

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Estudo Comparativo Entre Sapatas Assentes em Solo Melhorado e Solo Natural no Litoral da Capital Paraibana

Marcus Alexsandro da Silva Segundo

Bacharel em Engenharia Civil, Uniesp, João Pessoa, Brasil, E-mail: segundomarcus@gmail.com

Carlos Rolim Neto

Mestre em Engenharia Civil, Uniesp, João Pessoa, Brasil, E-mail: carlosrolim@yahoo.com

RESUMO: Este trabalho realizou um estudo comparativo entre os quantitativos que envolvem o dimensionamento e execução de fundações do tipo superficiais, assentadas em solo natural e solo melhorado com a utilização de vibro-deslocamento. O objetivo é comparar os valores executivos que envolvem o dimensionamento de um projeto de sapatas. O comparativo levou em consideração o mapa de cargas proveniente de uma estrutura executada no litoral da capital paraibana, que costuma apresentar um solo granular, com presença de lençol freático aflorando a partir de pequenas profundidades. Os quantitativos analisados englobaram a partir da mão de obra necessária para execução do projeto, até a finalização da etapa construtiva. Após a comparação entre as metodologias construtivas, foi possível obter reduções significativas nos quantitativos, com o auxílio do melhoramento de solo. Com base no estudo, foi possível avaliar que, sempre que possível, é positivamente viável realizar a utilização do método de melhoramento como solução para fundações, ao invés de optar por trabalhar com o solo natural ou até mesmo partir para fundações do tipo profunda.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Fundações Superficiais, Solo.

ABSTRACT: This research carried out a comparative study between the quantitative data that involve the dimensioning and execution of superficial foundations, seated in natural soil and improved soil with the use of vibro-displacement. The goal is to compare the executive values that involve sizing a flat foundations design. The comparative map took into account the load coming from a structure executed on the coast of the capital of Paraíba, which usually has a granular soil, with the presence of water table flowing from small depths. The quantitative data was analyzed from the labor necessary for the execution of the project, until the completion of the construction stage. After comparing the constructive methodologies, it was possible to obtain significant reductions in the quantitative data, with the aid of soil improvement. Based on the study, it was possible to evaluate that, whenever possible, it is positively viable to use the method of soil improvement, instead of choosing to work with the natural soil or even to go to deep foundations.

KEYWORDS: Foundations, Shell Foundations, Soil.

1 Introdução

O avanço da verticalização dos edifícios demandou um estudo mais aprofundado do entendimento de como se relacionam o solo e os devidos elementos de fundação. De forma correlata, a fim de entender melhor o perfil geotécnico do litoral da capital da Paraíba, e como se relacionam os elementos solo-estrutura, são diversos os dificultantes que implicam a opção por fundações do tipo profunda ao invés de fundações do tipo superficiais (ALBUQUERQUE; GARCIA, 2020). A Tabela 1 ilustra o mapa de cargas utilizado para dimensionamento das fundações do projeto:



Tabela 1 – Mapa de Cargas

Elem	VERIFICAÇÃO DE ESTADO LIMITE ÚLTIMO DAS FUNDAÇÕES		
	<u>FZ (tf)</u>	<u>Mx (tfm)</u>	<u>My (tfm)</u>
P1	348,98	-54,14	-5,81
P2	448,21	0,44	69,19
P3	163,64	-29,23	-0,91
P4	414	-0,04	-64,63
P5	634,48	-0,89	-47,13
P6	143,62	30,66	-0,22
P7	473,64	-0,89	-47,13
P8	564,38	-0,13	62,66
P9	535,6	-0,58	-149,37
P10	692,68	-38,99	-0,78
P11	619,09	-4,7	6,4
P12	491,25	2,94	-63,21
P13	513,49	6,46	-14,52
P14	186,07	0,32	39,72
P15	571,36	26,17	-0,38

Com base na Tabela 1, é possível destacar a cargas relativamente elevadas, que precisam ser analisadas para escolha coerente do tipo de fundação. Sendo assim, é possível afirmar que existem diversos critérios para escolha de um tipo de fundação, sendo assim, compreender como se comporta um solo que recebe a estrutura é primordial para um projeto coerente, que equilibra efetividade e segurança. É possível afirmar que uma fundação é composta por um conjunto de elementos, onde o elemento estrutural é responsável por receber as cargas provenientes da estrutura e o elemento do solo, responsável por captar as cargas do elemento estrutural e transmitir ao solo (CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011).

É de conhecimento de engenheiros da região que o solo na parte litorânea da capital paraibana apresenta características que favorecem a utilização de fundações profundas, tendo em vista a baixa capacidade de carga, a presença de um lençol freático em camadas praticamente superficiais e presença de um solo parcialmente granular. Soares e Soares (2002) demonstram que, em solos granulares, quando possível, indicam uma interessante solução para não utilizar fundações profundas, com o auxílio de estacas de compactação, sendo compostas por areia e brita, com finalidade de realizar o aumento da capacidade de carga do solo, trazendo assim a possibilidade de reduzir os custos da solução de fundações. A Figura 1 ilustra a formatação das estacas de compactação, levando em consideração o posicionamento das fundações:



Figura 1 – Posicionamento das Estacas de Compactação

Fonte: Autor (2021)

A Figura 2 indica o processo executivo da compactação das estacas no solo. Primeiramente, no local de inserção das estacas compostas por areia e brita, traço 4:1, o solo é escavado, posicionando o material das estacas, e com o auxílio de golpes do maquinário utilizado para estacas do tipo strauss, compactam o material até a cota de assentamento das sapatas. Vale mencionar que não é possível utilizar estacas deste tipo para altas profundidades, pois, o custo executivo seria muito alto, com isso, este projeto levou em consideração estacas com cinco metros de profundidade. É importante destacar que a intensão de aplicar este tipo de estaca ao solo será apenas para densificar o solo, a fim de tornar o solo mais compacto. (SOARES; SOARES, 2002).

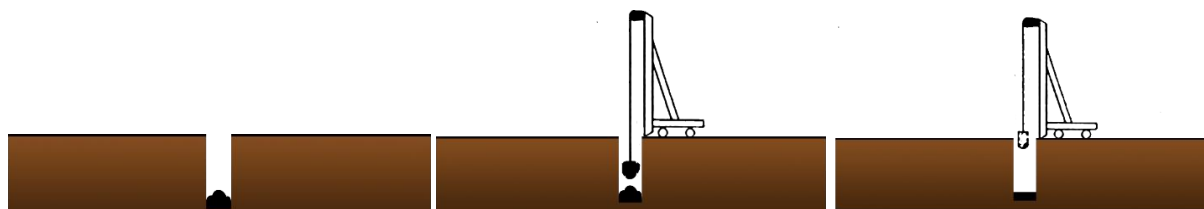


Figura 2 – Processo Executivo das Estacas de Compactação

Fonte: Autor (2021)

2. Metodologia

2.1 Características do solo

A sondagem realizada no solo estudado apresentou diversas características que tornariam amplamente possível a utilização de fundações profundas como solução geotécnica. O lençol freático praticamente aflora no solo, já que começa a se destacar logo no primeiro metro de profundidade de escavação, bem como camadas de solo com características arenosas, e presença de baixa resistência das camadas de solo, onde até os primeiros cinco metros de profundidade, foi possível destacar um N_{SPT} de no máximo 7 golpes para cravar o amostrador padrão 30 centímetros na camada de solo.

2.2 Dimensionamento das Sapatas em Solo Natural

A Tabela 2 indica o dimensionamento realizado para as características de solo em seu estado natural. Com base nas características de solo, é possível esperar que, levando também em consideração o mapa de cargas, as dimensões das fundações, bem como os quantitativos que envolvem sua execução sejam elevadas. Sendo assim, é possível afirmar que:

Tabela 2 – Resumo de Sapatas Dimensionadas em Solo Natural

Sapata	Dimensão (cm)		Altura (cm)	Média dos Recalques	Volume de Concreto (m ³)	Área de Forma (m ²)
	X	Y				
S1	500	575	160	0,51	26,97	11,46
S2	660	595	190	0,51	43,38	15,89
S3	345	430	115	0,44	10,12	5,94
S4	640	575	185	0,5	39,67	14,99
S5	775	710	230	0,54	73,06	22,78
S6	320	405	105	0,43	8,12	5,08
S7	605	680	195	0,52	46,6	16,7
S8	725	660	215	0,54	59,57	19,86
S9	760	665	215	0,5	63,14	20,43
S10	745	820	245	0,55	86,23	25,57
S11	750	685	220	0,55	65,32	21,04
S12	675	610	195	0,53	46,64	16,7
S13	680	615	200	0,54	48,58	17,28
S14	455	385	125	0,43	13	7,01
S15	670	750	235	0,54	68,09	22,24
Totais					698,49	242,97

Fonte: Autor (2021)

2.3 Dimensionamento das Sapatas em Solo Melhorado

A Tabela 3 ilustra o dimensionamento realizado para as características de solo melhorado com a inserção das estacas de compactação, compostas de areia e brita, com traço de 4:1, diâmetro de 30 centímetros,



espaçamento de 80 centímetros e com profundidade total de 5 metros. A configuração adotada leva em consideração que, após a execução da metodologia, seja possível alcançar uma capacidade de carga de 6,00 kgf/cm², sendo necessária uma nova sondagem para confirmação de que foi possível atingir a tensão estimada para dimensionamento do projeto. Soares e Soares (2002) destacam também que, caso seja necessário usar uma profundidade superior a indicada, talvez não seja viável, visto que o custo pode tornar a execução metodológica inviável, tendo assim que optar por fundações do tipo profundas. A partir da nova tensão de solo, é possível estimar que as dimensões que relacionam os quantitativos executivos das sapatas sejam amplamente reduzidos, como é possível identificar:

Tabela 3 – Resumo de Sapatas Dimensionadas em Solo Melhorado

Sapata	Dimensão (cm)		Altura (cm)	Média dos Recalques	Volume de Concreto (m ³)	Área de Forma (m ²)
	X	Y				
S1	230	305	95	0,54	4,17	3,39
S2	340	275	120	0,55	6,89	4,92
S3	160	245	70	0,5	1,75	1,89
S4	335	270	110	0,55	6,12	4,44
S5	385	320	165	0,6	12,31	7,75
S6	145	230	65	0,51	1,4	1,63
S7	275	350	125	0,61	7,38	5,21
S8	365	300	145	0,6	9,67	6,42
S9	405	310	150	0,61	11,51	7,15
S10	330	405	180	0,67	14,51	8,82
S11	370	305	150	0,62	10,29	6,75
S12	335	270	115	0,6	6,4	4,63
S13	345	280	125	0,62	7,41	5,21
S14	250	180	70	0,52	2,01	2
S15	300	380	180	0,63	12,39	8,16
Totais					114,21	78,37

Fonte: Autor (2021)

3. Resultados e Análises

A Figura 3 compara os volumes de concreto utilizados na execução das fundações, ilustrando as diferenças entre cada um das sapatas que serão executadas, representando uma redução de aproximadamente 6 vezes nos quantitativos:

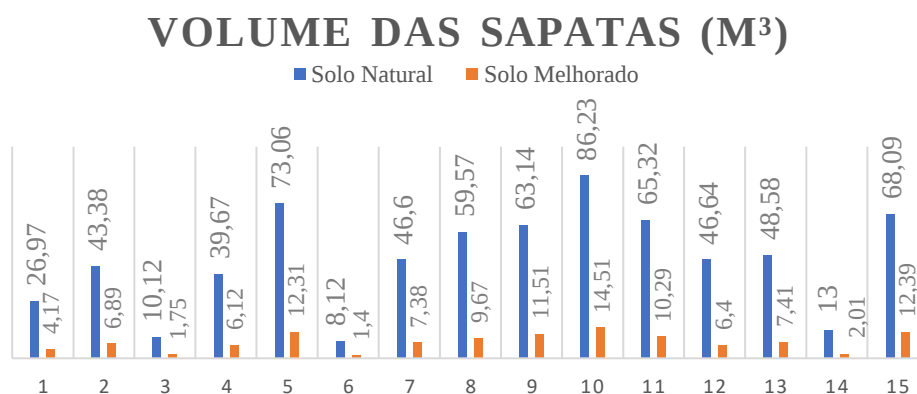


Figura 3 – Resumo de Volume de Concreto das Sapatas

Fonte: Autor (2021)



A Figura 4 compara as áreas de fôrmas utilizadas na execução das fundações, ilustrando as diferenças entre cada um das sapatas que serão executadas, representando aproximadamente uma redução de 3 vezes nos quantitativos necessários para execução:

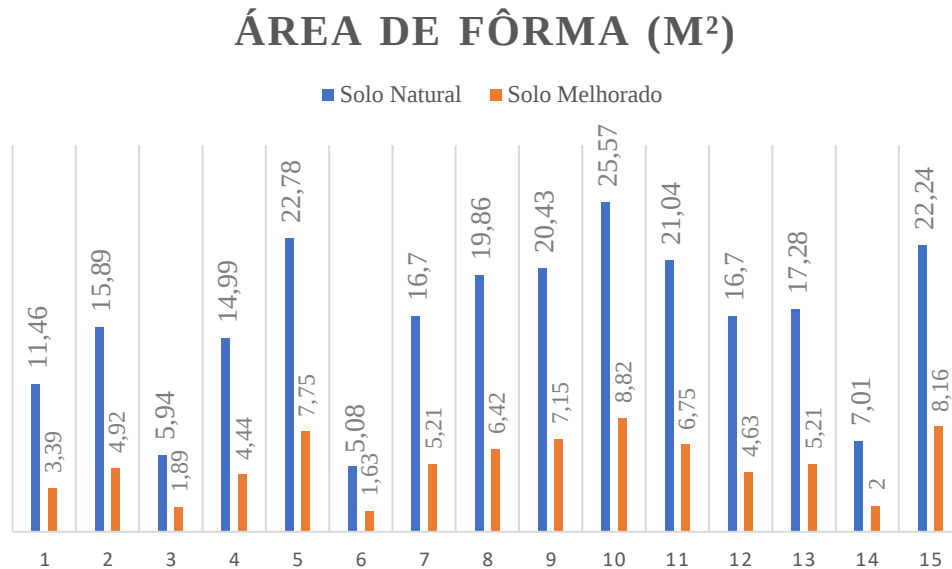


Figura 4 – Resumo de Área de Fôrma das Sapatas

Fonte: Autor (2021)

A Figura 5 leva em consideração os recalques das fundações em centímetros, sendo possível observar que, por mais que a diferença seja baixa, os recalques apresentaram um aumento de no máximo 0,12 centímetros, sendo possível atestar que a solução pode ser viável, visto que a diferença entre as metodologias não é tão alta assim:

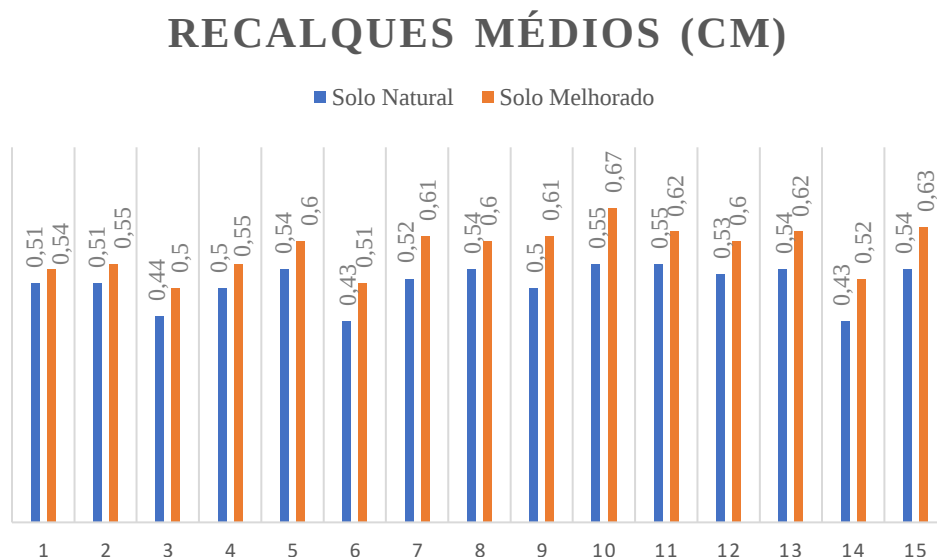


Figura 5 – Resumo das Médias dos Recalques

Fonte: Autor (2021)

A Figura 6 relaciona os custos executivos entre a metodologia de sapata executada em solo natural e solo melhorado. É possível afirmar que, quando comparados de forma direta, a redução entre os valores foi de 64%.

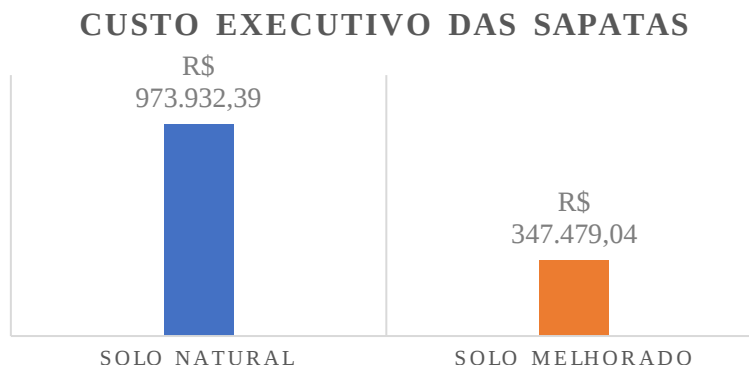


Figura 6 – Custo Executivo das Sapatas

Fonte: Autor (2021)

Os custos foram obtidos por meio da base de dados fornecida pelo SINAPI, para quantificação das quantidades executivas de cada um dos métodos. Entre as composições presentes no banco de dados, não consta o custo estimado para realização do melhoramento, sendo assim, foi necessário realizar uma pesquisa no mercado paraíano para que assim fosse possível estimar os custos para execução da metodologia de melhoramento de solo. O custo do solo melhorado leva em consideração uma mobilização de equipamento de R\$ 5.000,00, como os custos da areia e brita, bem como um custo médio de execução das estacas de R\$ 60,00 por metro escavado.

4. Conclusões

Este trabalho realizou um comparativo entre os custos executivos de sapatas em solo natural com características que favorecem a utilização de fundações profundas, em comparativo com fundações superficiais executadas em solo melhorado com a utilização de estacas de compactação, que aumentam a capacidade de carga do solo.

É possível afirmar que fundações devem fornecer o máximo de segurança possível, visto que, problemas causados por patologias nesta etapa construtiva podem refletir nas demais etapas construtivas da edificação. O melhoramento de solo surge como uma alternativa para, quando possível, aumentar a relação custo-benefício entre as execuções dos métodos, todavia, assim como toda metodologia, o vibro-deslocamento também apresenta seus problemas. A execução das estacas de compactação geram uma certa vibração, por conta dos golpes necessários para realizar a compactação do material, contando como um ponto negativo para execução deste método em grandes centros urbanos.

Já quando é levado em consideração o custo-benefício da utilização do método de melhoramento de solo, a redução total de 64% justificaria a opção como benéfica levando em consideração sapatas em solo natural e solo melhorado. Não é o intuito direto deste trabalho realizar um comparativo entre a metodologia de execução de fundações superficiais e profundas, até porque, sempre que possível, é economicamente mais viável optar por sapatas ao invés de fundações profundas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Centro Universitário de Ensino Superior da Paraíba – Uniesp, ao CAPES e o CNPQ, bem como todos que colaboraram de forma significativa para desenvolvimento deste trabalho.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. *Engenharia de Fundações: Rio de Janeiro: Ltc, 2020. 400 p.*
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI** (*Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil*). Disponível em: < <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 09 nov. 2021.
- CINTRA, José Carlos A.; AOKI, Nelson; ALBIERO, José Henrique. *Fundações diretas: projeto geotécnico. Oficina de textos, 2011.*
- SOARES, V. B.; SOARES, W. C. (2002). *Método Para Previsão Do Aumento Da Capacidade De Carga De Solos Arenosos Do Litoral Nordeste, Após Compactação Do Mesmo Com Estacas De Areia. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. São Paulo, v. 3, p.1427-1436.*