,22	4,0
Argila siltoarenosa	0,33	3,0

Fonte: Aoki e Velloso (1975).

Tab. 1.4 Fatores de correção F_1 e F_2

Tipo de estaca	F_1	F_2
Franki	2,50	5,0
Metálica	1,75	3,5
Pré-moldada	1,75	3,5

Fonte: Aoki e Velloso (1975).

Fonte: Cintra e Aoki (2010)

2.2. Dimensionamento da armadura para estaca hélice contínua

O dimensionamento da armadura para estaca hélice contínua inicia-se pelo cálculo da área da estaca (Equação 4). Em seguida, são calculadas a tensão de compressão simples solicitante na estaca (Equação 5). Esta tensão tem de atender as condições apresentadas na Equação 6 e 7, e caso ela não atenda, é necessário apenas o uso da armadura mínima recomendada de 0,4% da área, para estacas hélices contínuas de acordo com a NBR6122:2019.

$$A_{EST} = \frac{\pi * {\varphi_{EST}}^2}{4} \quad (4)$$

$$\sigma_{sd} = \frac{P_{ADM}}{A_{EST}} \quad (5)$$

$$\sigma_{sd} \leq 0{,}85 f_{cd} \quad (6)$$

$$\sigma_{sd} \geq 6MPa \quad (7)$$

Sendo: f_{cd} – resistência de projeto do concreto e P_{ADM} – carga admissível da estaca

A armadura principal, barras longitudinais da estaca, é calculada pela Equação 8. A equação 9 delimita o valor de alguns coeficientes da equação 8.

$$A_{SP} = \frac{P_{ADM} * \left(1 + \frac{6}{\varphi_{EST}}\right) - 0{,}85 f_{cd} * A_{EST}}{f_{yd}} \quad (8)$$

com os fatores $1 + \frac{6}{\varphi_{EST}} \geq 1{,}1$ e $f_{yd} \leq \begin{cases} \frac{f_{yd}}{1{,}15} \\ 0{,}2E_C \end{cases}$ (9)

A armadura mínima e a quantidade de barras são dadas pelas Equações 10 e 11, respectivamente.

$$A_{Smin} = 0{,}4\% * A_{EST} \quad (10)$$

$$N_s = \frac{A_{SP}}{A_{\varphi s}} \quad (11)$$

Sendo: $A_{\varphi s}$ - área da seção transversal da barra escolhida

A partir do cálculo da resistência lateral equivalente da estaca (Equação 12), determina-se o comprimento da armadura pela Equação 13.

$$Rleq \leq P_{ADM} - 0{,}5A_{EST} \quad (12)$$

$$ls = \frac{Rleq * l_{EST}}{R_L} \quad (13)$$

As Equação 14, 15 e 16 determinam a bitola do estribo, o espaçamento e a quantidade de estribos, respectivamente, O diâmetro e o comprimento dos estribos são calculados pelas Equações 17 e 18 respectivamente.

$$\varphi_{EST} \geq \begin{cases} \frac{1}{4}\varphi s \\ 6{,}3mm \end{cases} \quad (14)$$

$$S \leq \begin{cases} 12\ \varphi s \\ 20\ cm \end{cases} \quad (15)$$

$$N = \frac{ls}{S} \quad (16)$$

$$d_{Estri} = \varphi_{EST} - 2 * c \quad (17)$$

$$l_{Estri} = \pi * d_{Estri} + 10 \quad (18)$$

Sendo: c – cobrimento nominal.

2.3. Dimensionamento dos blocos de coroamento

A ABNT NBR 6118:2014 define os blocos como sendo estruturas de volume que são utilizadas para transferir as estacas e aos tubulões as solicitações da fundação. A definição de estruturas de volume significa que este elemento possui suas 3 dimensões de mesma ordem de grandeza, assim, a distribuição de tensões no interior do bloco é um caso à parte, diferindo do comportamento de estruturas planas (lajes) ou lineares (vigas e pilares).

Para dimensionamento de blocos, segundo a metodologia de Alonso (1983) e Carvalho (2009), a dimensão lateral do bloco (comprimento e largura) é dada pela Equação 19.

$$B = \varphi_{EST} + 2 * 15 \tag{19}$$

A altura é calculada pela Equação 20.

$$h \geq \begin{cases} 1{,}2 * \varphi_{EST} \\ lb + \varphi_{sb} - 10 \end{cases} \tag{20}$$

$$\text{com } lb = 26 * \varphi_{sb} \tag{21}$$

Sendo: φ_{sb} – diâmetro do aço usado no bloco; φ_{EST} – diâmetro da estaca; lb- comprimento de ancoragem mínima.

A armadura do bloco é composta por estribos verticais e horizontais, como na Figura 6. Os estribos horizontais são calculados com as Equações 22, 23 e, 24.

$$A_{EH} = 0{,}10\% * B * h \tag{22}$$

$$N_{EH} = \frac{A_{EH}}{A\varphi_{sb}} \tag{23}$$

$$l_{EH} = 4(B - 2c) + 2 * 10 \tag{24}$$

Sendo: A_{EH} - área necessária de aço de estribos horizontais; N_{EH} - Número de estribos horizontais; $A\varphi_{sb}$- área da bitola do aço usado do bloco; l_{EH} - comprimento dos estribos horizontais em centímetros; c – cobrimento mínimo

Os estribos verticais são calculados com as Equações 25, 26 e, 27.

$$A_{EV} = 0{,}15\% * B * h \quad (25)$$

$$N_{EV} = \frac{A_{EV}}{A\varphi_{sb}} \quad (26)$$

$$l_{EV} = 2(B - 2c) + 2(h - 10c) + 2 * 10 \quad (27)$$

Sendo: A_{EV} - área necessária de aço de estribos verticais; N_{EV} - Número de estribos verticais; $A\varphi_{sb}$- área da bitola do aço usado do bloco; l_{EV} - comprimento dos estribos horizontais em centímetros; c – cobrimento mínimo.

Para o caso das estacas metálicas, foi utilizado como referência para o dimensionamento do bloco de concreto o manual de estacas metálicas da Gerdau (GERDAU, 2008). Para o dimensionamento da armadura de aço do bloco seguiu-se a mesma metodologia das outras estacas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

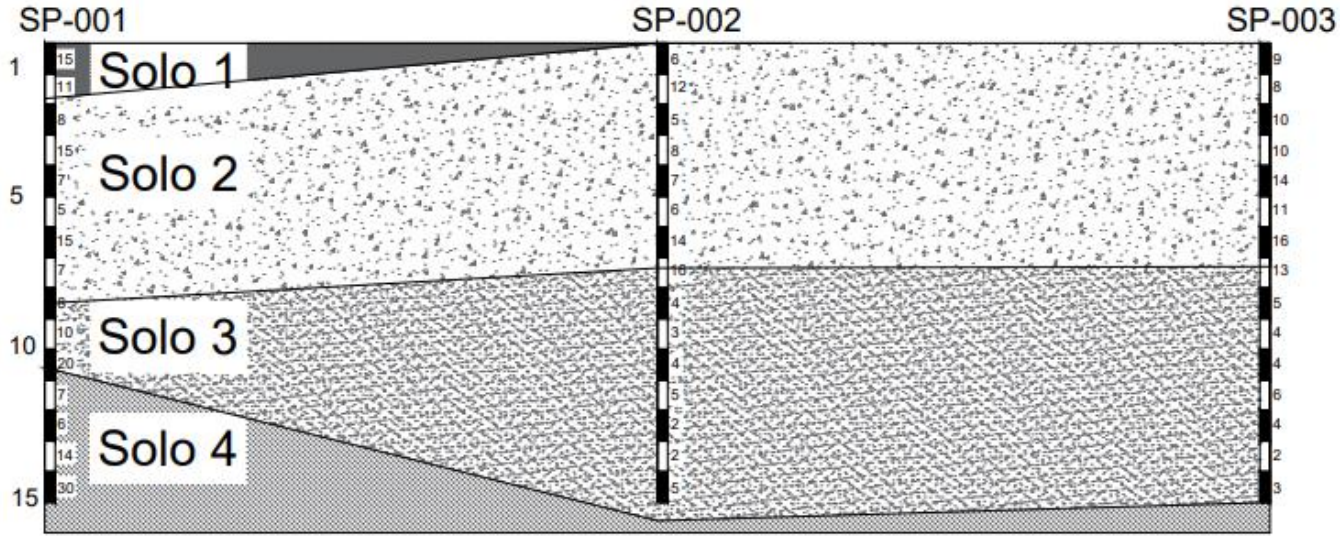
3.1. Descrição da obra e do terreno de fundação

A obra em estudo localiza-se no município de Jaboatão dos Guararapes, região metropolitana do recife. Trata-se de uma estrutura comercial com dois pavimentos, feita em alvenaria estrutural. Em virtude das características geotécnicas do terreno e da transmissão de cargas da edificação para solo, o projeto contemplou em 30 estacas hélice contínua com diâmetro de 25 cm e comprimentos estimado de 10 m. O valor médio de solicitação das estacas (carga de trabalho) é igual a 250,0 KN (SANTOS, 2021).

As sondagens realizadas no local mostraram, em geral, um perfil de solo de fundação heterogêneo, composto, inicialmente, por uma camada de argila arenosa e siltosa, medianamente compacta, variando até as cotas -1,0 e -2,0 m, seguida por uma camada de areia siltosa, medianamente compacta, variando até as cotas -2,0 a -9,0 m. A camada seguinte é composta por argila, com consistência média, variando até as cotas -9,0 a -15,0 m, finalizando com uma camada de areia fina, medianamente compacta, até o limite das sondagens, nas cotas -15,0 a -20,0 m. O nível d´água freático foi encontrado em torno da cota 1,80m. As sondagens estudadas nesta obra, para a determinação da capacidade de carga das estacas, são as seguintes: SP-001, SP-002 e SP-003, contendo a seguinte classificação do solo nas camadas: Solo 1

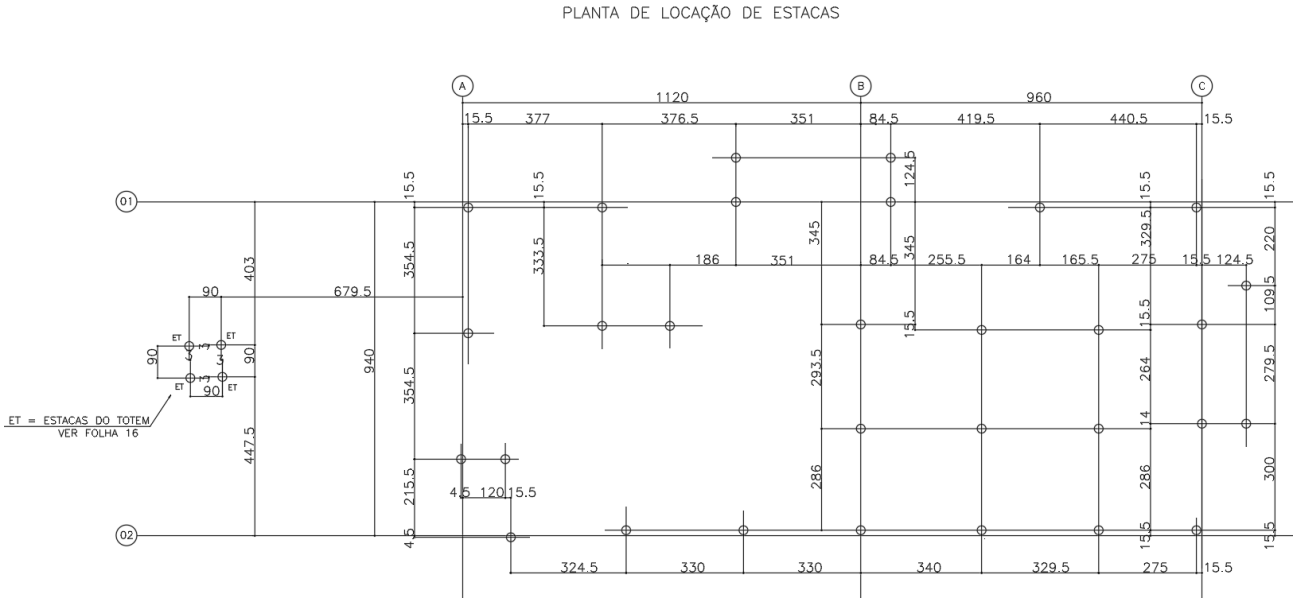
(Argila Arenosa e Siltosa), Solo 2 (Areia Siltosa), Solo 3 (Argila) e Solo 4 (Areia Fina), conforme a (Figura 2). A Figura 3 mostra a planta de locação das estacas.

Figura 2 – Perfil geotécnico típico



Fonte: Santos (2021)

Figura 3 – Planta de locação das estacas.



Fonte: Santos (2021)

3.2. Metodologia utilizada para cálculo da capacidade de carga

Para o cálculo da capacidade de carga foi utilizado o método Aoki e Velloso (1975). Por se tratar de um método semiempírico e não ter havido prova de carga estática nas estacas, considerou-se o fator de segurança global igual a 2, conforme recomendação dos autores.

Com os resultados da capacidade de carga para cada tipo de estaca, é possível a escolha das dimensões dessas estacas com auxílio de catálogos técnicos, a depender do tipo de estaca:

- Para as estacas hélice contínua, utilizou-se catálogo da Geofix Fundações (GEOFIX, 2012).
- Para as estacas pré-moldadas de concreto foi usado os diâmetros comerciais de estacas da empresa Benapar (2020), sendo as estacas de concreto armado e seção circular. A escolha da estaca circular se deu por conta das pesquisas com areias de Vesic (1963), que mostraram que o atrito lateral é sempre maior para as estacas circulares, aumentando esta diferença de 17% até 78% com o aumento da compacidade. E dos resultados dos ensaios em argilas de Jaime et al (1992) que chegaram à conclusão de que o coeficiente de redução da capacidade da carga a ser adotado para estacas quadradas em relação às circulares é de 0,75% (apud DECÓURT, 1998).
- Para as estacas metálicas, foi utilizado o catálogo comercial da Gerdau (2015), maior empresa brasileira produtora de aço, sendo a seção transversal dessas estacas no formato de H.

3.3. Metodologia utilizada para dimensionamento das estacas e dos blocos

No dimensionamento da armadura na estaca hélice contínua foram utilizados como parâmetros a NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto – procedimento e a NBR6122:2019 Projeto e execução de fundações.

Com as estacas pré-moldadas de concreto armado, o dimensionamento estrutural é feito pela empresa fornecedora tomando como referência a NBR 9062:2017 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

A capacidade de carga estrutural das estacas metálicas presente no catálogo da Gerdau é calculada utilizando como parâmetro a NBR 8800:2008 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

Devido às características de projeto, foram utilizados um bloco por estaca, sendo os blocos devidamente travados por vigas baldrames por toda a estrutura, evitando assim a transmissão momentos fletores para as estacas. Os cálculos feitos foram baseados na metodologia de Alonso (1983) e Carvalho (2009), também no catálogo da Gerdau para estacas metálicas (GERDAU, 2008).

3.3. Comparativo de custos

Para o levantamento de custos de cada uma das estacas e blocos usou-se a tabela SINAPI de setembro de 2022 para Pernambuco, para obtenção do valor médio de alguns insumos como o concreto usinado bombeável e vergalhões de aço. Para o preço dos perfis metálicos, recorreu-se à Gerdau (GERDAU, 2015).

Os valores para cravação das estacas metálicas e pré-moldadas de concreto, taxa de mobilização e custos de execução foram obtidos a partir de uma média de preços com os principais prestadores desses serviços na Região Metropolitana do Recife. Sendo alguns desses: Solossantini Fundações Especiais, Recon construções e Fundações Rossi.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Capacidade de carga

Foi calculada a capacidade de carga para as três sondagens disponibilizadas e, a partir dessas, obteve-se a resistência média ($R_{MÉD}$) de cada tipo de estaca (Tabela 1). A estaca tipo hélice continua apresentou maior valor de resistência média ($R_{MÉD}$= 580,35 kPa), seguida pela estaca pré-moldada de concreto ($R_{MÉD}$= 550,57 KN) e da estaca metálica ($R_{MÉD}$= 500,87 kN).

Tabela 1 - Resistência das estacas em função das sondagens pelo método Aoki-Velloso (1975).

Resistência das Estacas Método Aoki-Velloso (KN)			
Capacidade de Carga	**E1***	**E2***	**E3***
RL (SP001)	524,44	439,08	516,78
RP (SP001)	288,49	182,35	14,43
R (SP001)	812,93	621,43	531,21
RL (SP002)	404,43	444,16	450,01
RP (SP002)	19,23	36,47	0,96
R (SP002)	423,66	480,63	531,21
RL (SP003)	465,98	513,19	518,49
RP (SP003)	38,47	36,47	1,92
R (SP003)	504,44	549,66	520,42
Rméd	580,35	550,57	500,87

E1 estaca hélice contínua, E2 estaca pré-moldada de concreto, E3 estaca metálica.

Fonte: Autor (2022)

Foram testados os diâmetros e perfis comerciais das estacas, buscando obter o que mais se aproximava dos 500KN de resistência desejados para a estaca. Para ultrapassar os 500 KN de resistência média, foi necessário um diâmetro de 35cm para a estaca hélice contínua e 12 m de

comprimento. Para a estaca pré-moldada de concreto armado um diâmetro de 28cm e comprimento de 10 m. A estaca metálica usa o perfil H da Gerdau W250 X 32,7, o qual possui perímetro de 107 cm, área de ponta de 42,1 cm² e 12 m de comprimento.

3.3 Armadura da estaca hélice contínua

Somente a armadura mínima foi necessária para as estacas hélice contínuas, já que a tensão de compressão simples na estaca não ultrapassa os 6,0 MPa determinados por norma. A armadura longitudinal conta com 5 barras de aço CA-50 de 10mm e 4 m de comprimento. Os estribos, que são circulares, tem bitola de 6,3mm, espaçamento de 12 cm, comprimento de 89cm e 25cm de diâmetro externo. São necessários 34 estribos por estaca.

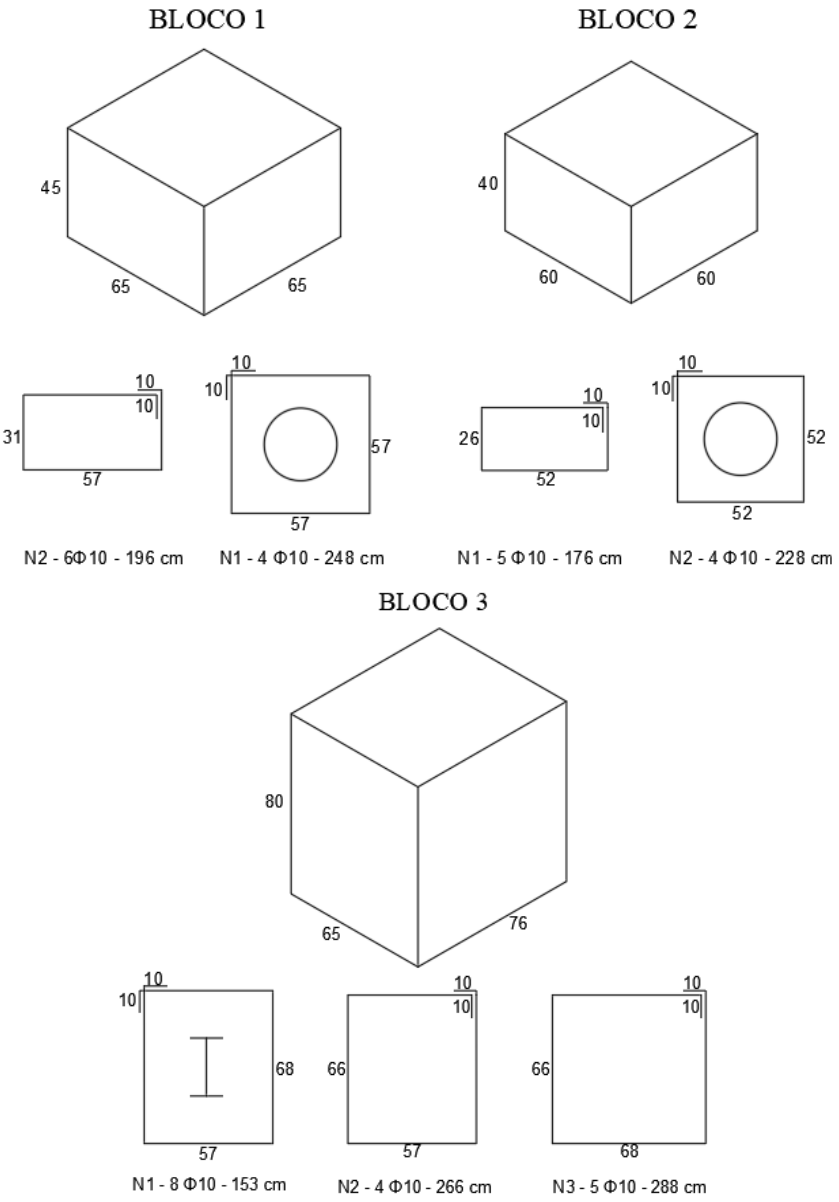
3.2 Blocos de coroamento

O dimensionamento para a estaca hélice contínua resultou num bloco de coroamento com dimensões B = 65cm e H = 45cm. O cobrimento utilizado foi de 4 cm, já que a obra está localizada a poucos metros do mar, sendo identificada como classe de agressividade ambiental III. Para a armadura horizontal foram necessárias 4 barras de aço CA-50 de 10mm de diâmetro com 248cm de comprimento. Para armadura vertical, 6 barras de aço CA-50 de 10mm de diâmetro e 196cm de comprimento. É representado pelo Bloco 1 na Figura 4.

As estacas pré-moldadas tiveram blocos de coroamento com as medidas B = 60cm e H = 40cm. A Armadura horizontal terá 4 barras de aço CA-50 de 10mm de diâmetro com 228cm de comprimento. Para a armadura vertical, serão utilizadas 6 barras de 10mm de diâmetro e 196cm de comprimento. A representação corresponde ao Bloco 2 na Figura 4.

Para as estacas metálicas as dimensões encontradas para blocos de coroamento foram A = 65 cm B = 76cm e H = 80cm. A Armadura horizontal terá 8 barras de aço CA-50 de 10mm de diâmetro com 153 cm de comprimento. Para a armadura vertical, serão utilizadas 5 barras de 10mm de diâmetro e 288cm de comprimento na direção paralela a B e 4 barras de 10mm de diâmetro e 266cm de comprimento na direção paralela a A. A representação corresponde ao Bloco 3 na Figura 4.

Figura 4 – Detalhamento dos blocos de coroamento



Fonte: Autor (2022)

3.4 Comparativo de custos

Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão os custos detalhados das opções de fundação, hélice contínua, pré-moldada de concreto armado e metálica, respectivamente. Os quadros contam com os materiais e mão de obra necessários para execução das estacas e blocos.

Tabela 2 – Custos para fundação com estaca hélice contínua

Opção A - Hélice Contínua				
Descrição	**Unidade**	**Quantidade**	**Custo unitário (R$)**	**Custo total (R$)**
ESTACA				

Taxa de mobilização	vb	1	25.000,00	25.000,00
Execução da estaca hélice contínua	m	360	60,00	21.600,00
Concreto usinado bombeável, classe de resistência C40, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, exclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	34,64	486,23	16.843,01
Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão	kg	378	11,75	4.441,50
Aço CA-25, 6,3 mm ou 8,0 mm, vergalhão	kg	222,411	11,28	2.508,80
Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm.	kg	378	13,27	5.016,06
Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 6,3 mm.	kg	222,41	14,11	3.138,21
Remoção do solo escavado	12 m³	3	600,00	1800,00
			SUBTOTAL 1	**80.347,57**
BLOCO				
Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão	kg	379,134	11,75	4.454,82
Concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = m3 473,39 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	5,73	473,39	2.712,52
Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm.	kg	379,134	13,27	5.031,11
			SUBTOTAL 2	**12.198,46**
			TOTAL	**92.546,03**

Fonte: Autor (2022)

Tabela 3 – Custos para fundação com estaca pré-moldada de concreto armado

Opção B - Pré-moldada de concreto armado				
Descrição	**Unidade**	**Quantidade**	**Custo Unitário (R$)**	**Custo total (R$)**
ESTACA				
Taxa de mobilização	vb	1	25.000,00	25.000,00
Estaca pré-fabricada de concreto centrifugado seção circular	m	300	320,00	96.000,00
Taxa para cravação mecânica	m	300	80,00	24.000,00
			SUBTOTAL 1	**145.000,00**
BLOCO				
Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão	kg	338,69	11,75	3.979,61
Concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = m^3 473,39 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	m³	4,32	473,39	2.045,04
Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm.	kg	338,69	13,27	4.494,42
			SUBTOTAL 2	**10.519,02**
			TOTAL	**155.519,07**

Fonte: Autor (2022)

Tabela 4 – Custos para fundação com estaca metálica

Opção C - Perfil metálico				
Descrição	**Unidade**	**Quantidade**	**Custo unitário (R$)**	**Custo total (R$)**
ESTACA				
Taxa de mobilização	vb	1	25.000,00	25.000,00
PF I W250x 32,7 a572gr50 12m fx4,71t	m	30	5.420,90	162.626,87
Taxa de cravação	m	360	80,00	28.800,00
			SUBTOTAL 1	**216.426,87**
BLOCO				
Aço ca-50, 10,0 mm, vergalhão - blocos	kg	704,59	11,75	8.278,93
Concreto usinado bombeável, classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = m^3 473,39 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953) - blocos	m^3	11,86	473,39	5.614,41
Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 10,0 mm. - blocos	kg	704,59	13,27	9.349,91
			SUBTOTAL 2	**23.243,25**
			TOTAL	**239.670,12**

Fonte: Autor (2022)

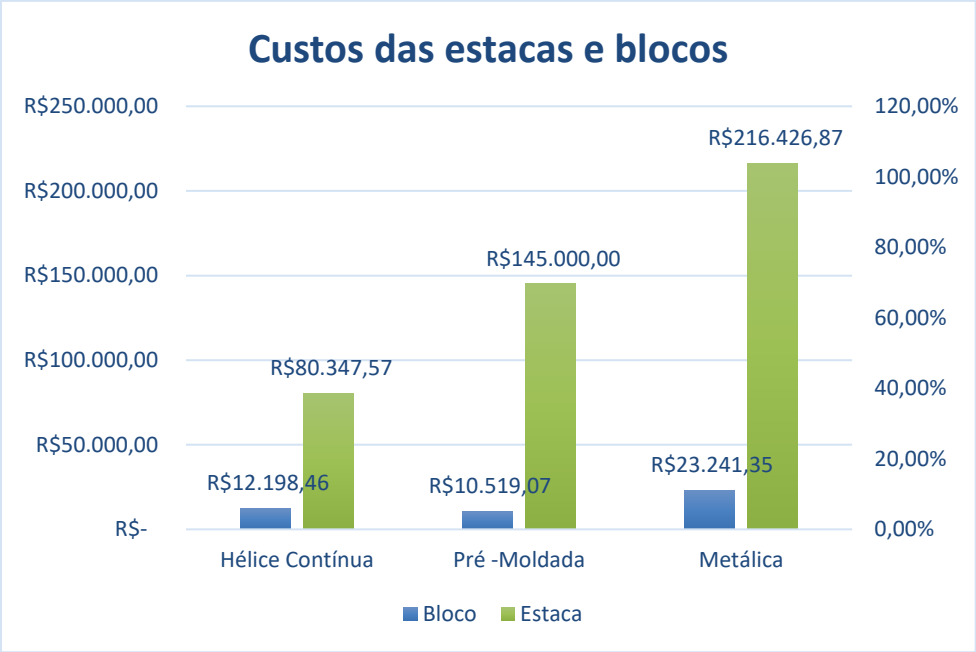
Considerando-se o estaqueamento (estacas, mão de obra e equipamentos necessários para sua execução), os custos das opções estaca hélice contínua, pré-moldadas e metálica foram de R$ 216.426,87, R$ 145.000,00 e R$ 80.347,57, respectivamente. Assim, a opção estaca metálica destaca-se como a alternativa mais onerosa, sendo as estacas pré-moldada e hélice contínua com o custo 33,00% e 62,88% menor, respectivamente.

Quanto aos blocos de coroamento, a opção perfil metálico requer blocos com maior custo (R$ 23.243,25), enquanto os blocos para estaca hélice contínua e pré-moldada de concreto custam R$ 12.198,46 e R$ 10.519,02, respectivamente.

A opção referente à fundação em estacas hélice contínua (estaqueamento + blocos) apresentou-se como a de menor custo (R$ 92.546,03). A opção B referente às estacas pré-moldada de concreto armado teve um custo de R$ 155.519,07 e a opção C referente a perfil metálico teve um custo de R$ 239.670,12. As estacas pré-moldada de concreto armado e de perfil metálico apresentaram um custo maior (68,05% e 158,97%), em relação a escolha de projeto, respectivamente.

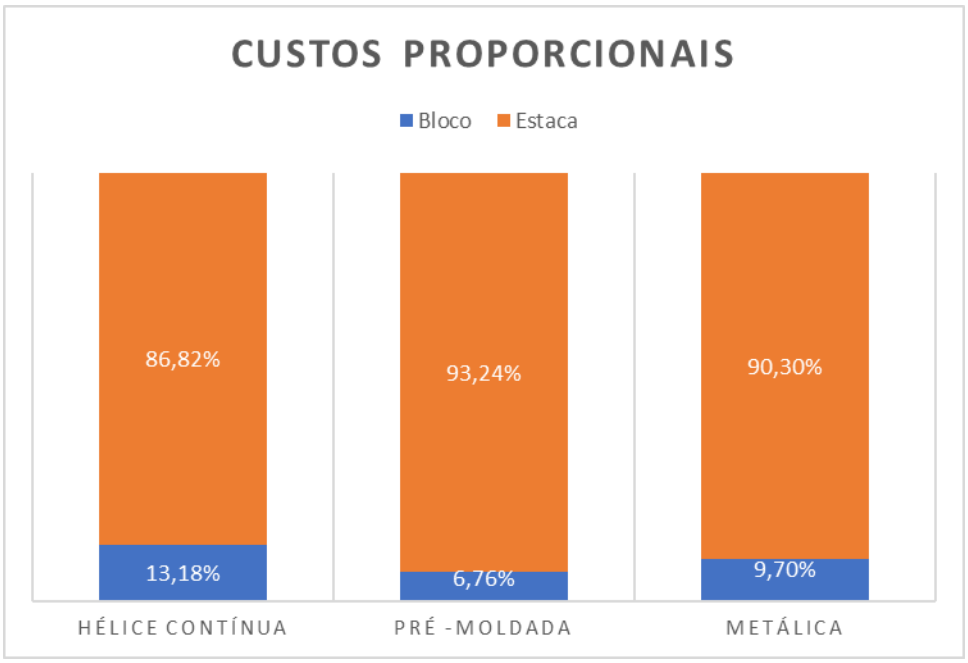
Na Figura 5 é possível observar os custos empregados para estacas e bloco e na Figura 6 estão os custos proporcionais. Nas estacas hélices contínuas o custo para execução dos blocos é de 13,18% do conjunto estacas-blocos, o mais proporcionalmente expressivo entre as opções estudadas.

Figura 5 – Comparação de custos de estacas e blocos



Fonte: Autor (2022)

Figura 6 – Comparação de custos proporcionais de estacas e blocos.



Fonte: Autor (2022)

As estacas hélice contínuas além de apresentarem o menor custo neste caso, possuem uma série de vantagens para a aplicação:

- Têm elevada produtividade, o que reduz consideravelmente o cronograma físico da obra, desde que seja executada de forma correta e muito bem planejada (SIPRIANO, 2007).
- Não causam vibrações e ruídos. A obra estudada encontra-se em uma zona urbana densamente povoado, portanto, vibrações por bate-estaca para fundações metálicas e de concreto pré-moldadas podem causam transtornos para a vizinhança, assim como fissuras e danos as estruturas. A forma de execução da estaca hélice contínua reduz de forma significativa os ruídos durante a execução, responsável pelo desconforto da equipe de obra e de moradores vizinhos, mais uma vez atributo interessante pra o local da obra
- Não causam danos em fundações vizinhas: isso ocorre porque o processo de cravação não causa grandes descompressões no terreno. Essa vantagem apesar de notável, não tem grande implicação na obra pois a distância mínima da estrutura para construções vizinhas é de cerca de 15 m.

Uma das desvantagens do uso das estacas hélice contínua é o material escavado, o qual há um custo para sua retirada. Na obra estudada, seriam necessárias 3 caçambas de 12 m^3 para retirar todo o material escavado. Foi realizada uma cotação com os principais transportadores da região, e chegou-se no valor médio de R$600 por caçamba, portanto, um valor total de R$ 1.800,00. Ademais não haverá problemas logísticos na retirada do material, dado que a obra fica as margens de uma avenida que possui 4 faixas de rolamento.

A estaca pré-moldada de concreto armado requer um aporte financeiro mais alto e figura como a segunda opção em custo-benefício. Possui a desvantagem do uso de bate-estaca que causa certo desconforto na vizinhança, ela tem a possibilidade de causar danos em construções próximas, porém a estrutura fica a mais de 15 m de construções vizinhas, dessa forma não haveria problema com este ponto.

As estacas metálicas são as de maior custo entre as opções consideradas, mas conseguem perfurar facilmente solos com NSPT >15, o que seria útil no terreno, já que algumas sondagens sugerem valores de NSPT dessa ordem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do dimensionamento e comparativo realizados foi possível concluir que a solução de fundação mais interessante é a estaca hélice contínua, visto que ela tem o melhor custo-

benefício, sendo quase três vezes menor do que o estaqueamento com perfis metálicos em relação às outras soluções estudadas. Ademais, as vantagens construtivas que ela apresenta são muito favoráveis para a situação, como alta produtividade e ausência de ruídos e vibrações.

O custo estimado para fundação com estacas hélice contínuas foi de R$ 92.546,03, com os blocos de coroamento representando 13,18% deste valor. Para as estacas pré-moldadas de concreto armado calculou-se R$ 155.519,07, destes R$ 10.519,07 para os blocos de coroamento. As estacas metálicas, as quais totalizaram seu orçamento em R$ 239.668,22 om blocos representando 9,7% desse valor.

É seguro concluir que a escolha dos projetistas para esta obra comercial em utilizar estacas hélice contínua para as fundações da estrutura foi acertada, pois atende bem aos critérios de ordem técnica, econômica e social.

REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. **Exercícios de fundações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

AOKI, N., VELLOSO, D. A**. An aproximate method to estimate the bearing capacity of piles**, Proceedings5th Pan. Conf. on Soil Mech. and Found. Engineering, Buenos Aires, (1975).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BENAPAR. **Estacas pré-moldadas "Benapar" em concreto armado (com aço CA-50A), 2020.** Disponível em: https://benapar.com.br/biblioteca-tecnica/estacas-pre-moldadas-benapar-em-concreto-armado-com-aco-ca-50a/. Acesso em 20/09/2022.

CARVALHO, R. C. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**, v.2. São Paulo: Pini, 2009.

FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI**: Índice da Construção Civil. Brasil, Governo Federal. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx. Acesso em 21/09/2022.

FERNANDES, V. **Tipos de Fundações Profundas.** Linkedin, 2017. Disponível em: https://pt.linkedin.com/pulse/tipos-de-funda%C3%A7%C3%B5es-profundas-valter-fernandes. Acesso em 15/09/2022.

GEOFIX. **Hélice Contínua Monitorada, 2012.** [S.l.].

GERDAU. **Estacas metálicas gerdau, 2008.** [S.l.], (3. ed.)

GERDAU. **Estacas metálicas gerdau, 2015.** [S.l.], (8. ed.)

JAIME, A. Rojas, E. e LEGORRETA, H. **Static Behavior of Floating Piles in Soft Clay**. Raul J. Marsal Volume, Sociedad Mexicana de Mecânica de Stelos, A.B., 1992 pp. 19- 30. México.

SANTOS, T. G. **Probabilidade de ruína e o índice de confiabilidade de uma fundação por hélice contínua**. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste, Caruaru. 2021

SIPRIANO, V. S. **Análise comparativa de custos entre fundações do tipo hélice contínua e pré-moldada**. Trabalho de conclusão de curso - Engenharia Civil da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. 97p. 2007

VASCONCELLOS, A. **Estudo comparativo para fundações profundas: perfil metálico x hélice contínua x pré-moldada de concreto**. Engeduca, 2017. Disponível em: https://engeduca.com.br/estudo-comparativo-para-fundacoes-profundas/. Acesso em 14/12/2021.

VESIC, A. B. Bearing capacity of deep foundations in sand. **Highway Research Record,** [*s. l.*], v. 39, 1963.

DÉCOURT, Luciano. Análise e Projeto de fundações profundas: Estacas. In: FALCONI, Frederico F. et al, (ed.). **Fundações Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998. cap. 8.1, p. 265-301.

THIAGO ALEXANDRE ALVES DE LIMA

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO ENTRE PROJETOS DE FUNDAÇÃO POR ESTACAS TIPO HÉLICE CONTÍNUA, PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO E PERFIL METÁLICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.
Área de concentração: Geotecnia

Aprovado em 09 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profa. D.Sc. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. D.Sc. José Moura Soares (Avaliador)
Núcleo de Tecnologia, Campus Agreste, Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. D.Sc. Saul Barbosa Guedes (Avaliador)
Núcleo de Tecnologia, Campus Agreste, Universidade Federal de Pernambuco