



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CAMPUS CARUARU  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TIAGO SANTINO DA SILVA BARROS

**COMPARATIVO DE SOLUÇÕES DE PROJETO GEOMÉTRICO E ESTRUTURAL  
DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS E ANÁLISE DE CUSTOS**

Caruaru

2022

TIAGO SANTINO DA SILVA BARROS

**COMPARATIVO DE SOLUÇÕES DE PROJETO GEOMÉTRICO E ESTRUTURAL  
DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS E ANÁLISE DE CUSTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Caruaru 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. Dra. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello

Caruaru

2022

## **Comparativo de soluções de projeto geométrico e estrutural de fundações profundas e análise de custos**

## **Comparison of geometric and structural design solutions for deep foundations and cost analysis**

**Tiago Santino da Silva Barros<sup>1</sup>**

---

### **RESUMO**

Uma das etapas mais importantes da Engenharia de Fundações é a definição do elemento estrutural a ser empregado em um projeto geotécnico. Nesta fase é primordial que se tenha o conhecimento de algumas características para decidir pela opção técnica e economicamente adequada. Este trabalho consistiu em um estudo comparativo de soluções, projeto geométrico e estrutural de fundações profundas de uma edificação assente em subsolo constituído por camada de solos mole. Foram consideradas duas soluções: estaca hélice contínua e estaca pré-moldada de concreto. Os blocos de fundações foram dimensionados convenientemente, de acordo com o número e tipo de estaca. As etapas de cálculo de todos os elementos foram detalhadas e os resultados obtidos foram comparados. Os dados para projeto foram obtidos em Albuquerque e Garcia (2020). A solução com estacas pré-moldadas de concreto apresentou um custo global de R\$ 73.555,01, demonstrando ser mais econômica na execução da obra. O projeto de fundação em estaca em hélice contínua apresentou um custo de R\$ 91.542,10, na ordem de 24,45% maior do que os custos da solução de fundação por estacas pré-moldadas de concreto. Quanto ao custo, sem considerar outras variáveis para escolha do tipo de fundação para o caso proposto, a solução em estaca pré-moldada de concreto aparenta um forte indicativo para sua adoção.

**Palavras-chave:** Custos. Método Semiempírico. Estaca Hélice Contínua. Estaca pré-moldada.

---

### **ABSTRACT**

One of the most important steps in Foundation Engineering is the definition of the structural element to be used in a geotechnical project. At this stage, it is essential to have knowledge of

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil pela UFPE. E-mail: tiago.santino@ufpe.br

some characteristics to decide the technically and economically appropriate option. This work is a comparative study of solutions, geometric and structural design of deep foundations of a building based on subsoil constituted by a soft soil layer. Two solutions were considered: continuous flight auger and precast concrete pile. The foundation blocks were conveniently dimensioned according to the number and type of piles. The calculation steps for all elements were detailed and the results obtained were compared. Data for the project were obtained in Albuquerque and Garcia (2020). The solution with precast concrete piles presented a global cost of R\$ 73,555.01, demonstrating to be more economical in the execution of the work. The foundation project in continuous continuous flight auger pile presented a cost of R\$ 91,542.10, in the order of 24.45% higher than the costs of the foundation solution by precast concrete piles. As for the cost, without considering other variables for choosing the type of foundation for the proposed case, the solution in precast concrete piles seems a strong indication for its adoption.

**Keywords:** Costs. Semi-empirical Method. Continuous Flight Auger. Precast pile Concrete

---

**DATA DE APROVAÇÃO:** 09 DE NOVEMBRO DE 2022

---

## **1 INTRODUÇÃO**

As fundações profundas são caracterizadas por transmitirem as cargas por meio do atrito lateral resultante do contato de seu comprimento com o solo ou da combinação entre a resistência da base com o atrito lateral. São aplicadas para solos superficiais que não apresentam resistência suficiente para suportar cargas da edificação (ALBUQUERQUE e GARCIA, 2020).

Uma das etapas mais importantes da Engenharia de Fundações é a definição do elemento estrutural a ser empregado em um projeto geotécnico. Nesta fase é primordial que se tenha o conhecimento de algumas características para que se possa fazer a opção técnica e economicamente adequada para a determinada obra, como: sistema estrutural empregado, intensidade de cargas, forma e tipo de carregamento, características geológica-geotécnicas do subsolo, condições do mercado local, disponibilidade de determinados processos executivos, questões urbanísticas e suas restrições (CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2011).

Na escolha da fundação, além dos critérios técnicos, que são os principais, deve-se avaliar também os custos envolvidos, pois determinadas situações podem ser mais onerosas que outras potencialmente elegíveis, embora estas apresentem as mesmas condições técnicas em termos

de segurança. Desta forma, o critério econômico será um fator decisivo no processo de escolha do tipo de fundação a ser empregado (ALBUQUERQUE e GARCIA, 2020).

Os projetistas dispõem de métodos teóricos (MEYERHOF, 1976 e 1977; SKEMPTON, 1951), empíricos e semiempíricos (AOKI e VELLOSO, 1975; VELLOSO, 1981; DÉCOURT e QUARESMA, 1978; MEYERHOF, 1976) para determinar a carga de ruptura de uma fundação. Parâmetros geotécnicos como coesão, ângulo de atrito e módulo de elasticidade, por exemplo, são necessários para se utilizar os métodos teóricos; enquanto ensaios de campo são utilizados nos métodos empíricos e semiempíricos. As medidas do SPT da sondagem à percussão são utilizadas para realizar a previsão de ruptura das estacas. Os projetistas aplicam fórmulas empíricas baseadas nos resultados de resistência à penetração (ALBIERO, 1990).

Neste contexto, este artigo apresenta um estudo comparativo de soluções, projeto geométrico e estrutural de fundações profundas em estacas pré-moldadas de concreto e hélice contínua, assim como respectivos blocos de coroamentos, de uma edificação em perfil de subsolo constituído por camada de solo mole.

---

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, foi realizada uma adaptação de caso fictício relatado em Albuquerque e Garcia (2020). Foram consideradas duas soluções: estaca em hélice contínua e estaca pré-moldada de concreto. Os blocos de fundações foram dimensionados de acordo com o número e tipo de estaca. As etapas de cálculo de todos os elementos foram detalhadas e os resultados obtidos foram comparados.

Os estudos consistiram nas etapas de: (a) análise dos dados disponíveis; (b) cálculo da capacidade de carga; dimensionamento das estacas e blocos; (c) comparação dos resultados.

### 2.1 Dados disponíveis para o dimensionamento

Os dados para projeto foram obtidos em Albuquerque e Garcia (2020). São eles: (a) dimensões e cargas dos pilares, conforme apresentado na Tabela 1; (b) locação dos pilares e das sondagens (Figura 1); e (c) perfil típico do subsolo (Figura 2).

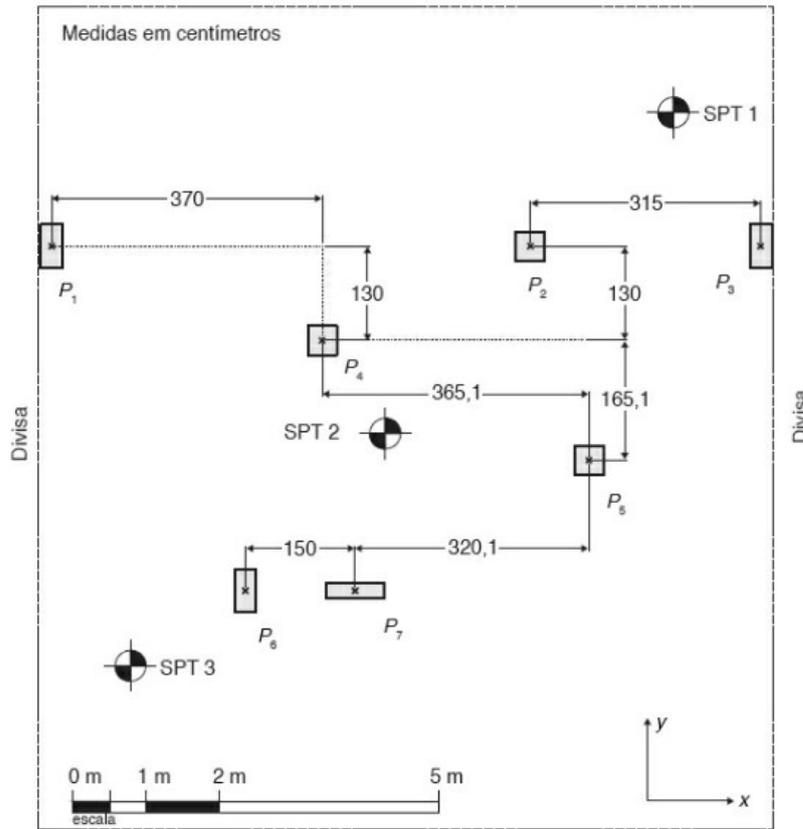
**Tabela 1** - Dados dos pilares: dimensões e cargas

Pilar	Dimensões (m)	Cargas, $P_k$ (kN)
P <sub>1</sub>	0,30 x 0,60	850

P <sub>2</sub>	0,40 x 0,40	760
P <sub>3</sub>	0,30 x 0,60	780
P <sub>4</sub>	0,40 x 0,40	560
P <sub>5</sub>	0,50 x 0,50	760
P <sub>6</sub>	0,30 x 0,60	690
P <sub>7</sub>	0,80 x 0,20	800

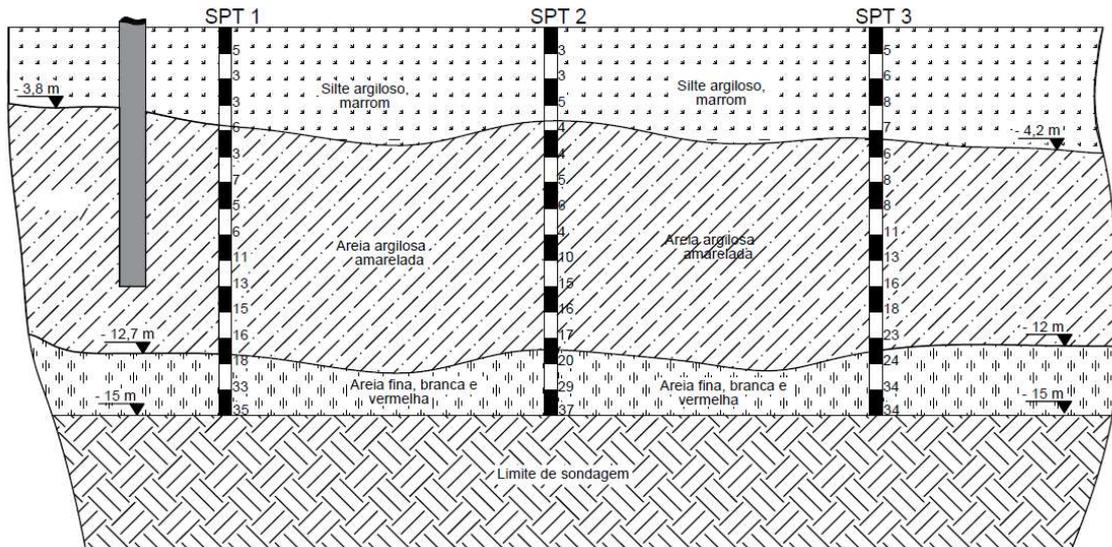
Fonte: Adaptado de Albuquerque e Garcia (2020)

**Figura 1** - Localização dos pilares e sondagens.



Fonte: Albuquerque e Garcia (2020).

Figura 2. Perfil do subsolo.



Fonte: Adaptado Albuquerque e Garcia (2020).

## 2.2 Capacidade de carga e tensão admissível

A resistência oferecida pelas estacas ( $R$ ) ou a capacidade de carga de uma estaca foi calculada como resultante da soma das parcelas de resistências devido ao atrito lateral entre o fuste da estaca com o solo ( $R_L$ ), e resistência de ponta ( $R_P$ ).

A capacidade de carga foi estimada pelos Métodos Décourt & Quaresma (1978) e Aoki-Velloso (1975) e Teixeira (1996). Os parâmetros geotécnicos necessário para o cálculo da capacidade de carga foram estimados a partir fórmulas empíricas utilizando as medidas da sondagem SPT segundo NBR 6484 (ABNT 2001).

### 2.2.1 Método de Aoki e Velloso (1975)

A capacidade de carga pelo método Aoki e Velloso (1975) foi determinada pela Equação 2. A carga admissível, portanto, é representada pela Equação 3.

$$R_{rup} = \frac{U}{F_2} \times \sum(\alpha \times K \times N_{SPT,L} \times \Delta_L) + \frac{K \times N_{SPT,P} \times A_P}{F_1} \quad (2)$$

$$R_{adm} = \frac{R_{rup}}{2} \quad (3)$$

Onde:  $U$  é o perímetro do fuste, em m;  $\Delta_L$  é o comprimento de um segmento de estaca submetido a tensão  $r_L$ , em m;  $r_L$  é a tensão de atrito para um segmento de estaca  $\Delta_L$  em  $\text{kN.m}^{-2}$ ,  $\alpha$  é a relação

de atrito para cada tipo de solo;  $K$  é o coeficiente dependente do tipo de solo;  $N_{SPT,L}$  o número de golpes para cada camada de solo ao longo do fuste da estaca;  $F_2$  é o fator de correção para resistência de atrito lateral;  $A_p$  é a área da seção transversal da estaca, em  $m^2$ ;  $r_p$  é a tensão na ponta da estaca, em  $kN.m^{-2}$ ;  $N_{SPT,P}$  é o número de golpes do ensaio SPT da camada de solo na região da ponta da estaca;  $F_1$  é o fator de correção para resistência de ponta da estaca.

### 2.2.3 Método de Décourt e Quaresma (1978)

A capacidade de carga pelo método Décourt e Quaresma (1978) foi calculada pela Equação 4. A carga admissível, portanto, é representada pela Equação 5.

$$R_{rup} = \beta \times U \times \sum \left( 10 \times \left( \frac{N_{SPT,L}}{3} + 1 \right) \times \Delta L \right) + (\alpha \times C \times N_{Pméd} \times A_p) \quad (4)$$

$$R_{adm} = \frac{R_L}{1,3} + \frac{R_p}{4} \quad (5)$$

Onde:  $U$  é o perímetro do fuste, em m; Os valores de  $N_{spt}$  devem estar compreendidos entre  $3 \leq N_{spt} \leq 50$ .

$A_p$  é a área da seção transversal da estaca, em  $m^2$ ,  $N_{Pméd}$  é o valor resultante da média de três valores de  $N_{SPT,P}$  obtidos ao nível da ponta da estaca, imediatamente acima e abaixo;  $C$  é o coeficiente que correlaciona  $N_{SPT}$  com a resistência de ponta em função do tipo de solo ( $C = 120$  kPa para argilas,  $C = 200$  kPa para siltes argilosos,  $C = 250$  kPa para siltes arenosos,  $C = 400$  kPa para areias) (Albuquerque e Garcia, 2020).

### 2.2.4 Método de Teixeira (1996)

Capacidade de carga, portanto, é representada pela Equação 6. A carga admissível, portanto, é representada pela Equações 7 e 8.

$$R_{rup} = (\beta_T \times N_{spt} \times U \times \Delta L) + (\alpha_T \times N_{PT} \times A_p) \quad (6)$$

$$R_{adm} = \frac{R_{rup}}{2} \quad (\text{pré-moldada, perfil, raiz e Franki}) \quad (7)$$

$$R_{adm} = \frac{R_L}{1,5} + \frac{R_p}{4} \quad (\text{escavada a céu aberto}) \quad (8)$$

Onde:  $U$  é o perímetro do fuste, em m;  $\beta_T = 4$  kPa para estaca pré-moldada e perfil metálico,  $\beta_T = 5$  kPa para estaca Franki,  $\beta_T = 4$  kPa para estaca escavada a céu aberto,  $\beta_T = 6$  kPa para estaca Raiz.

$N_{spt}$  é a média dos valores de resistência à penetração do solo compreendido ao longo do

fuste da estaca.

$A_p$  é a área da seção transversal da estaca, em  $m^2$ .

$N_{SPT}$  é o valor médio da resistência à penetração medido no ensaio SPT no intervalo de quatro diâmetros acima da ponta da estaca até um diâmetro abaixo;  $\alpha_T$  é o fator de correção que é função do tipo de solo

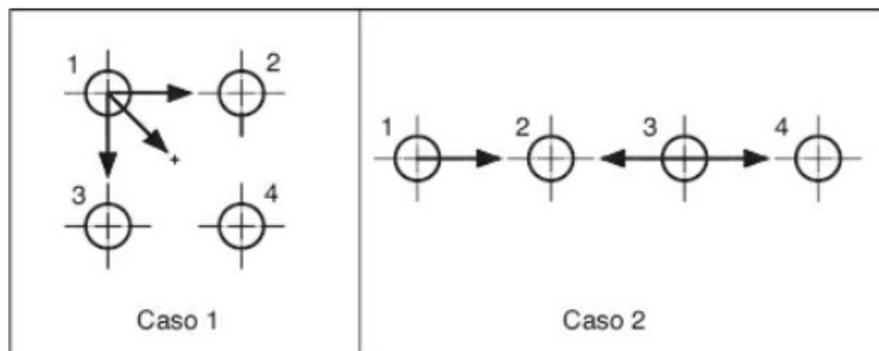
### 2.3 Dimensionamento dos blocos e determinação dos grupos de estaca por pilar

A determinação do número de estacas por pilar foi feita através da Equação 9, onde  $P_i$  – carga do pilar;  $R_{adm}$  - capacidade de carga admissível de projeto;  $\varepsilon$  – fator de eficiência.

$$n_{estacas} = \frac{P_i}{R_{adm}} X \frac{1}{\varepsilon} \quad (9)$$

Para o cálculo do fator de eficiência adotou-se o método de Feld como proposto por Garcia e Albuquerque (2020) que consiste em descontar 1/16 de cada estaca do grupo, para cada estaca vizinha a ela como pode ser notado na Figura 3.

Figura 3 - Metodologia de Feld.



Fonte: Albuquerque e Garcia (2020).

- Cálculo para o caso 1, as estacas 1, 2, 3 e 4 tem 3 vizinhas, logo:

$$\varepsilon = \frac{4X(\frac{13}{16})}{4} = 0,8125 = 81,25\% \quad (10)$$

- Cálculo para o caso 2, as estacas 1 e 4 com apenas uma estaca vizinha e estacas 2 e 3 tem 2 vizinhas, logo:

$$\varepsilon = \frac{2X\left(\frac{14}{16}\right) + 2X\left(\frac{15}{16}\right)}{4} = 0,9063 = 90,63\% \quad (11)$$

## 2.4 Projeto de Blocos e Estacas

Para o dimensionamento e locação das estacas para o projeto dos blocos de coroamento deve-se observar as seguintes recomendações propostas por Albuquerque e Garcia(2020) atendendo aos requisitos da NBR 6118 (ABNT, 2014):

- Espaçamento “s” (mínimo) entre eixos de estacas:

Moldadas in loco:  $s_{\min} = 3,0 \times \phi$

Pré-moldada de concreto =  $2,5 \times \phi$

- Cobrimento “c” entre eixo da estaca e bordo do bloco:

$$C = 0,15\text{m} + \frac{\phi}{2}$$

## 2.5 Dimensionamento de armaduras de aço

Foram determinadas as dimensões e as armações dos elementos estruturais (estacas e blocos) de fundação considerados no projeto segundo proposto por Bastos (2019), que consiste no método desenvolvido por Blevot e Frémy (1967), que admite a treliça como o modelo resistente no interior do bloco, “espacial” para blocos sobre várias estacas. As forças atuantes nas barras comprimidas da treliça são resistidas pelo concreto e as forças atuantes nas barras tracionadas são resistidas por barras de aço (armadura).

Todos os resultados do dimensionamento foram comparados para a determinação da solução mais adequada para a obra em questão.

---

## 3 DIMENSIONAMENTO

### 3.1 Determinação da capacidade de carga admissível do solo

Os dados iniciais para pré-dimensionamento foram determinados a partir das cargas dos pilares majoradas, em 5% consideração de peso próprio como preconizado por Albuquerque e Garcia (2020). Contudo, este valor pode ser alterado de acordo com as considerações do usuário.

O valor da carga média (Pd) dos pilares foi de 743 kN. Para obtenção do diâmetro da estaca, em função das cargas dos pilares, foi adotado um número de três estacas por pilar em média, o que resulta em uma carga média por estaca de 248 kN. A exemplo da metodologia de cálculo adotada por Albuquerque e Garcia (2020) adotou-se o diâmetro de 0,3 m e para padronização de cálculo 10 m de comprimento para todas as estacas, pois como foi demonstrado para uma estaca em hélice contínua o valor da capacidade de carga para este diâmetro é indicado no intervalo de 150 a 300 kN que se mostrou suficiente para o projeto em questão. Assim os dados do pré-dimensionamento são: comprimento da estaca de 10 m e diâmetro da estaca de 0,3 m.

### 3.1.1 Estaca hélice contínua

Na Tabela 2 estão apresentados os dados utilizados para cálculo de capacidade de carga necessários para os métodos considerados. Na Tabela 3 são apresentados os resultados do cálculo de capacidade de carga pelo método Aoki e Veloso (1975), considerando os SPT1, SPT2 e SPT3.

**Tabela 2** - Dados de entrada para os métodos Aoki e Veloso (1975), Método de Décourt e Quaresma (1978) e Método de Teixeira (1996).

SOLO	CAMADA	N <sub>SPT1</sub>	N <sub>SPT2</sub>	N <sub>SPT3</sub>	$\alpha$	K (kPa)	$\Delta L$ (m)	C (kPa)	F1	F2	$\Delta L$ (m)
silte argiloso	0 – 4m	4,25	3,75	6,5	0,034	230	4	200		4	4
areia argilosa	4 – 10m	7,5	7,33	10,33	0,03	600	6	400		4	6
areia argilosa	Ponta	13	15	16	0,03	600		400	2		

Fonte: Autor (2022)

**Tabela 3** - Capacidade de carga de estacas hélice contínua pelos métodos Aoki e Veloso (1975), Decourt Quaresma (1978), Teixeira (1996).

Camada	CAPACIDADE DE CARGA (kN)											
	Aoki e Veloso (1975).				Decourt Quaresma (1978)				Teixeira (1996)			
	R <sub>L</sub>	R <sub>P</sub>	R <sub>RUP</sub>	R <sub>ADM</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>P</sub>	R <sub>RUP</sub>	R <sub>ADM</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>P</sub>	R <sub>RUP</sub>	R <sub>ADM</sub>
SPT1												
0 – 4 m	31,32	-	-	-	91,11	-	-	-	64,09	-	-	-
4 – 10 m	190,85	-	-	-	197,92	-	-	-	169,65	-	-	-
ponta	-	275,67	-	-	-	110,27	-	-		183,78	-	-
			497,85	248,92			399,30	249,90			417,52	201,77
SPT2												
0 – 4 m	27,64	-	-	-	84,82	-	-	-	56,55	-	-	-
4 – 10 m	186,61	-	-	-	194,78	-	-	-	165,88	-	-	-

ponta	-	318,09	-	-	-	115,92	-	-	-	193,21	-	-
			532,34	266,17			395,53	244,06			415,63	196,59
SPT3												
0 – 4 m	47,91	-	-	-	119,38	-	-	-	98,02	-	-	-
4 – 10 m	262,95	-	-	-	251,33	-	-	-	233,73	-	-	-
ponta	-	339,29	-	-	-	132,89	-	-	-	221,48	-	-
			650,15	325,07			503,60	318,38			553,23	276,54

Fonte: O autor (2022)

### 3.1.2 Estaca pré-moldada de concreto

Na Tabela 4 estão apresentados os dados utilizados para cálculo de capacidade de carga necessários para os métodos considerados. Na Tabela 5 são apresentados os resultados do cálculo de capacidade de carga para cada um dos métodos, considerando os SPT1, SPT2 e SPT3.

**Tabela 4** - Dados de entrada para os métodos Aoki e Veloso (1975), Método de Décourt e Quaresma (1978) e Método de Teixeira (1996).

SOLO	CAMADA	N <sub>SPT1</sub>	N <sub>SPT2</sub>	N <sub>SPT3</sub>	$\alpha$	K (kPa)	$\Delta L$ (m)	C (kPa)	F1	F2	$\Delta L$ (m)
silte argiloso	0 – 4m	4,25	3,75	6,5	0,034	230	4	200		2,75	4
areia argilosa	4 – 10m	7,5	7,33	10,33	0,03	600	6	400		2,75	6
areia argilosa	Ponta	13	15	16	0,03	600		400	1,375		

Fonte: Autor (2022)

**Tabela 5** - Capacidade de carga de estacas pré-moldadas pelos métodos Aoki e Veloso (1975), Decourt Quaresma (1978), Teixeira (1996).

CAPACIDADE DE CARGA (kN)												
Camada	Aoki e Veloso (1975).				Decourt Quaresma (1978)				Teixeira (1996)			
	R <sub>L</sub>	R <sub>P</sub>	R <sub>RUP</sub>	R <sub>ADM</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>P</sub>	R <sub>RUP</sub>	R <sub>ADM</sub>	R <sub>L</sub>	R <sub>P</sub>	R <sub>RUP</sub>	R <sub>ADM</sub>
SPT1												
0 – 4 m	45,56	-	-	-	91,11	-	-	-	64,09	-	-	-
4 – 10 m	277,60	-	-	-	197,92	-	-	-	169,65	-	-	-
ponta	-	400,98	-	-	-	367,57	-	-	-	275,67	-	-
			724,15	362,07			656,59	314,22			509,41	254,70
SPT2												
0 – 4 m	40,20	-	-	-	84,82	-	-	-	56,55	-	-	-
4 – 10 m	271,43	-	-	-	194,78	-	-	-	165,88	-	-	-
ponta	-	462,67	-	-	-	386,42	-	-	-	289,81	-	-

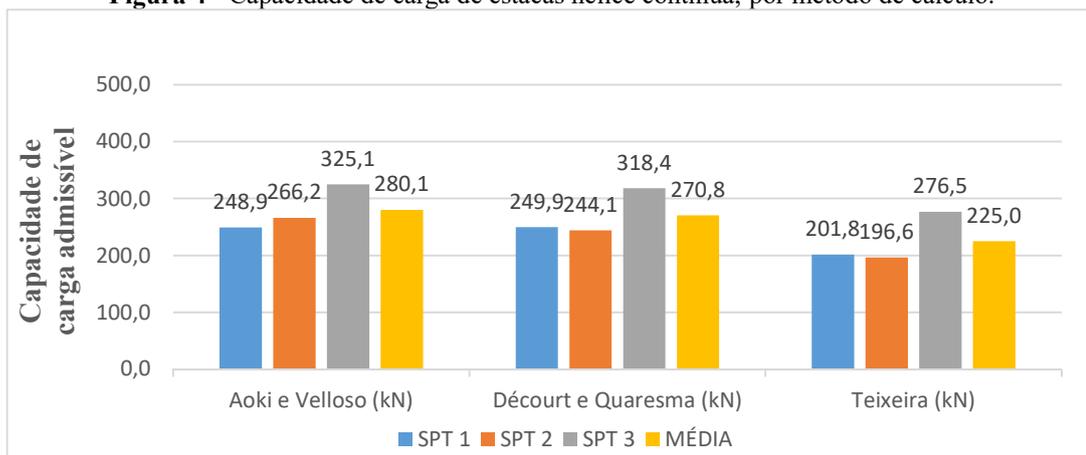
	774,31	387,15		666,02	311,68		512,24	256,12				
SPT3												
0 – 4 m	69,68	-	-	-	119,38	-	-	-	98,02	-	-	-
4 – 10 m	382,47	-	-	-	251,33	-	-	-	233,73	-	-	-
ponta	-	493,52	-	-	442,96	-	-	-	332,22	-	-	-
		945,67	472,84		813,67	395,90		663,98	331,99			

Fonte: O autor (2022)

### 3.1.4 Comparativo de soluções

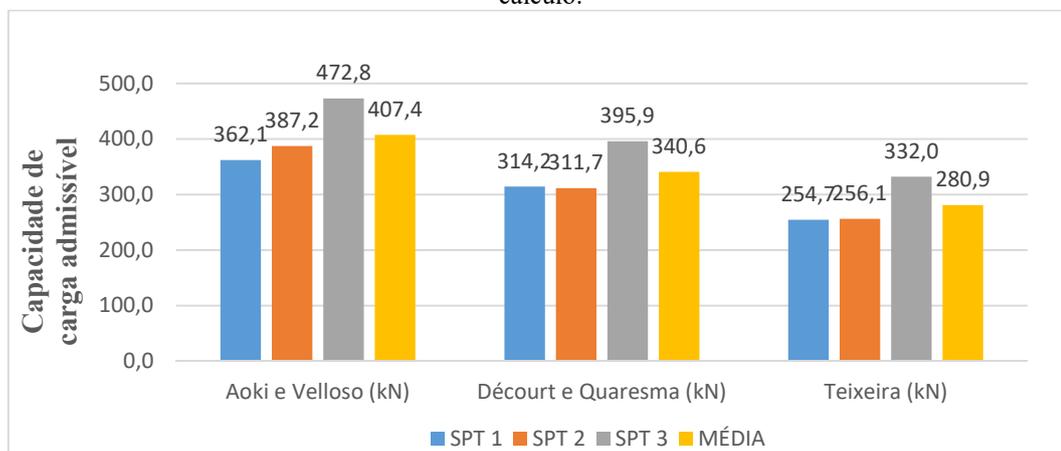
Nas Figuras 4 e 5 estão apresentados os resultados da capacidade de carga admissível para os três métodos de cálculo considerados, para hélice contínua e para estaca pré-moldada de concreto, respectivamente.

**Figura 4** - Capacidade de carga de estacas hélice contínua, por método de cálculo.



Fonte: O autor (2022)

**Figura 5** - Resultados de capacidade de carga de estacas de concreto pré-moldado, por método de cálculo.



Fonte: O autor (2022)

### 3.2 Dimensionamento dos blocos e determinação dos grupos de estaca por pilar

Conhecidas as cargas de projeto e o perfil geotécnico do terreno, e escolhidas as estacas a serem utilizadas, o dimensionamento consiste em determinar o número necessário de estacas para transferir a carga de cada um dos pilares para o subsolo (Tabela 6).

**Tabela 6** - Formato do bloco de coroamento

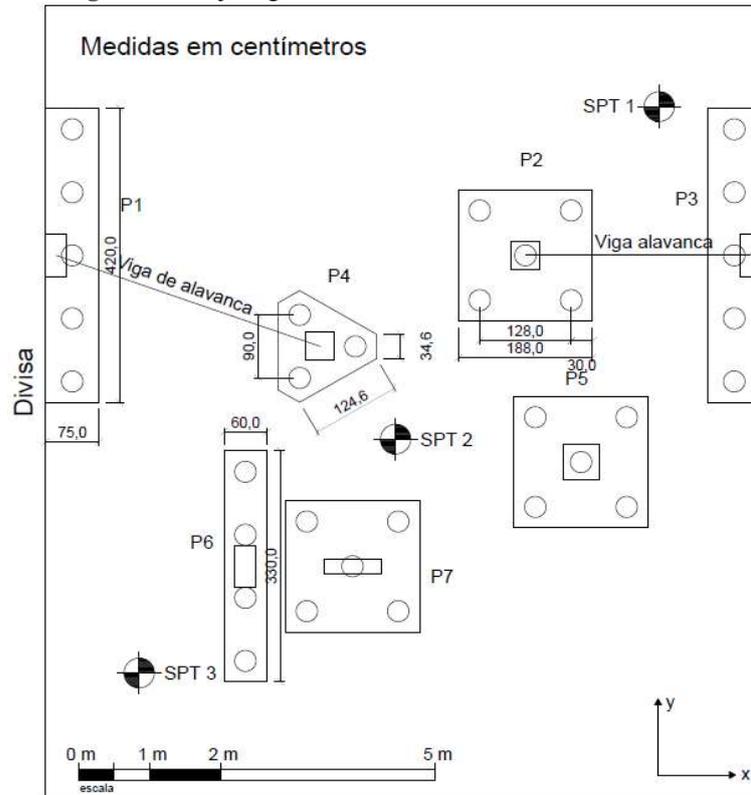
Pilar	Hélice contínua		Pré-moldada de concreto	
	Número de estacas	Formato do bloco de coroamento	Número de estacas	Formato do bloco de coroamento
P <sub>1</sub> - divisa	5	Linha	4	Linha
P <sub>2</sub>	5	Quadrado	4	Quadrado
P <sub>3</sub> - divisa	5	Linha	4	Linha
P <sub>4</sub>	3	Triângulo	3	Triângulo
P <sub>5</sub>	5	Quadrado	4	Quadrado
P <sub>6</sub>	4	Linha	3	Triângulo
P <sub>7</sub>	5	Quadrado	4	Quadrado

Fonte: Autor (2022)

### 3.3 Projeto bloco e estacas

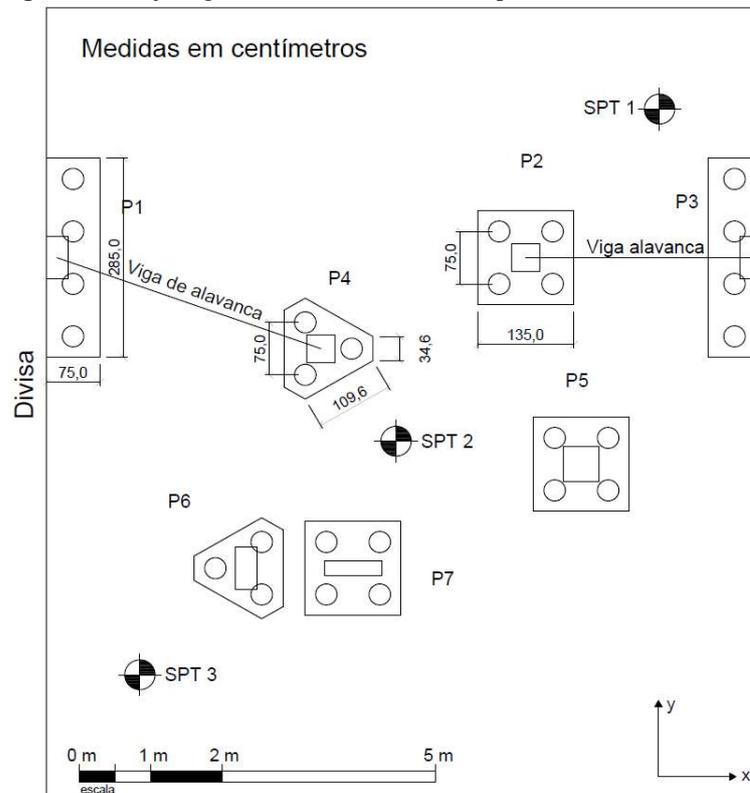
No projeto de fundações houve a ocorrência de blocos de coroamento sobre três, quatro e cinco estacas. A partir do dimensionamento do número de estacas tornou-se possível determinar o formato de cada um dos blocos de coroamento e adotar medidas especiais para os casos de pilares próximos a divisa do terreno (Tabela 7). Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados os projetos geométricos dos blocos de coroamentos para cada uma das soluções adotadas.

**Figura 6 - Projeto geométrico com estacas em hélice contínua**



Fonte: Autor (2022)

**Figura 7 - Projeto geométrico com estacas de pré-moldadas de concreto**



Fonte: Autor (2022)

### 3.4 Projetos de armaduras para blocos

O projeto estrutural das armaduras dos blocos foi desenvolvido a partir do dimensionamento geométrico e usando as fórmulas propostas por Bastos (2019) para determinar as áreas de aço e suas posições no bloco de coroamento para armaduras principais, de suspensão e de pele.

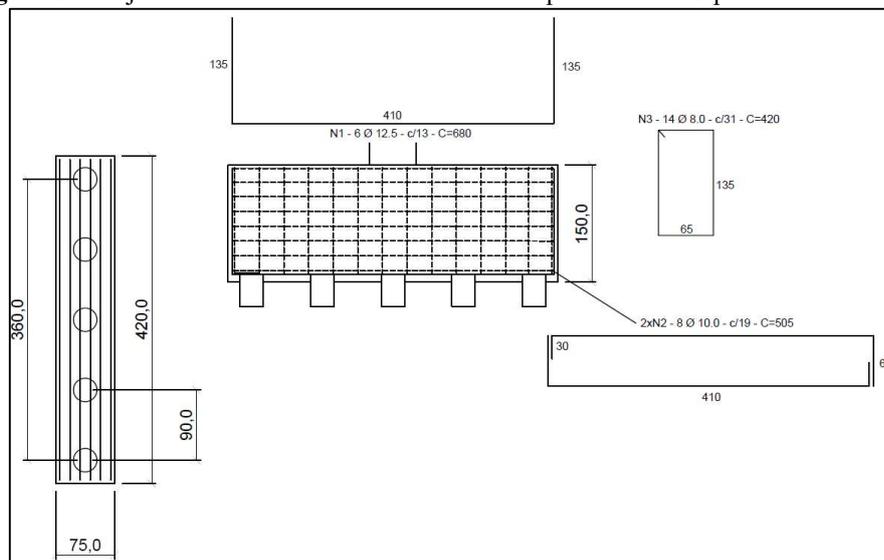
### 3.4.1 Projetos de armaduras para blocos Hélice contínua

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 estão apresentados os projetos estruturais de armaduras para os blocos sobre estacas em hélice contínua.

### 3.4.2 Projetos de armaduras para blocos estacas pré-moldadas de concreto

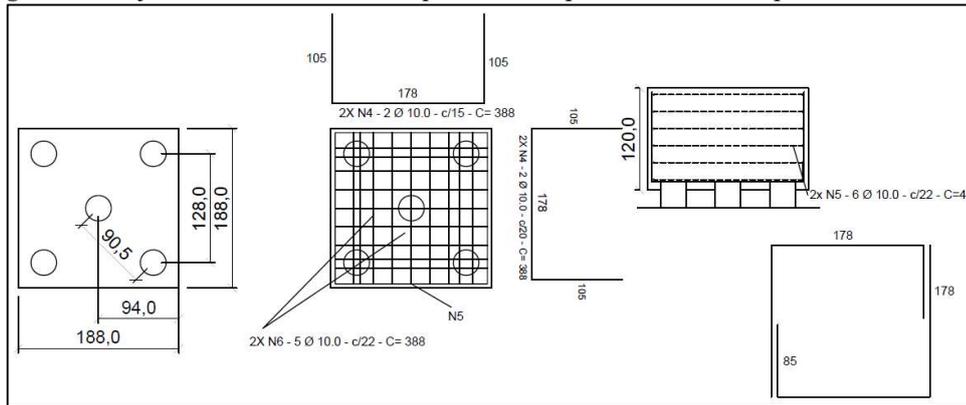
Nas Figuras 12, 13, 14 e 15 estão apresentados os projetos estruturais de armaduras para os blocos sobre estacas pré-moldadas de concreto.

**Figura 8** - Projeto estrutural dos blocos em linha dos pilares P1 e P3 para Hélice contínua



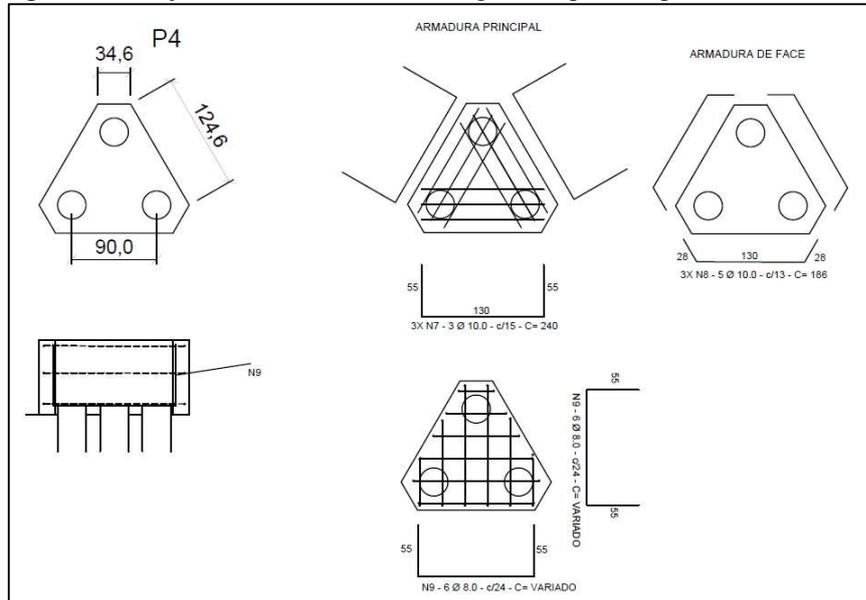
Fonte: Autor (2022)

**Figura 9 - Projeto estrutural dos blocos quadrado dos pilares P2, P5 e P7 para Hélice contínua**



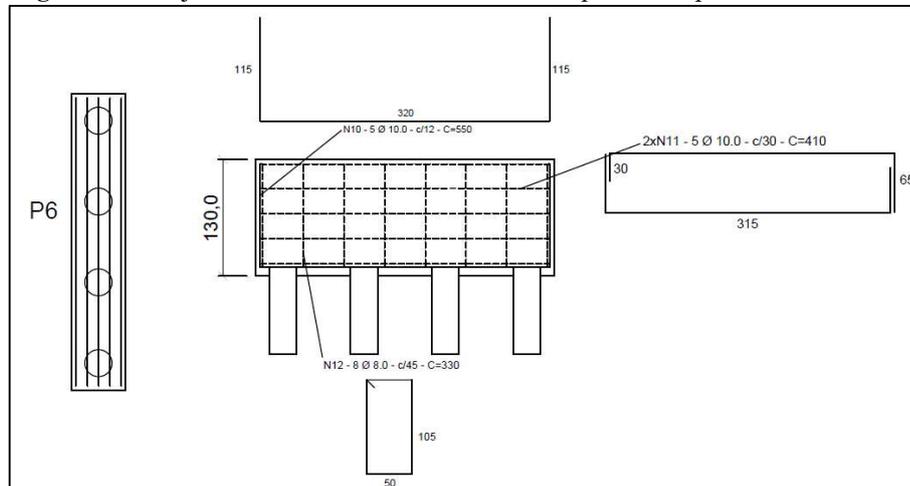
Fonte: Autor (2022)

**Figura 10 - Projeto estrutural do bloco triangular do pilar P4 para Hélice contínua**



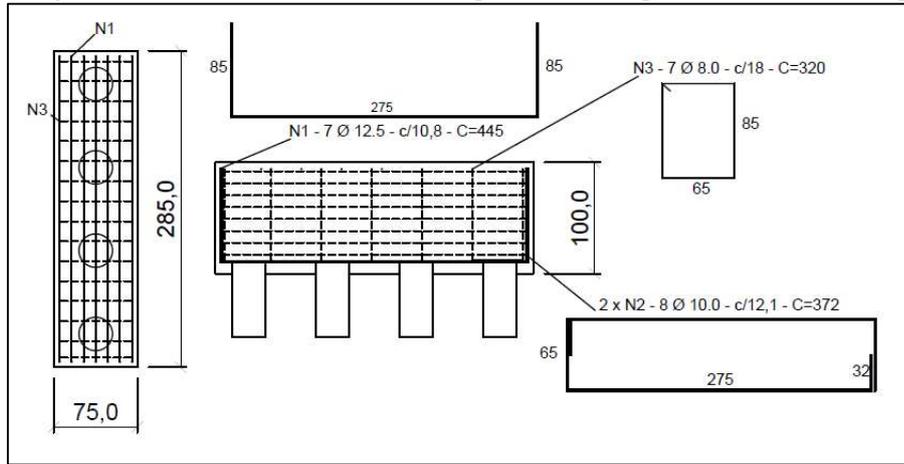
Fonte: Autor (2022)

**Figura 11 - Projeto estrutural do bloco em linha dos pilares P6 para Hélice contínua**



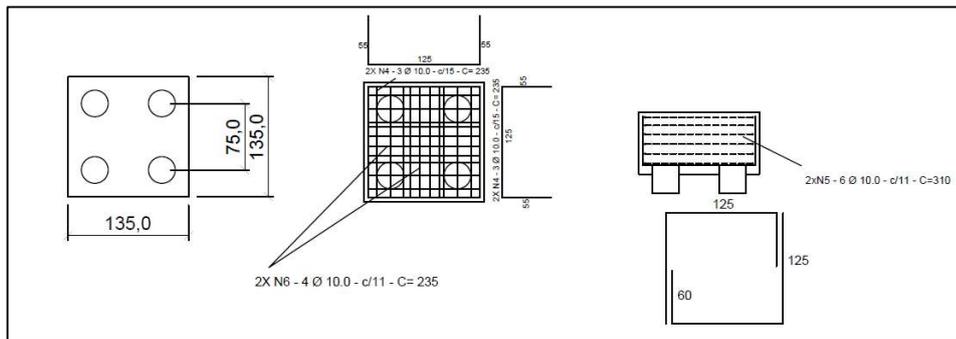
Fonte: Autor (2022)

**Figura 12** - Projeto estrutural dos blocos em linha dos pilares P1 e P3 para estaca de concreto pré-moldado



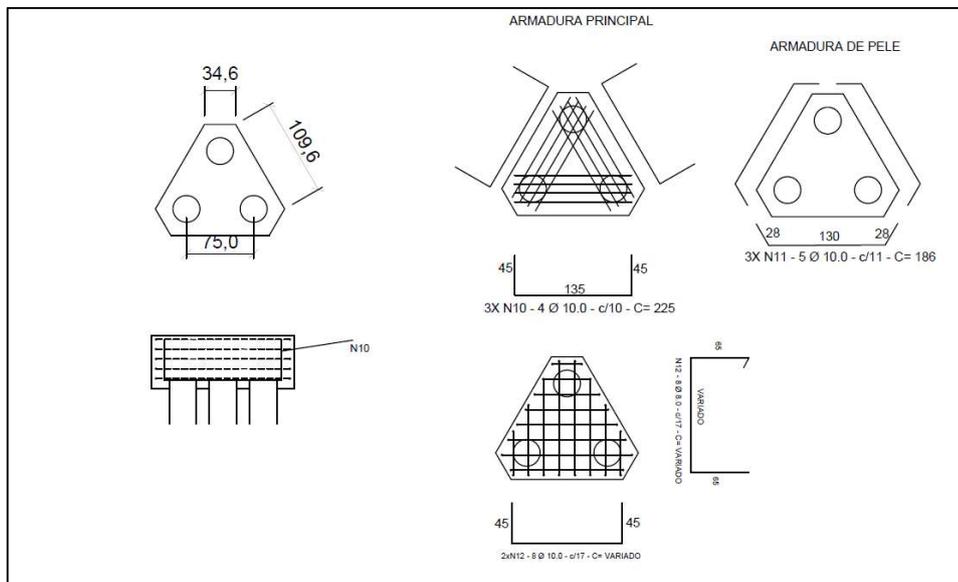
Fonte: Autor (2022)

**Figura 13** - Projeto estrutural dos blocos quadrados dos pilares P2 e P5 para estaca de concreto pré-moldado

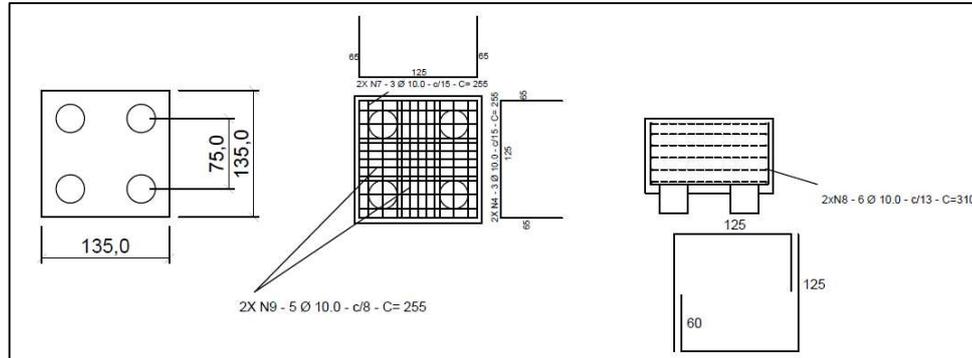


Fonte: Autor (2022)

**Figura 14** - Projeto estrutural dos blocos triangulares dos pilares P4 e P6 para est. de concreto pré-moldado



Fonte: Autor (2022)

**Figura 15** - Projeto estrutural do bloco quadrado do pilar P7 para estaca de concreto pré-moldado

Fonte: Autor (2022)

#### 4 QUANTITATIVOS DE INSUMOS E SERVIÇOS

Tendo em vista a comparação de custos entre duas soluções de projeto de fundação para o estudo caso, foi necessário realizar primeiramente o levantamento quantitativo de insumos e serviços para ambos os projetos (Tabelas 7 e 8, respectivamente).

**Tabela 7** - Resumo quantitativo de serviços e insumos para estacas hélice contínua

Etapa	Elemento	Unidade	Total
Estaqueamento	Mobilização e desmobilização de perfuratriz	und	1
	Perfuração de estaca hélice contínua d=30cm	m	320
	Remoção de solo escavado	m <sup>3</sup>	25
	Aço CA 50 10.0 mm	kg	640
	Aço CA 50 6.3 mm	kg	320
	Roletes espaçadores	und	900
	Concreto	m <sup>3</sup>	23
Bloco de coroamento	Escavação mecanizada	m <sup>3</sup>	29
	Arrasamento de estacas	und	32
	Lastro de concreto magro e=5cm	m <sup>2</sup>	23
	Fôrma de chapa compensada plastificada	m <sup>2</sup>	81
	Aço CA 50 8mm	kg	67
	Aço CA 50 10mm	kg	379
	Aço CA 50 12.5mm	kg	82
Concreto	m <sup>3</sup>	29	

Fonte: Autor (2022)

**Tabela 8** - Resumo quantitativo de serviços e insumos para estacas pré-moldadas

Etapa	Elemento	Unidade	Total
Estaqueamento	Mobilização e desmobilização de bate estaca	und	1
	Cravação de estaca pré-moldada de concreto	m	260
Bloco de coroamento	Escavação mecanizada	m <sup>3</sup>	12
	Arrasamento de estacas	und	26
	Lastro de concreto magro e=5cm	m <sup>2</sup>	15
	Fôrma de chapa compensada plastificada	m <sup>2</sup>	44

Aço CA 50 8mm	kg	41
Aço CA 50 10mm	kg	282
Aço CA 50 12.5mm	kg	63
Concreto	m <sup>3</sup>	12

Fonte: Autor (2022)

Os custos unitários foram coletados por pesquisas de mercado para o estado de Pernambuco através de orçamentos disponibilizados pelas construtoras Fundações Rossi LTDA e Fundações ESPECIAIS (Tabela 9).

**Tabela 9 - Resumo de custos unitários colhidos no mercado**

Elemento	Unidade	Custo (R\$)
Mobilização e desmobilização de perfuratriz	und	17.000,00
Perfuração de estaca hélice contínua d=30cm	m	53,00
Aço CA 50 6.3mm	kg	11,00
Aço CA 50 8mm	kg	8,54
Aço CA 50 10mm	kg	7,94
Aço CA 50 12.5mm	kg	7,33
Roletes espaçadores	und	2,50
Concreto usinado bombeável, classe C25	m <sup>3</sup>	420,00
Concreto usinado bombeável, classe C35	m <sup>3</sup>	490,00
Remoção de solo escavado	m <sup>3</sup>	230,00
Escavação mecanizada	m <sup>3</sup>	50,00
Arrasamento de estacas	und	64,00
Estaca pré-moldada posto em obra e cravada	m	190,00
Mobilização e desmobilização de bate estaca	und	7.800,00

Fonte: Autor (2022)

## 5 ANÁLISE DE CUSTO

Para fins orçamentários, foram avaliados apenas os custos diretos envolvidos na execução da infraestrutura de ambos os projetos como materiais, mão de obra e equipamentos. Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os custos para implantação de cada projeto em função das quantidades de serviços e custos unitários obtidos nas composições.

**Tabela 10 - Planilha de custos – Hélice contínua**

Elemento	Serviço	Unid.	Quant.	Custo (R\$)	
				Unitário	Total
Estaqueamento	Mobilização e desmobilização de perfuratriz	und	1,00	17.000,00	17.000,00
	Perfuração de estaca hélice contínua d=30cm	m	320	53,00	14.400,00
	Remoção de solo escavado	m <sup>3</sup>	25	230,00	5.750,00
	Armação de aço CA 50 6.3mm	kg	320	11,00	3.520,00
	Armação de aço CA 50 10mm	kg	640	7,94	5.081,60
	Roletes espaçadores	und	900	2,50	2.250,00

	Concreto usinado bombeável, classe C25	m <sup>3</sup>	23	420,00	9.660,00
	<b>Total</b>				<b>60.221,60</b>
Bloco de coroamento	Escavação mecanizada	m <sup>3</sup>	29	50,00	1.450,00
	Arrasamento de estacas	und	32	64,00	2.048,00
	Forma de chapa compensada 12mm plastificada	m <sup>2</sup>	81	120,00	9.720,00
	Armação de aço CA 50 8mm	kg	67	8,54	572,18
	Armação de aço CA 50 10mm	kg	379	7,94	3.009,26
	Armação de aço CA 50 12.5mm	kg	82	7,33	601,06
	Concreto usinado bombeável, classe C35	m <sup>3</sup>	29	480,00	13.920,00
	<b>Total</b>				<b>31.320,50</b>
<b>Custo total</b>					<b>R\$ 91.542,00</b>

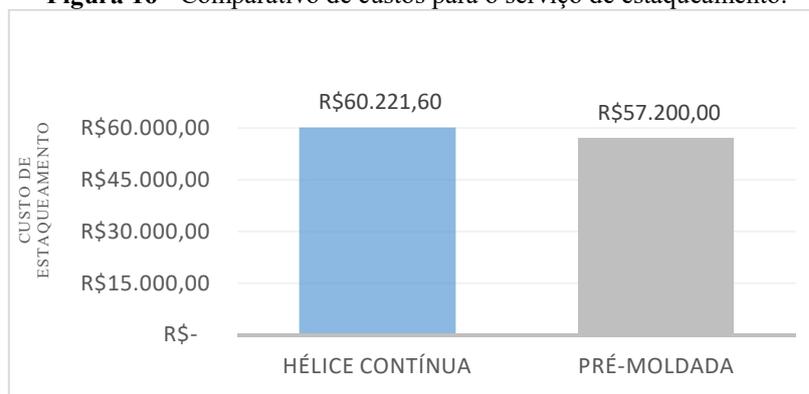
Fonte: Autor (2022)

**Tabela 11 - Planilha de custos – Concreto pré-moldado**

Elemento	Serviço	Unid.	Quant.	Custo (R\$)	
				Unitário	Total
Estaqueamento	Mobilização e desmobilização do bate estaca	und	1,00	7.800,00	7.800,00
	Estaca pré-moldada posto em obra e cravada	m	260	190,00	49.400,00
	<b>Total</b>				<b>57.200,00</b>
Bloco de coroamento	Escavação mecanizada	m <sup>3</sup>	12	50,00	600,00
	Arrasamento de estacas	und	26	64,00	1.664,00
	Forma de chapa compensada 12mm plastificada	m <sup>2</sup>	44	120,00	5.280,00
	Armação de aço CA 50 8mm	kg	41	8,54	350,14
	Armação de aço CA 50 10mm	kg	282	7,94	2.239,08
	Armação de aço CA 50 12.5mm	kg	63	7,33	461,79
	Concreto usinado bombeável, classe C35	m <sup>3</sup>	12	480,00	5.760,00
	<b>Total</b>				<b>16.355,01</b>
<b>Custo total</b>					<b>R\$ 73.555,01</b>

Fonte: Autor (2022)

Analisando separadamente alguns serviços foi possível avaliar e destacar os impactos no custo final das fundações. Na Figura 16 estão apresentados os custos de execução de estaqueamento para estacas hélice contínua (R\$ 60.221,60) e pré-moldadas de concreto (R\$ 57.200,60). O custo da execução em hélice contínua ficou 5,28% mais elevado em relação à estaca pré-moldada de concreto. Esta diferença deve-se aos altos custos relacionados à mobilização/desmobilização dos equipamentos para a solução em hélice contínua, o que poderia ser minimizado para um caso com um número maior de estacas, o que diluiria os custos fixos. O caso de estaca pré-moldada de concreto demonstra uma pequena vantagem financeira por ser executada com menor quantidade de serviços e um número menor de estacas.

**Figura 16** - Comparativo de custos para o serviço de estaqueamento.

Fonte: Autor (2022)

Na Figura 17 é apresentado um demonstrativo dos valores dos custos com os blocos de coroamento. Como pode ser notado, o valor dos blocos de coroamento executados sobre a fundação em hélice foi de R\$ 31.320,50, ou seja, 91,50% maior do que a solução de fundação pré-moldada em concreto. Esta diferença se deu devido as maiores dimensões dos blocos de hélice contínua, e portanto, maior consumo de concreto, formas, aço e movimentação de terra.

**Figura 17** - Comparativo de custos para o serviço de blocos de coroamento

Fonte: Autor (2022)

Na Figura 18 estão apresentados os custos globais das fundações. O custo global do projeto de fundação em estaca em hélice contínua apresentou um valor de R\$ 91.542,10, sendo 24,45% maior do que o custo global do projeto em estacas pré-moldada de concreto.

**Figura 18 - Comparativo de custo global**

Fonte: Autor (2022)

É importante conhecer as características de projeto / obra como prazo de execução, proximidade dos edifícios limítrofes bem como seu tipo de fundação e estado, logística de cada uma das opções, para a determinação da solução mais adequada tendo em vista as vantagens e desvantagens não apenas quantitativas, mas também qualitativas. Entretanto quanto ao custo, sem considerar outras variáveis para escolha do tipo de fundação para o caso proposto, a solução em estaca pré-moldada de concreto aparenta um forte indicativo para sua adoção.

---

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os custos de execução de estaqueamento para estacas hélice contínua foi de R\$ 60.221,60, ou seja, 5,28% mais elevado em relação à estaca pré-moldada de concreto. Ressalta-se os altos custos relacionados à mobilização/desmobilização dos equipamentos para a solução em hélice contínua.

O valor dos blocos de coroamento executados sobre a fundação em hélice foi de R\$ 31.320,50, ou seja, 91,50% maior do que a solução de fundação pré-moldada em concreto.

A solução com estacas pré-moldadas de concreto apresentou um custo global de R\$73.555,01, demonstrando ser mais econômica na execução da obra. O projeto de fundação em estaca em hélice contínua apresentou um custo de R\$ 91.542,10, na ordem de 24,45% maior do que os custos da solução de fundação por estacas pré-moldadas de concreto. Quanto ao custo, sem considerar outras variáveis para escolha do tipo de fundação para o caso proposto, a solução em estaca pré-moldada de concreto aparenta um forte indicativo para sua adoção.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. **Engenharia de Fundações**. 2008. 1ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

ALBIERO, J. H. - **O Emprego de Fórmulas Empíricas na Previsão de Carga Última de Estacas**. São Carlos, EESC-USP, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos - Apresentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **BLOCOS DE FUNDAÇÃO**. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf> Acesso em: 10 out. 2022.

BLÉVOT, J.; FRÉMY, R. **Semelles sur pieux. Annales d'Institut Technique du Bâtimentet des Travaux Publics**. Paris, 1967.

CINTRA, J. C. A; AOKI, N. **Fundações por estacas: projeto geotécnico**, 1. ed, São Paulo, Oficina de textos, 2010, 96p.

MEYERHOF, G.G. - **Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundation. Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division, ASCE**, 99(3), p.197-228. 1976.

SKEMPTON, A. W. - **The Bearing Capacity of Clays. Build Research Congress, The Inst. of Civil Eng., London, Div.1, 1951.180p.**

TIAGO SANTINO DA SILVA BARROS

**COMPARATIVO DE SOLUÇÕES DE PROJETO GEOMÉTRICO E ESTRUTURAL  
DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS E ANÁLISE DE CUSTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Caruaru 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.

---

Prof. Dra. Maria Isabela Marques da Cunha Vieira Bello (Orientadora)  
Núcleo de Tecnologia, Campus Caruaru, Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Avaliador)  
Núcleo de Tecnologia, Campus Caruaru, Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Saul Barbosa Guedes (Avaliador)  
Núcleo de Tecnologia, Campus Caruaru, Universidade Federal de Pernambuco