

Análise de Banco de Dados de Fundações em Radier Estaqueado Na Região Metropolitana do Recife

Marcelo Sabino Costa

Estudante, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, Brasil, marcelosabino96@gmail.com

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Professor, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, Brasil, jtrdo@uol.com

Pedro Eugenio Silva de Oliveira

Professo, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, Brasil, pedrocivil@hotmail.com

Maria Yoná Pereira Lopes

Estudante, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, Brasil, mariayonapl@hotmail.com

Raphael Crespo Pereira

Estudante, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, Brasil, raphaelcrespop@gmail.com

Leandro Inácio da Silva

Engenheiro Civil, Ensolo – Engenharia e Consultoria de Solos e Fundações Ltda, Recife, Brasil, leandro@ensolo.eng.br

RESUMO: Devido ao crescimento populacional e programas governamentais, existe a necessidade de construção de residências, muitas vezes em terrenos que apresentam camadas no subsolo pouco resistentes para a edificação, tornando inviável, economicamente ou eficientemente, soluções habituais de fundação, sendo assim necessário recorrer a outras soluções de modo que viabilize o projeto. A solução de radier estaqueado tem sido analisada e investigada em todo o mundo devido aos seus benefícios econômicos atrelados a uma melhora na capacidade de carga e recalques diferenciais quando comparados com as fundações convencionais. Esse trabalho tem como objetivo analisar e enriquecer um banco de dados já existente da UNICAP, buscando informações e detalhamentos de dados construtivos e técnicos referentes a obras situadas na Região Metropolitana do Recife (RMR), cuja solução de fundação foi radier estaqueado. O banco de dados conta com 60 obras, com espessuras de radier variando entre 20 a 70 cm e o tipo de estacas mais usadas foram pré-moldadas de concreto (32%) e hélices contínuas (22%), o valor médio do comprimento das estacas foi de 12 m e o espaçamento médio foi de 2 m entre as estacas.

PALAVRAS-CHAVE: Banco de dados, Radier estaqueado, Fundações.

ABSTRACT: Due to population growth and government programs, there is a necessity of residential construction, often on terrains with sub-basement layers that are not resistant to edification, making it economically and efficiently impractical for usual foundation solutions, becoming necessary to resort to others solutions to make the project viable. Pile-raft foundation solution has been analyzed and investigated around the world due to its economic benefits linked and improvement in the load capacity and differential settlement when compared with conventional foundations. This paper aims to analyze and enrich the UNICAP database, searching for information and detailing constructive and technical data of Metropolitan Region of Recife (RMR), wich the solution was pile-raft foundation. The database has 60 constructions Works, with radier thickness ranging from 20cm to 70cm and the most used type of pile were precast concrete piles (32%) and contínuos flight auger piles (22%), the mean value of lenght of the piles was 12m and the mean spacing was 2m between the piles.

KEYWORDS: Database, Pile-Raft foundation, Foundation

1 Introdução

A Região Metropolitana do Recife (RMR) apresenta um subsolo bastante complexo do ponto de vista geológico, dentre a identificação das unidades geológicas pode-se destacar: Bacias Sedimentares Cretáceas, Sedimentos Terciários, Sedimentos Quaternários e Embasamento Cristalino. Devido a sua posição geográfica (confinado entre os morros e o oceano atlântico) e a presença de rios, a planície do Recife é formada por sedimentos bastante variáveis. Na planície se identificam dois níveis de terraços marinhos arenosos, correspondente às transgressões marinhas que ocorreram no Pleistoceno e no Holoceno, além de depósito de mangues, sedimentos fluviolagunares e aluviões. Os morros são do embasamento cristalino, com profundo perfil de intemperismo, recobertos ou não pela Formação Barreira, que também repousa sobre os sedimentos das Bacias Cretáceas, (Figura 1).

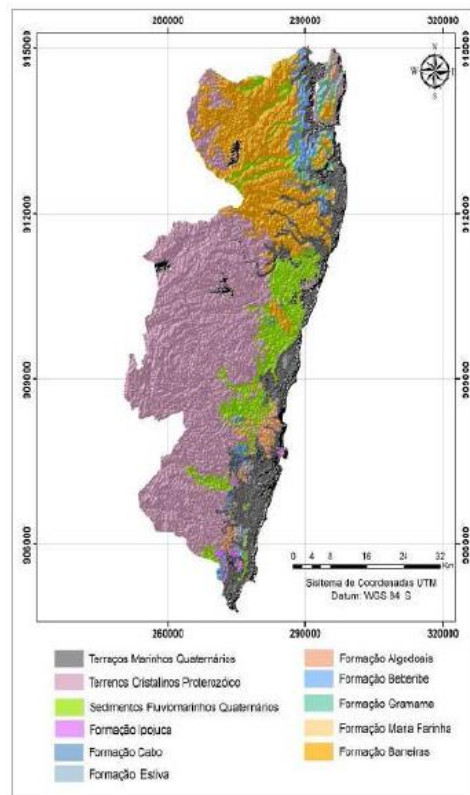


Figura 1. Geologia RMR, Fonte: BARRETO *et al.* 2016 (adaptação)

Devido a esta grande diversidade foi necessário na RMR o desenvolvimento de técnicas e estudos de fundações. Até o fim da década de 90, o mercado de fundações em Recife estava praticamente dividido entre soluções de fundações superficiais, em sapatas isoladas, e estacas moldadas in loco (GUSMÃO FILHO, 1998). Para a viabilidade de fundações diretas é frequente o melhoramento do solo por meio de colunas de areia e brita (A + B) e colunas de argamassa (Ar). Os principais tipos de fundação profunda para a cidade do Recife são: Estaca Hélice Contínua, Estaca Pré-moldada de concreto, Estaca Metálica e Estaca Raiz. No presente momento, o único mapeamento das obras com solução de fundação mista em radier estaqueado é o trabalho de MACHADO, 2018 que antecede este (mapeamento das 27 primeiras obras do Banco de dados).

2 Radier Estaqueado

O Radier estaqueado é um tipo de fundação mista que combina as capacidades de carga de ambas as soluções de fundação, radier e estacas, levando em consideração as interações entre os elementos da fundação e o subsolo. A transmissão de carga da superestrutura para o solo se dá através do fuste e da ponta

da estaca e do contato da base do radier com o solo. Ocorrer então a Interação entre o solo e estaca; Interação entre as estacas; Interação entre o Radier e o solo e Interação entre as estacas e o radier (Figura 2).

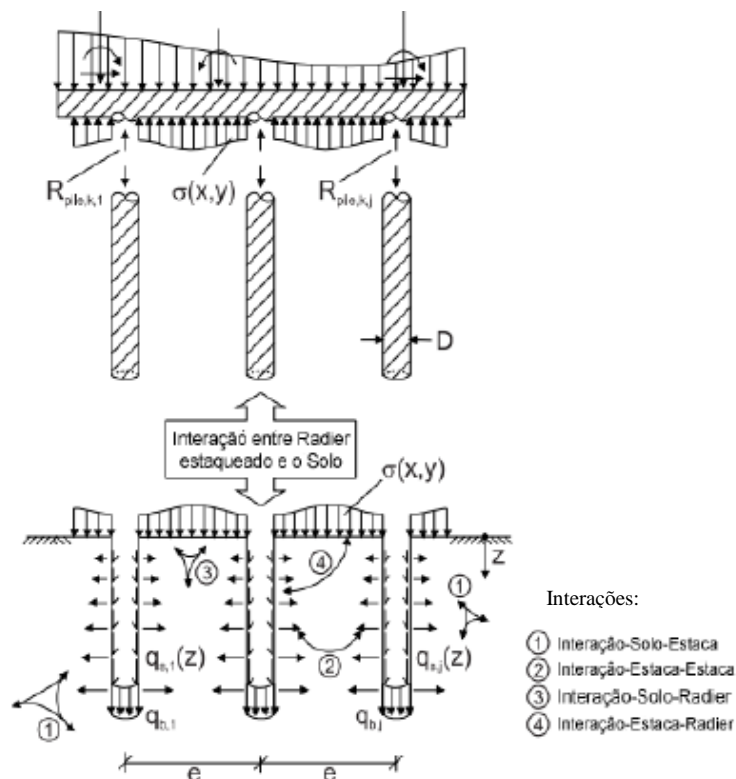


Figura 2. Interação Solo-Estrutura de um radier estaqueado, Fonte: KATZENBACH e CHOUDHURY (2013)

Segundo BURDLAN *et al* (1977) o sistema de radier estaqueado tem como principal função a redução dos recalques diferenciais e assim apenas as estacas são responsáveis por suportar o carregamento. Todavia essa abordagem é considerada conservadora, já que ABDEL-FATTAH e HEMADA (2014) expôs que 30% e 60% da carga total vinda da super-estrutura chega ao solo através do contato radier-solo.

Muito se discute sobre como funciona o sistema misto de Radier estaqueado. Dependendo de como é a transmissão de cargas para o solo o sistema pode ser concebido como o modelo tradicional de projeto de fundações profundas (toda a carga sendo distribuída por meio das estacas), ou ao se considerar a contribuição da placa radier, pode ser concebido como de fato o radier estaqueado onde as duas parcelas de cargas são consideradas na análise (MANDOLINI, 2005).

Pelo fato desta técnica apresentar uma boa flexibilidade, essa solução pode ser vista em edifícios extremamente altos como o Burj Khalifa de 828 metros localizado em Dubai, mas também em obras de porte bem inferior como, por exemplo, as obras do programa Minha Casa Minha Vida (AGUIAR, 2017).

Muitas estruturas no mundo são concebidas em Radier Estaqueado, em literatura técnica, desde edifícios em solos especiais a edifícios altos, de grande sollicitação do terreno. Nesse panorama, as estacas podem contribuir para a capacidade de carga do sistema, ou como elemento redutor dos recalques (ZEEVAERT, 1957).

3 Metodologia

Para a obtenção dos dados foram realizadas visitas técnicas em 27 obras localizadas na Região Metropolitana do Recife (RMR) em 2017, e foram levantadas mais 33 obras, fornecidas por um escritório de projetos geotécnicos local, de obras cuja solução de fundação foi em radier estaqueado no ano de 2019.

Todas as obras visitadas tiveram a supervisão dos seus responsáveis técnicos e todas as obras levantadas junto ao escritório foram autorizadas para o uso na presente pesquisa.

O presente trabalho mostra obras de fundação em Radier estaqueado sem se prender a análise do projeto nem tão pouco ao funcionamento ou projeção da superestrutura sobre a placa. Porém, dentre as últimas 33 obras, levantadas em 2019 junto a um escritório de projetos geotécnicos, foi possível ter acesso, em algumas obras, ao quadro de carga da superestrutura, medição de recalque e sondagens, contribuindo, assim, para o enriquecimento de dados para a análise desta solução.

4 Análise dos Dados e Resultados

Após a obtenção dos dados foi elaborado um banco de dados em forma de tabela (Tabela 1). Na campanha de obtenção de dados realizada no ano de 2019 (obras 28 – 60) foram coletados não só obras de edificações como também de tanques, por isso a primeira coluna de identificação foi introduzida. Os dados em branco significam que o referido dado não estava disponível.

Tabela 1. Banco de Dados, Fonte: Autores (2019)

in	Identificação	Nº blocos/Nº de Tanques (unid)	Apart (unid)	Nº Pav (unid)	Altura do Tanque	A. bloco (m²)	Espessura (m)	Conc armado (unid)	Conc prot (unid)	A/EST	ESP. MEDIO	Quant est (unid)	Tipo est	Diametro (m)	Compr (m)
1	Edificação	15,00	1,00	4,00	0,00	515,38	0,26	15,00	0,00	17,18	4,14	30,00	coluna de argamassa	0,28	7,00
2	Edificação	1,00	1,00	1,00	0,00	649,00	0,30	1,00	0,00	5,41	2,33	120,00	Pré-moldadas	0,30	14,00
3	Edificação	10,00	1,00	4,00	0,00	513,17	0,35	10,00	0,00	15,09	3,89	34,00	Pré-moldadas	0,37	14,00
4	Edificação	4,00	1,00	1,00	0,00	12,25	0,30	4,00	0,00	1,36	1,17	9,00	Hélice continua	0,50	30,00
5	Edificação	4,00	1,00	1,00	0,00	47,58	0,30	4,00	0,00	2,38	1,54	20,00	Hélice continua	0,60	30,00
6	Edificação	1,00	1,00	3,00	0,00	535,00	0,70	1,00	0,00	4,78	2,19	112,00	Hélice continua	0,60	24,00
7	Edificação	1,00	1,00	1,00	0,00	300,00	0,25	1,00	0,00	12,00	3,46	25,00	Pré-moldadas	0,30	12,00
8	Edificação	1,00	1,00	4,00	0,00	451,95	0,70	1,00	0,00	5,72	2,39	79,00	Hélice continua	0,50	30,00
9	Edificação	10,00	4,00	4,00	0,00	133,00	0,25	10,00	0,00	4,43	2,11	30,00	Pré-moldadas	0,30	12,00
10	Edificação	6,00	4,00	4,00	0,00	266,00	0,25	6,00	0,00	4,22	2,05	63,00	Pré-moldadas	0,30	12,00
11	Edificação	4,00	4,00	4,00	0,00	413,82	0,35	4,00	0,00	9,85	3,14	42,00	AREIA E BRITA	0,30	9,50
12	Edificação	2,00	4,00	4,00	0,00	224,00	0,30	2,00	0,00	1,29	1,13	174,00	Coluna de argamassa	0,28	6,00
13	Edificação	1,00	4,00	4,00	0,00	119,35	0,30	1,00	0,00	1,24	1,12	96,00	Coluna de argamassa	0,28	6,00
14	Edificação	5,00	8,00	4,00	0,00	477,84	0,20	5,00	0,00	11,65	3,41	41,00	Pré-moldadas	0,30	9,00
15	Edificação	1,00	1,00	1,00	0,00	55,42	0,55	1,00	0,00	5,54	2,35	10,00	Hélice continua	0,40	19,00
16	Edificação	1,00	8,00	8,00	0,00	497,23	0,35	1,00	0,00	4,60	2,15	108,00	Hélice continua	0,40	16,00
17	Edificação	1,00	1,00	1,00	0,00	1029,32	0,20	1,00	0,00	4,46	2,11	231,00	Coluna de argamassa	0,28	5,00
18	Edificação	1,00	4,00	8,00	0,00	259,60	0,40	1,00	0,00	1,01	1,01	256,00	Coluna de argamassa	0,28	6,00
19	Edificação	3,00	8,00	4,00	0,00	531,88	0,30	3,00	0,00	1,98	1,41	268,00	Coluna de argamassa	0,28	5,00
20	Edificação	3,00	8,00	4,00	0,00	531,88	0,30	3,00	0,00	1,98	1,41	268,00	Pré-moldadas	0,28	8,00
21	Edificação	7,00	8,00	8,00	0,00	475,62	0,60	7,00	0,00	0,78	0,88	613,00	AREIA E BRITA	0,30	3,00
22	Edificação	7,00	8,00	8,00	0,00	420,00	0,35	7,00	0,00	3,89	1,97	108,00	Pré-moldadas	0,35	13,00
23	Edificação	6,00	8,00	8,00	0,00	420,00	0,35	7,00	0,00	3,89	1,97	108,00	Pré-moldadas	0,35	13,00
24	Edificação	25,00	4,00	4,00	0,00	120,00	0,26	25,00	0,00	4,00	2,00	30,00	Coluna argamassada	0,30	8,00
25	Edificação	21,00	4,00	4,00	0,00	210,00	0,30	21,00	0,00	5,25	2,29	40,00	Pré-moldada	0,35	6,00
26	Edificação	24,00	4,00	4,00	0,00	210,00	0,30	24,00	0,00	5,25	2,29	40,00	Pré-moldada	0,35	6,00
27	Edificação	4,00	8,00	8,00	0,00	500,00	0,35	4,00	0,00	0,89	0,94	560,00	AREIA E BRITA	0,30	5,00
28	Tanque	1			2475	179,55	0,6	1	0	3,74	1,93	48	Pré-moldadas	0,4	28,00
29	Edificação	21			-	246,38	0,3	1	0	5,60	2,37	44	Coluna argamassada	0,35	4,00
30	Tanque	1			699	615,75	0,7	1	0	3,33	1,82	185	Hélice continua	0,4	25,00
31	Tanque	1			755	615,75	0,7	1	0	3,33	1,82	185	Hélice continua	0,4	27,00
32	Tanque	1			671	615,75	0,7	1	0	3,33	1,82	185	Hélice continua	0,4	24,00
33	Tanque	1			587	615,75	0,7	1	0	3,33	1,82	185	Hélice continua	0,4	21,00
34	Tanque	6			295	283,53	0,7	1	0	3,05	1,75	93	Hélice continua	0,4	21,00
35	Tanque	2			310	283,53	0,7	1	0	3,05	1,75	93	Hélice continua	0,4	22,00
36	Tanque	2			360	283,53	0,7	1	0	3,05	1,75	93	Hélice continua	0,4	25,00
37	Edificação	5			-	246,38	0,3	1	0	1,47	1,21	168	AREIA E BRITA	0,35	3,00
38	Edificação	4			-	246,38	0,3	1	0	1,47	1,21	168	AREIA E BRITA	0,35	4,00
39	Edificação	5			-	246,38	0,3	1	0	5,60	2,37	44	Coluna argamassada	0,35	5,00
40	Edificação	1			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	6,50
41	Edificação	1			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	4,50
42	Edificação	1			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	2,50
43	Edificação	1			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	6,00
44	Edificação	1			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	5,00
45	Edificação	1			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	4,50
46	Edificação	2			-	440,29	0,35	1	0	1,18	1,09	372	Coluna argamassada	0,3	6,50
47	Edificação	4			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,4	13,50
48	Edificação	3			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,4	13,00
49	Edificação	1			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,3	12,00
50	Edificação	2			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,3	13,00
51	Edificação	1			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,3	12,50
52	Edificação	1			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,3	15,50
53	Edificação	1			-	500	0,35	1	0	4,63	2,15	108	Pré-moldadas	0,3	16,00
54	Edificação	1			-	451,15	0,5	1	0	4,65	2,16	97	Estaca Raiz	0,3	10,00
55	Edificação	1			-	698,76	0,5	1	0	1,43	1,20	487	AREIA E BRITA	0,3	6,00
56	Edificação	1			-	698,76	0,5	1	0	1,43	1,20	487	AREIA E BRITA	0,3	10,50
57	Edificação	3			-	698,76	0,5	1	0	1,43	1,20	487	AREIA E BRITA	0,3	7,50
58	Edificação	3			-	698,76	0,5	1	0	1,43	1,20	487	AREIA E BRITA	0,3	6,50
59	Edificação	2			-	698,76	0,5	1	0	1,43	1,20	487	AREIA E BRITA	0,3	4,50
60	Edificação	1			-	698,76	0,5	1	0	1,43	1,20	487	AREIA E BRITA	0,3	5,50

4.1 Espessura do Radier

Com o banco de dados montado é possível realizar uma análise das espessuras dos radiers, conforme mostrado na tabela 2 o valor médio foi de 40cm, com um desvio padrão de 0,15 e Coeficiente de variabilidade de 38%.

Tabela 2. Parametros estatísticos para a espessura do radier, Fonte: Autor (2019)

média	0,40
desvio pad	0,151
coef. Variab.	38%

Com os dados foi possível montar o gráfico pizza, Figura 3, que mostra que mais do que 50% dos radiers tem espessura entre 30cm a 35cm e apenas poucas obras, 2% apenas, usam o valor médio encontrado. A figura 4 expõem, em porcentagem, a quantidade de obras que usaram acima do valor médio de espessura.

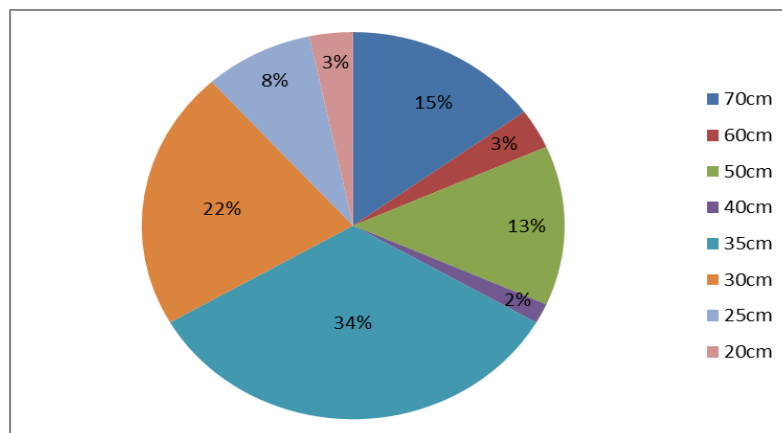


Figura 3. Espessura dos Radiers, Fonte: Autores (2019)

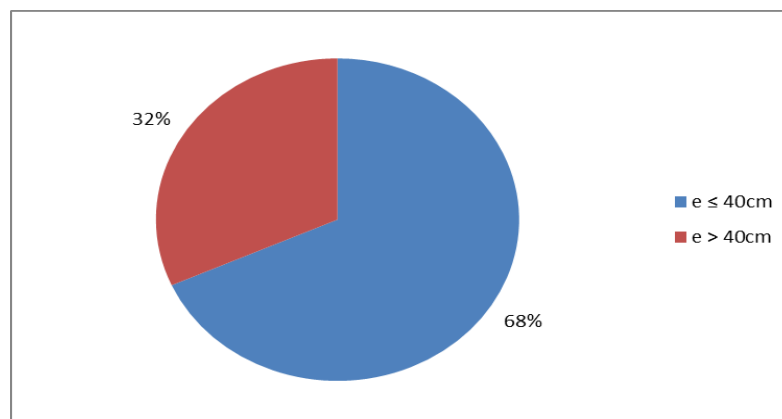


Figura 4. Percentual dos valores maiores e menores que o valor médio, Fonte: Autores (2019)

4.2 Tipos de Estacas/Coluna

Com o banco de dados é possível a visualização dos tipos de estacas que foram executadas nas obras, Figura 5, mostrando que a estaca mais usual foi a estaca pré-moldada de concreto (32%) e a coluna de melhoramento mais usada foi a coluna de argamassa (27%).

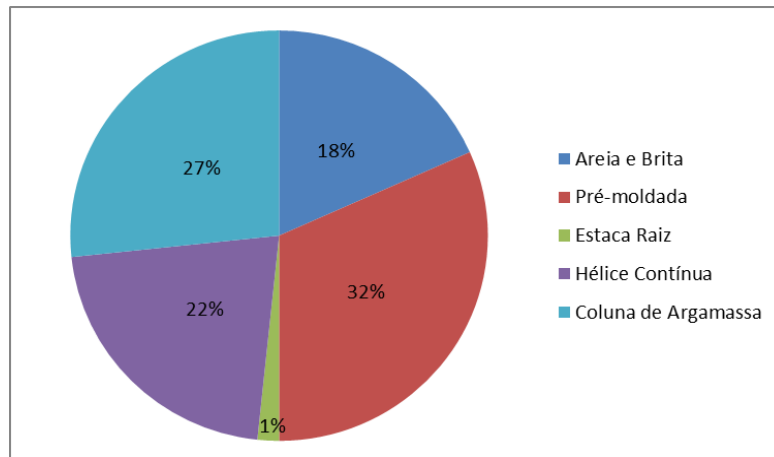


Figura 5. Tipos de Estacas e Colunas, Fonte: Autores (2019)

Como foram levantadas estacas e colunas de melhoramento, foi possível elaborar o gráfico seguinte, Figura 6, que representa a porcentagem de estacas e colunas usadas nas 60 obras.

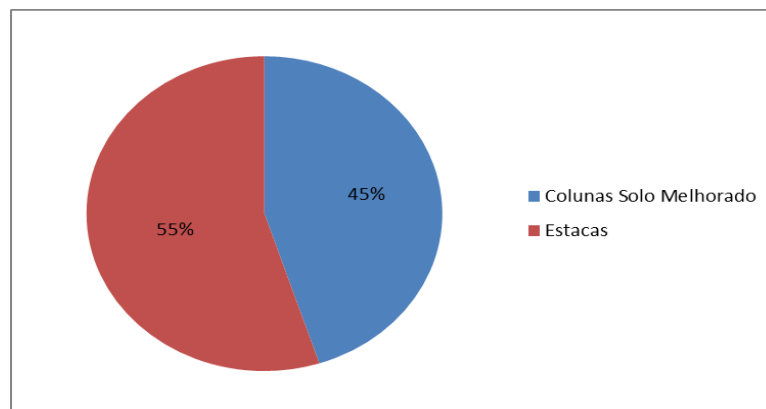


Figura 6. Porcentagem de estacas e colunas, Fonte: Autores (2019)

4.3 Diâmetros das estacas

Foi possível realizar uma análise dos diâmetros das estacas, conforme mostrado na tabela 3 o valor médio foi de 35cm, com um desvio padrão de 0,07 e Coeficiente de variabilidade de 20%.

Tabela 3. Parametros estatísticos para o diâmetro das estacas, Fonte: Autores (2019)

média	0,35
desvio pad	0,071
coef. Variab.	20%

Foram realizadas análises quanto ao diâmetro das estacas onde são mostrados na Figura 7 os diâmetros das estacas que foram utilizadas em todas as 60 obras levantadas. Com os dados da Tabela 3 foi possível a elaboração do gráfico seguinte, Figura 8, que mostra que 73% das estacas apresentam um diâmetro menor ou igual ao valor médio encontrado.

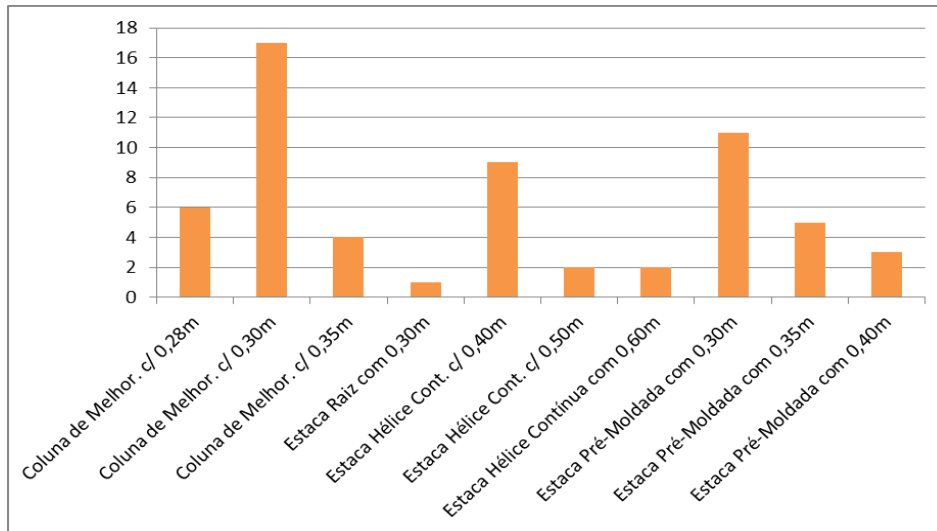


Figura 7. Diâmetro das estacas utilizadas, Fonte: Autor (2019)

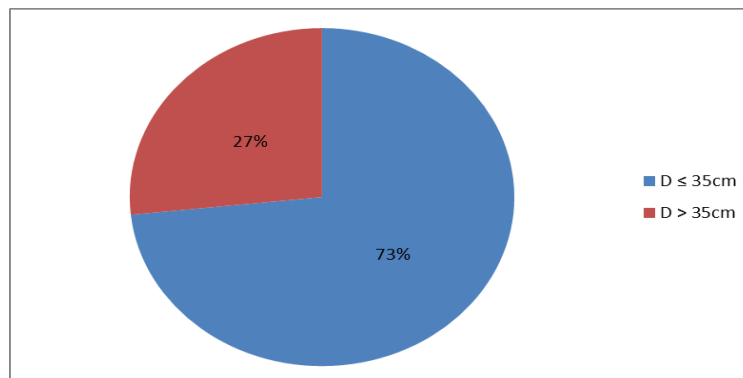


Figura 8. Porcentagem de diâmetros maiores e menores que o valor médio, Fonte: Autores (2019)

4.4 Comprimento das estacas

Foi possível realizar uma análise dos diâmetros das estacas, conforme mostrado na tabela 4 o valor médio foi de 12m, com um desvio padrão de 7,9 e Coeficiente de variabilidade de 66%

Tabela 4. Parametros estatísticos para o comprimento das estacas, Fonte: Autores (2019)

média	12,00
desvio pad	7,947
coef. Variab.	66%

Através da Tabela 4 foi possível construir o gráfico seguinte, Figura 9, que mostra que 60% dos comprimentos utilizados eram menores ou iguais a 12m.

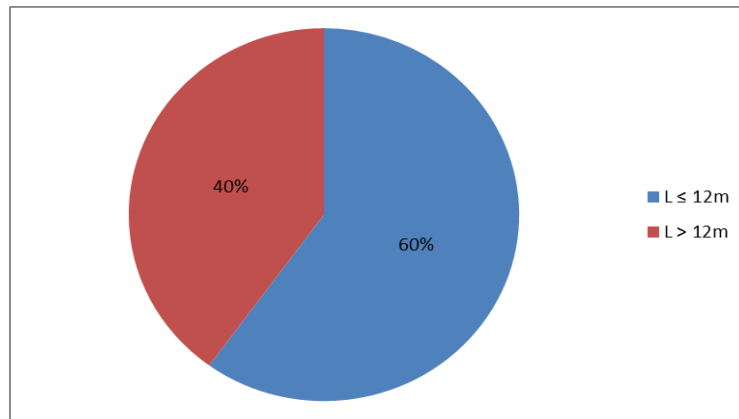


Figura 9. Porcentagens de comprimento maiores e menores que o valor médio, Fonte: Autores (2019)

4.5 Espaçamento médio das estacas

Foi utilizada a equação 1 para calcular o espaçamento médio entre as estacas

$$E_{\text{médio}} = \sqrt{\frac{A_r}{N}} \quad (1)$$

Onde:

$E_{\text{médio}}$ – Espaçamento médio

A_r – Área do Radier

N – Número de estacas

Aplicando essa equação ao banco de dados foi possível calcular o espaçamento médio de cada uma das 60 obras e fazer uma análise estatística deste parâmetro, resultando na tabela 5.

Tabela 5. Parametros estatísticos para o espaçamento médio das estacas, Fonte: Autores (2019)

média	2,00
desvio pad	0,7
coef. Variab.	36%

4 Análise dos Dados e Resultados

Com as 60 obras que compõe a presente pesquisa, foram obtidos dados das espessuras, tipo de estaca, diâmetro, comprimento e espaçamento médio das estacas foi possível observar que o perfil construtivo médio de obras com radier estaqueado é demonstrado na Figura 10.

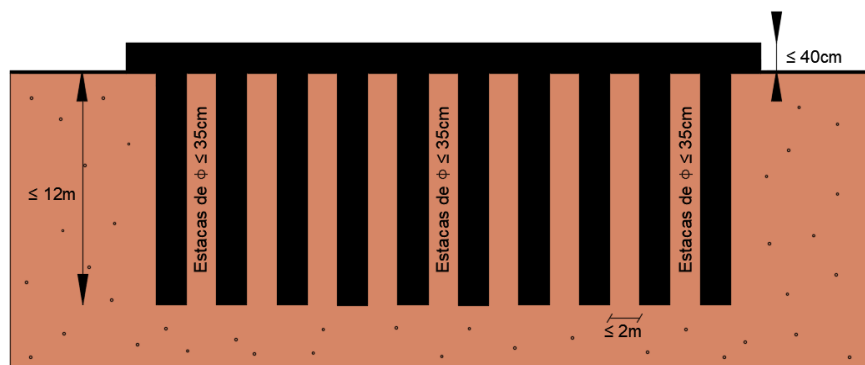


Figura 10. Perfil construtivo obtido, Fonte: Autores (2019)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Fattah, T. T., Hemada, A. A. (2014) *Use of creep piles to control of settlement of raft foundation on soft clay-case study*. In: EIGHTH ALEXANDRIA CONFERENCE ON STRUCTURAL AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, pp 13-14
- Aguiar, L. V. A. (2017) *Estudo paramétrico de radiers estaqueados utilizando o método de elementos finitos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP). Cordenção Geral de Pós-Graduação. 113f.
- Gusmão Filho, J. A. (1998) *Fundações: do conhecimento geológico a prática da engenharia*. Editora UFPE, Recife.
- Katzenbach, R., Choudhury D. (2014) *Combined Pile-raft foundation guideline*, ISSMGE
- Machado, A. E. A. (2018) *Banco de dados de obras em radier estaqueado na região metropolitana do Recife*. Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife
- Mandolini, A. (2005) *Bearing capacity of piled rafts, capacité portante des fondations mixtes semelle-pieux*. In: PROCEEDINGS OF THE 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING. Japan
- Zeevaert, L. (1957) *Compensated friction-pile foundation to reduce the settlement of buildings on highly compressible volcanic clay of Mexico City*. Proc. 4 ICSMFE. London, V.2.