



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

GLAUCO FONSÊCA HENRIQUES

**MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES DE JOÃO PESSOA COM
RELAÇÃO AO PORTE, LOCALIZAÇÃO E DATA DE CONCLUSÃO
DOS EDIFÍCIOS**

JOÃO PESSOA
2019

GLAUCO FONSÊCA HENRIQUES

**MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES DE JOÃO PESSOA COM
RELAÇÃO AO PORTE, LOCALIZAÇÃO E DATA DE CONCLUSÃO
DOS EDIFÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal da Paraíba,
como requisito para obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

JOÃO PESSOA

2019

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

H519m Henriques, Glauco Fonsêca.

Mapeamento das fundações de João Pessoa com relação ao
porte, localização e data de conclusão dos edifícios /
Glauco Fonsêca Henriques. - João Pessoa, 2019.
68 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Fundações. 2. Mapeamento. 3. Terraço Marinho. 4.
Formação Barreiras. 5. Banco de dados. I. Soares, Fábio
Lopes. II. Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

GLAUCO FONSÊCA HENRIQUES

MAPEAMENTO DAS FUNDAÇÕES DE JOÃO PESSOA COM RELAÇÃO AO PORTE, LOCALIZAÇÃO E DATA DE CONCLUSÃO DOS EDIFÍCIOS

Trabalho de Conclusão de Curso em 10/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Fábio Lopes Soares

Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Aline Flavia Nunes Remígio

Aline Flavia Nunes Remígio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Enildo Tales Ferreira

Enildo Tales Ferreira

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

ABSilva

Profª. Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 15495571

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

“Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe.”

Clarisse Lispector

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, não por desviar meu caminho das dificuldades e obstáculos da vida, e sim por me dar força, discernimento e empenho para poder superá-los e aproveitar ao máximo as oportunidades que surgiram durante este ciclo acadêmico.

Agradeço secundamente aos meus pais e à minha família, por sempre me apoiarem e me proporcionarem as melhores condições para que eu pudesse alavancar meus estudos e conhecimento, por mais complicada que fosse a situação financeira que nos encontrássemos.

Agradeço também aos professores do curso que sempre me acompanharam nessa jornada de aprendizagem, muitas vezes dando exemplos de honestidade, caráter e responsabilidade com a vida. Em especial, gostaria de agradecer ao professor Fábio por me orientar e dar o máximo de suporte para realização deste trabalho.

Por fim, e não menos importante, quero reconhecer a grande contribuição que meus amigos fizeram no meu desenvolvimento como pessoa e persistência no curso. Por mais carregado e sufocante que seja uma graduação em engenharia, sempre ficará na lembrança os momentos de alegria, descontração e estudo que os diversos trabalhos em grupo, confraternizações e reuniões no DM trouxeram para nossa vida.

RESUMO

Este trabalho objetiva mapear de forma prática, na cidade de João Pessoa, os tipos de fundação escolhidas para edifícios, nas principais zonas de verticalização da cidade, com diferentes localizações, porte e datas de conclusão, para que se possa realizar análises comparativas entre esses dados e, dessa forma, obter-se conclusões com relação aos avanços tecnológicos na execução de fundações prediais, preferência de determinado tipo de fundação para edifícios em localizações geotécnicas distintas, desusos e tendências de técnicas de fundação com o passar dos anos, etc. Para isso, foram definidos os edifícios que seriam escolhidos para fazer parte do estudo, conforme as principais regiões de crescimento vertical do município, além da área de atuação das grandes construtoras, mapeando-se a localização da obra por meio de sua posição via satélite. Em seguida, desenvolveu-se um banco de dados catalogados de cada edifício, incluindo informações sobre a fundação de cada um deles, as quais foram obtidas com o auxílio de visitas à ENGEObase - Engenharia de Fundações LTDA, aos principais calculistas da cidade de João Pessoa, principalmente aqueles que atuam no mercado da cidade desde o começo de sua verticalização, e também pelo contato com as construtoras dos imóveis catalogados. Por fim, analisou-se comparativamente essas informações por meio de gráficos e tabelas, obtendo-se correlações entre a solução de fundação adotada (direta, profunda ou mista e seus modelos mais usuais escolhidos em João Pessoa), o porte da edificação (número de pavimentos da obra), sua localização (posição do edifício, refletindo a formação geológica a qual ele está inserido, podendo ser para o caso de João Pessoa o Terraço Marinho ou Formação Barreiras) e seu ano de conclusão (refletindo a viabilidade e acessibilidade de diferentes fundações com o tempo).

Palavras-chave: Fundações; Mapeamento; Terraço Marinho; Formação Barreiras; Banco de dados.

ABSTRACT

This paper was produced with the aim to map in a practical way, in the city of João Pessoa, the types of foundations chosen for buildings, in the main zones of verticalization in the city, with different locations, size and completion dates, so that a comparative analysis can be carried out, and thus, conclusions can be reached regarding the technological advances in the execution of foundations, preference of a certain type of foundation for buildings in different geotechnical locations, disuse and tendencies of foundation techniques over the years , etc. For this, buildings were chosen to be part of the study according to the main vertical growth regions of the city, as well as the area of activity of the large construction companies, with the mapping of the location of the building done by satellite. After that, a database of the buildings was developed, including information about the foundation of each of them, which were obtained with the aid of visits to ENGEObase - Engenharia de Fundações LTDA, to the main calculators of the city of João Pessoa, mainly those that have been working in the business since the beginning of the city's verticalization, and also by contacting the constructors of the cataloged buildings. Finally, comparing the information through graphs and tables, obtaining correlations between the adopted foundation solution (direct, deep or mixed and its most usual models chosen in João Pessoa), the size of the building (location of the building, reflecting the geological formation to which it is inserted, which may be, for the case of João Pessoa, the marine terrace or Barreiras formation) and its completion year (reflecting the feasibility and accessibility of different foundations over time).

Keywords: Foundations; Mapping; Marine terrace; Barreiras formation; Database.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Mapa de João Pessoa demarcado pelas suas fases de verticalização..... | 13 |
| Figura 2: Foto aérea do Bairro de Manaíra (1995)..... | 14 |
| Figura 3: Foto aérea do Bairro de Manaíra (2013)..... | 14 |
| Figura 4: Distinção entre fundações diretas e profundas | 18 |
| Figura 5: Principais tipos de fundações superficiais (rasas ou diretas) | 19 |
| Figura 6: Perfil e corte de uma sapata genérica..... | 20 |
| Figura 7: Quatro tipos principais de fundações em radier | 21 |
| Figura 8: Principais tipos de fundações profundas..... | 22 |
| Figura 9: Estacas pré-moldadas de concreto | 23 |
| Figura 10: Estacas metálicas e suas seções transversais | 24 |
| Figura 11: Sequência construtiva da estaca Franki Standard | 25 |
| Figura 12: Exemplo de aplicação de maquinário utilizado para estaca escavada com trado mecânico..... | 26 |
| Figura 13: Processo de escavação de estaca barrete com fluido estabilizante polimérico..... | 28 |
| Figura 14: Processo de escavação de estaca escavada com lama bentonítica | 28 |
| Figura 15: Sequência construtiva da estaca escavada com lama bentonítica | 29 |
| Figura 16: Ilustração da execução de uma estaca tipo hélice contínua | 30 |
| Figura 17: Processo executivo de uma estaca raiz | 31 |
| Figura 18: Exemplos de tipos de fundações mistas | 33 |
| Figura 19: Detalhes do projeto em fundação mista do Burj Khalifa (Dubai) | 34 |
| Figura 20: Localização do município de João Pessoa | 35 |
| Figura 21: Mapa geológico de João Pessoa | 37 |
| Figura 22: Croqui do perfil geológico de João Pessoa | 38 |
| Figura 23: Distribuição amostral geral dos edifícios catalogados com relação a seu porte (número de pavimentos) | 42 |
| Figura 24: Análise do Porte (número de pavimentos) x Tipo de fundação - Terraço Marinho | 44 |
| Figura 25: Análise do Porte (número de pavimentos) x Tipo de fundação - Formação Barreiras..... | 47 |
| Figura 26: Adaptação do maquinário para estacas escavadas (trado mecânico) | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Proporções das unidades geológicas do município de João Pessoa com relação à sua extensão | 37 |
| Tabela 2: Modelo de banco para catalogação dos dados gerais e porte dos empreendimentos..... | 40 |
| Tabela 3: Modelo de banco para catalogação das soluções de fundação dos empreendimentos..... | 41 |
| Tabela 4: Análise das mudanças de escolha de fundação ao longo dos anos - Terraço Marinho | 45 |
| Tabela 5: Estaca hélice-contínua x Estaca metálica - Terraço Marinho | 46 |
| Tabela 6: Análise das mudanças de escolha de fundação ao longo dos anos - Formação Barreiras..... | 48 |

SUMÁRIO

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 12 |
| 1.2. OBJETIVOS | 15 |
| 1.2.1. Objetivo Geral | 15 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 16 |
| 2. REVISÃO LITERÁRIA: TIPOS DE FUNDAÇÕES..... | 17 |
| 2.1. FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS (RASAS OU DIRETAS)..... | 18 |
| 2.1.1. Sapata..... | 19 |
| 2.1.2. Radier | 20 |
| 2.1.3. Melhoramento de solo | 21 |
| 2.2. FUNDAÇÕES PROFUNDAS | 22 |
| 2.2.1. Estaca pré-moldada de concreto | 22 |
| 2.2.2. Estaca Metálica..... | 24 |
| 2.2.3. Estaca Franki | 25 |
| 2.2.4. Estaca escavada com trado mecânico | 26 |
| 2.2.5. Estaca escavada com fluido estabilizante | 27 |
| 2.2.6. Estaca Hélice-contínua monitorada..... | 29 |
| 2.2.7. Estaca-Raiz | 31 |
| 2.2.8. Tubulão a céu aberto..... | 32 |
| 2.2.9. Tubulão a ar comprimido | 32 |
| 2.3. FUNDAÇÕES MISTAS..... | 33 |
| 3. METODOLOGIA | 35 |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDO | 35 |
| 3.1.1. Localização | 35 |
| 3.1.2. Geologia | 36 |
| 3.2. PRIMEIRA ETAPA: ESCOLHA E POSIÇÃO DOS EDIFÍCIOS | 39 |
| 3.3. SEGUNDA ETAPA: FUNDAÇÕES DOS EDIFÍCIOS..... | 40 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 4.1. TERRAÇO MARINHO | 43 |
| 4.1.1. Para edifícios até 25 pavimentos (menor porte) | 45 |
| 4.1.2. Para edifícios maiores que 25 pavimentos (maior porte) | 46 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2. FORMAÇÃO BARREIRAS | 46 |
| 4.2.1. Para edifícios até 15 pavimentos (menor porte) | 48 |
| 4.2.2. Para edifícios maiores que 15 pavimentos (maior porte) | 48 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 50 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| APÊNDICES | 57 |
| APÊNDICE A: DISTRIBUIÇÃO DOS EDIFÍCIOS COM RELAÇÃO À SEU PORTE (NÚMERO DE PAVIMENTOS) PARA OS PRINCIPAIS BAIROS CATALOGADOS - JOÃO PESSOA PB | 58 |
| APÊNDICE B: EXEMPLO - DADOS GERAIS E PORTE DOS EMPREENDIMENTOS CATALOGADOS..... | 61 |
| APÊNDICE C: EXEMPLO - DADOS DE FUNDAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS CATALOGADOS..... | 62 |
| APÊNDICE D: MAPEAMENTO - PORTE DOS EDIFÍCIOS DE JOÃO PESSOA PB | 63 |
| APÊNDICE E: MAPEAMENTO - TIPO DE FUNDAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DE JOÃO PESSOA PB | 64 |
| ANEXOS | 65 |
| ANEXO A: SUPERFÍCIE FREÁTICA PARA O PERÍODO SECO DO ANO - JOÃO PESSOA PB..... | 66 |
| ANEXO B: ZONAS DE RESTRIÇÕES ADICIONAIS - JOÃO PESSOA PB | 67 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas últimas duas décadas, diversos bairros da região metropolitana de João Pessoa apresentaram uma intensa verticalização relacionada à construção de grandes condomínios de edifícios multifamiliares. Em um ranking feito pelo site *brasilvertical* (2013), dentre os 10 maiores edifícios do Brasil em construção ou em fase projetual, cinco estavam localizados em Balneário Camboriú (SC) e três em João Pessoa (PB), sendo esta a única cidade do Nordeste que se permaneceu no ranking até 2018 para edifícios concluídos (G1-PB apud Skyscraper Center, 2018).

Segundo Andrade (2017), uma verticalização bem planejada contribui para a formação de cidades mais acessíveis, eficientes e sustentáveis, visto que um modelo de crescimento urbano horizontal gera muito mais custos de infraestrutura e serviços governamentais (como malha rodoviária, abastecimento de água e saneamento básico) para um mesmo retorno de moradias e benefícios à população.

De forma resumida, essa verticalização de João Pessoa foi classificada, segundo a autora, em três fases:

- 1ª) Fim da década de 50 à meados da década de 70: Verticalização da região mais próxima ao centro pessoense, de acordo com as demandas de mercado, tendência de aquisição da casa própria e ânsia por modernização da cidade como um todo;
- 2ª) Fim da década de 70 à 2005: Grande propagação das moradias com mais de 10 pavimentos para os bairros metropolitanos mais próximos da orla;
- 3ª) De 2005 até hoje: Período de fortalecimento imobiliário e mudanças de políticas públicas, como a regulamentação da outorga onerosa (decreto municipal nº 5.454/2005), o que influenciou no grande aumento do gabarito dos edifícios, uso e ocupação do solo com áreas de lazer e esporte cada vez maiores, além de investimentos de construção em áreas inclusive mais periféricas, porém com forte demandas de mercado e comércio locais.

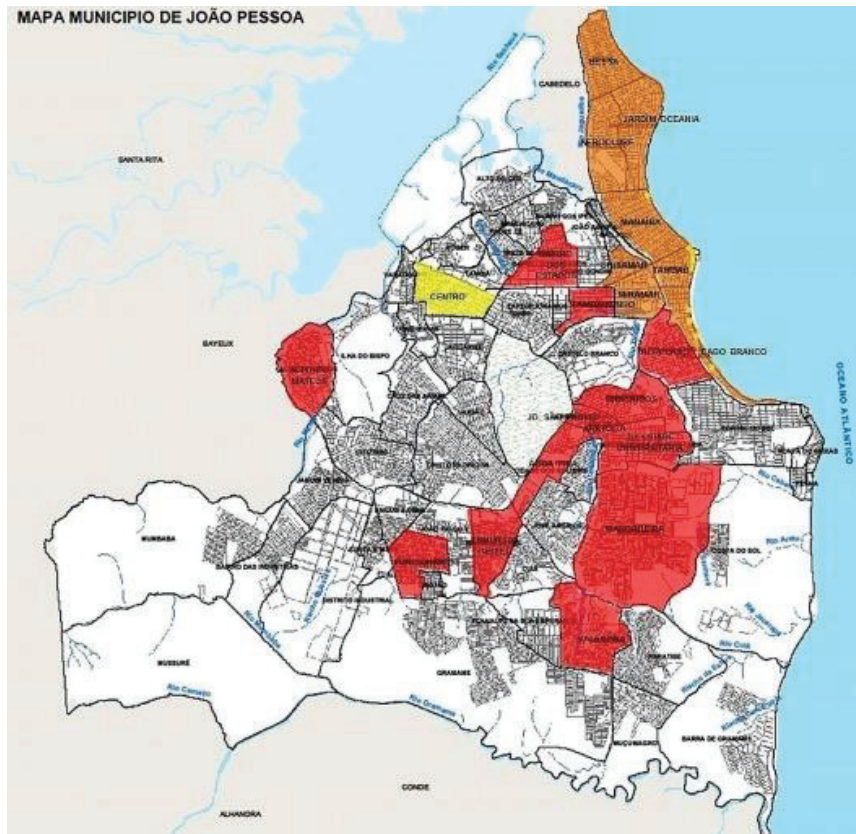


Figura 1: Mapa de João Pessoa demarcado pelas suas fases de verticalização

Fonte: Andrade (2017)

Nota: Amarelo: 1ª fase; Marrom: 2ª fase; Vermelho: 3ª fase (que também inclui bairros da 2ª fase)

Frente à demanda gerada por este rápido crescimento do número e do porte das edificações na cidade de João Pessoa (Figuras 2 e 3), principalmente dos anos 2005 em diante, fez-se necessário que os estudos de solo e as técnicas utilizadas para as fundações dos edifícios acompanhassem esta necessidade e, dessa forma, se modernizassem.

Além disso, como a indústria da construção civil é diretamente influenciada pelas mudanças tecnológicas que ocorrem em seu mercado e ambiente, diversas alternativas de tipos de fundação, que antigamente eram impossíveis de se optar devido à falta de infraestrutura, investimentos e acessibilidade, hoje apresentam-se de forma competitiva no mercado, seja por seu preço, tempo de execução, mobilidade interna em canteiros de obras, etc.

Por isso a solução de um projeto de fundação deve ser cuidadosamente avaliada em termos de desempenho, isto é, se a solução adotada assegura a obra a ser estável, atender às funções para as quais foi construída e não ter comprometida a sua aparência. (BURLAND et al., 1977)



Figura 2: Foto aérea do Bairro de Manaíra (1995)
Fonte: Sales (2014)



Figura 3: Foto aérea do Bairro de Manaíra (2013)
Fonte: Sales (2014)

Apesar da notável verticalização de João Pessoa e de sua representatividade nacional como região de grandes investimentos na indústria da construção civil, existem poucos trabalhos e estudos sobre o mapeamento e análise das fundações do município, principalmente correlacionando dados da solução de fundação adotada com o porte da edificação (número de pavimentos da obra), sua localização (posição do edifício, refletindo a formação geológica a qual ele está inserido, podendo ser para o caso de João Pessoa o Terraço Marinho ou Formação

Barreiras) e seu ano de conclusão (refletindo a viabilidade e acessibilidade de diferentes fundações com o tempo). Dessa forma, torna-se muito importante a realização de estudos comparativos nessa área.

Assim sendo, este trabalho apresenta-se estruturado a partir de uma revisão de literatura relacionada aos tipos de fundações consideradas, que estabelece conceitos inerentes a esta pesquisa (Capítulo 2); A seguir procede-se a caracterização da área de estudo na cidade de João Pessoa, referente a sua localização e geologia (Capítulo 3); Posteriormente, descreve-se a metodologia empregada para obtenção dos dados amostrais relacionados à localização, porte e data de conclusão das obras catalogadas, além da fundação dos edifícios, na área de estudo em questão (Capítulo 4). Na sequência, encontra-se a análise dos resultados, demonstrando o tipo de fundação mais usada para os edifícios em diferentes localizações geotécnicas (Terraço Marinho e Formação Barreiras), também com diferentes proporções de porte (número de pavimentos), e também as mudanças, com o passar dos anos, na escolha destas fundações frente o avanço das tecnologias de execução e modificações na demanda de mercado de João Pessoa (Capítulo 5). Por fim, finaliza-se com as considerações finais (abordadas no Capítulo 6).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Identificar e mapear de forma prática, na cidade de João Pessoa, os tipos de fundação escolhidas para edifícios, nas principais zonas de verticalização do município, com diferentes localizações, porte e datas de conclusão, para que se possa realizar análises comparativas entre esses dados e, dessa forma, obter-se conclusões com relação à preferência dos tipos de fundação para edifícios em localizações geotécnicas distintas, avanços tecnológicos na execução de fundações prediais, desusos e tendências de técnicas de fundação com o passar dos anos, etc.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Mapear a localização (via satélite, com auxílio do Google Earth PRO), porte, data de conclusão e dados sobre o tipo de fundação escolhida para 193 edifícios de referência na cidade de João Pessoa, entre os anos 1990 e 2019;
- b) Analisar conclusões sobre a distribuição de tipo de fundação para determinado porte de edificação (número de pavimentos), tanto para a formação geológica do Terraço Marinho quanto para a Formação Barreiras;
- c) Evidenciar qual a preferência de soluções de fundação para determinado porte de edificação (número de pavimentos), explanando a mudança na frequência de escolha desses tipos ao longo dos anos, tanto para a formação geológica do Terraço Marinho quanto para a Formação Barreiras.

2. REVISÃO LITERÁRIA: TIPOS DE FUNDAÇÕES

A fundação de uma obra de engenharia também é considerada um elemento estrutural, já que tem como objetivo receber e transmitir cargas. Como a própria NBR 6122/2010 cita de diversas formas, é o elemento estrutural responsável por transmitir, de forma segura, os esforços solicitantes ao terreno, conforme especificações de projeto.

Segundo Gonçalves (2014), o projeto de uma fundação começa com a análise dos vários tipos de fundação viáveis, a fim de se poder escolher qual utilizar. Esta escolha dependerá da estrutura a ser construída e do subsolo da região. Dessa forma, faz-se necessário um estudo prévio do subsolo, através de sondagens. Quando para um tipo de estrutura e de subsolo podem ser utilizados vários tipos de fundações sem prejuízo da técnica, a escolha deve ser feita utilizando critérios econômicos.

Além disso, vale ressaltar que principalmente devido à heterogeneidade do solo e à dinâmica existente ao se construir próximo a obras já concluídas, torna-se impossível definir uma simples fórmula para escolha do tipo de fundação de uma edificação.

Conforme Gonçalves (2014), não existe uma lei matemática para escolher uma fundação e sim uma série de fatores que devem ser analisados, como capacidade de carga do terreno, recalques admissíveis da estrutura, fundações vizinhas, além de ser necessário levar em consideração os hábitos construtivos da região, condições econômicas, possibilidades técnicas, etc. Deve-se também estar atento para as novidades que aparecem em termos tecnológicos.

Segundo Rijo (2016), qualquer obra de Engenharia Civil tem uma componente geotécnica, dado que possui, pelo menos, a fundação. Estas podem ser superficiais (diretas), se os terrenos possuírem superficialmente capacidades resistentes adequadas às cargas previstas e às dimensões das fundações, ou profundas, caso seja necessário procurar a maiores profundidades as características resistentes que não estão à superfície.

Além disso, de forma mais técnica e seguindo as recomendações da norma, conforme Velloso e Lopes (2010), a distinção entre estes dois tipos é feita segundo o critério (arbitrário) de que uma fundação profunda é aquela cujo mecanismo de ruptura de base não surtisse na superfície do terreno. Como os mecanismos de ruptura de base atingem, acima dela, tipicamente duas vezes sua menor dimensão, a norma NBR 6122/2010 determinou que fundações profundas são aquelas cujas bases estão implantadas a uma profundidade superior a duas vezes sua menor dimensão e a pelo menos 3 m de profundidade, conforme Figura 4.

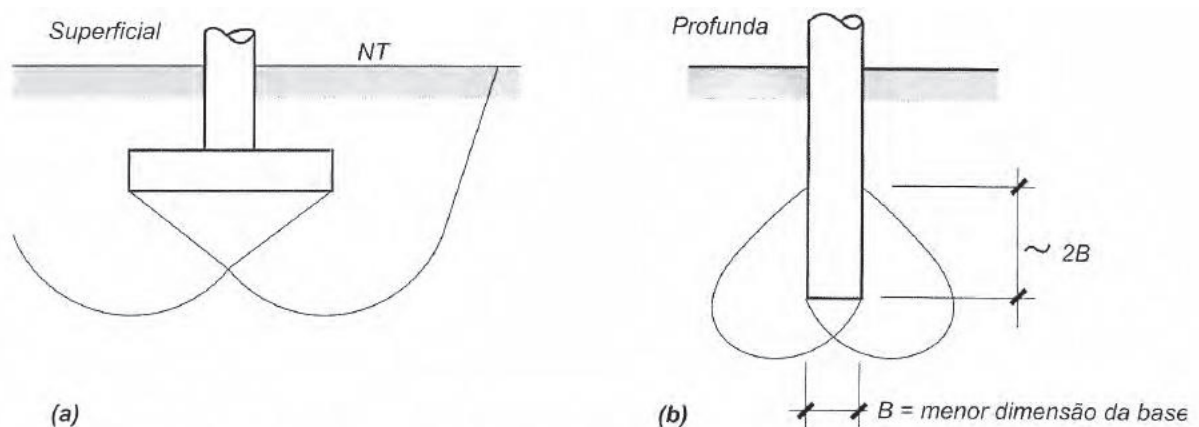


Figura 4: Distinção entre fundações diretas e profundas
Fonte: Velloso e Lopes (2010)

A seguir, o presente trabalho apresentará as fundações mais usadas nos edifícios de João Pessoa (PB), sejam diretas ou profundas.

2.1. FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS (RASAS OU DIRETAS)

Elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. (NBR 6122/2010)

Basicamente, enquadram-se nesta classificação de fundação: as sapatas, blocos, grelha, vigas de fundação, sapata associada e radier, conforme Figura 5.

Vale ressaltar que, neste trabalho, será citado apenas os tipos de fundações diretas que foram consideradas para a maior parte dos edifícios catalogados na cidade de João Pessoa, conforme objetivos especificados.

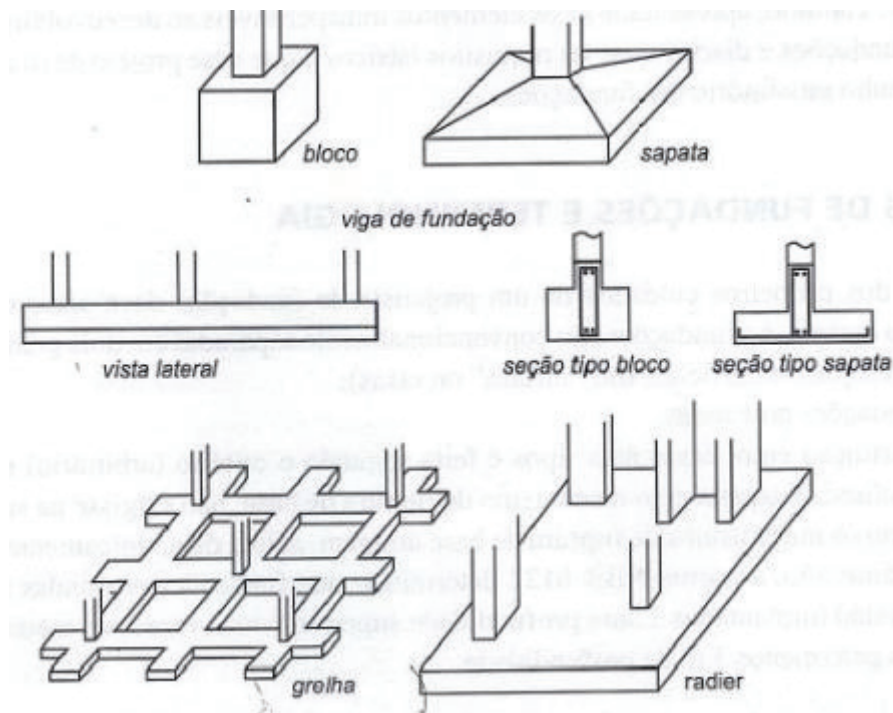


Figura 5: Principais tipos de fundações superficiais (rasas ou diretas)

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Nota: Muitos prédios em alvenaria estrutural de João Pessoa apresentam também soluções de fundação em blocos corridos.

2.1.1. Sapata

Elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim. (NBR 6122/2010)

Pode possuir altura constante ou variável, sendo sua base em planta normalmente quadrada, retangular ou trapezoidal, porém podendo tomar as mais formas diversas, desde círculos até polígonos irregulares, conforme Velloso e Lopes (2010).

Existem diversas variações de sapatas, conforme características específicas da edificação e projeto. Conforme Gonçalves (2014):

- Sapata isolada: Aquela que atende apenas um único pilar;
- Sapata corrida: Segue a ideia de uma sapata contínua para as paredes da edificação, como uma fundação corrida. É de simples execução, baixo custo e normalmente utilizada em construções leves;
- Sapata associada: Utilizada quando as sapatas de dois ou mais pilares ficam muito próximas, ou se superpõem, ou ainda nos pilares de divisa, quando as mesmas não podem invadir o terreno vizinho e, portanto, o centro de gravidade de uma sapata isolada não conseguiria coincidir com o centro de gravidade do pilar.

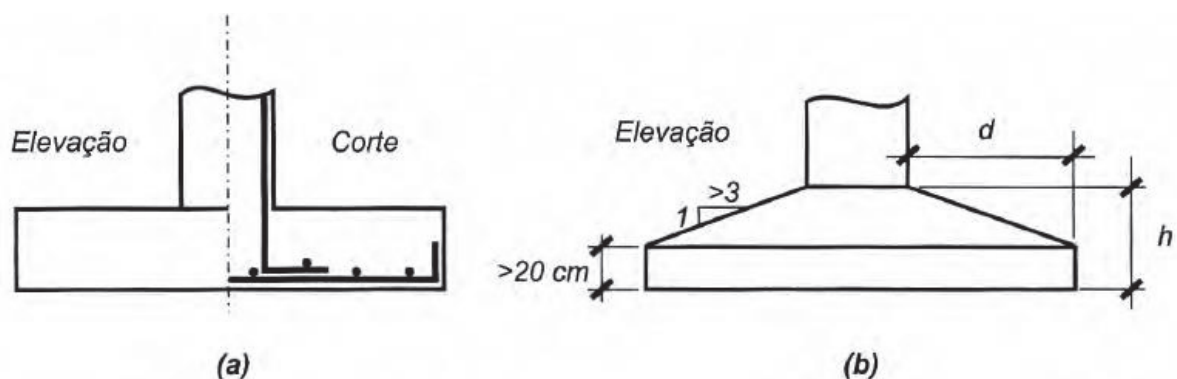


Figura 6: Perfil e corte de uma sapata genérica
Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Nota: Sapatas (a) de altura constante e (b) de altura variável, esta última proporcionando uma economia considerável de concreto em sapatas de grandes proporções.

2.1.2. Radier

Elemento de fundação superficial que abrange parte (radier parcial) ou todos (radier geral) os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos. (NBR 6122/2010)

Segundo Velloso e Lopes (2010), é uma fundação tipo laje armada, utilizada quando as áreas das sapatas se aproximam umas das outras ou mesmo se interpenetram (em casos de cargas elevadas nos pilares e/ou de tensões baixas do terreno), ou ainda quando se deseja uniformizar os recalques da estrutura (através de uma fundação associada).

Além disso, uma orientação prática utilizada é que, quando a área total das sapatas for maior que a metade da área da construção, deve-se adotar o radier, conforme Velloso e Lopes (2010).

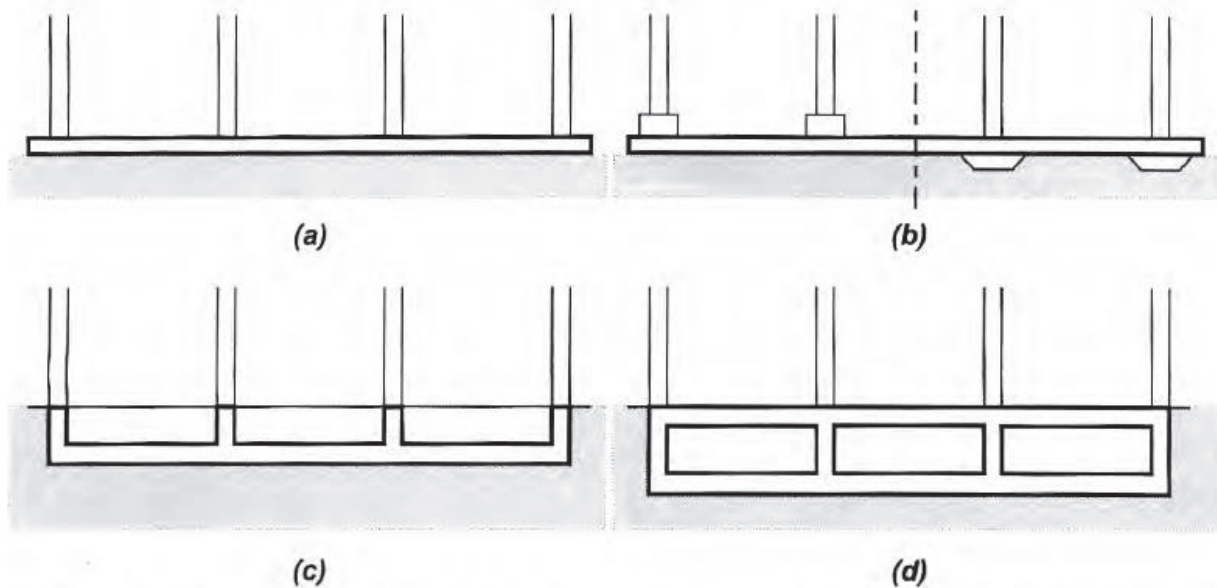


Figura 7: Quatro tipos principais de fundações em radier

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Nota: Utilizando a ordem crescente em relação a rigidez relativa: (a) Radier liso; (b) Radier cogumelo (com pedestais); (c) Radier nervurado (vigas invertidas); (d) Radier tipo caixa

2.1.3. Melhoramento de solo

Segundo Soares (2002), este procedimento é muito utilizado em obras de médio a grande porte, e consiste em um método de melhoria de solo em que estacas são inseridas em terrenos com baixa resistência, com o propósito de justamente aumentar sua resistência e diminuir os recalques da fundação, viabilizando, dessa forma, a opção por fundações diretas e não profundas.

Uma das técnicas de cravação mais utilizada, juntamente com estacas de areia e brita, se chama vibro-deslocamento, na qual a estaca compactada é introduzida no terreno e gera um deslocamento de material igual ao volume introduzido.

Vale ressaltar que, diferentemente das convencionais, essas estacas não estão aptas a receber carga direta da sapata, mas sim uma carga distribuída que também será aplicada no solo melhorado que as circunda.

2.2. FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, devendo sua ponta ou base estar assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas e os tubulões. (NBR 6122/2010)

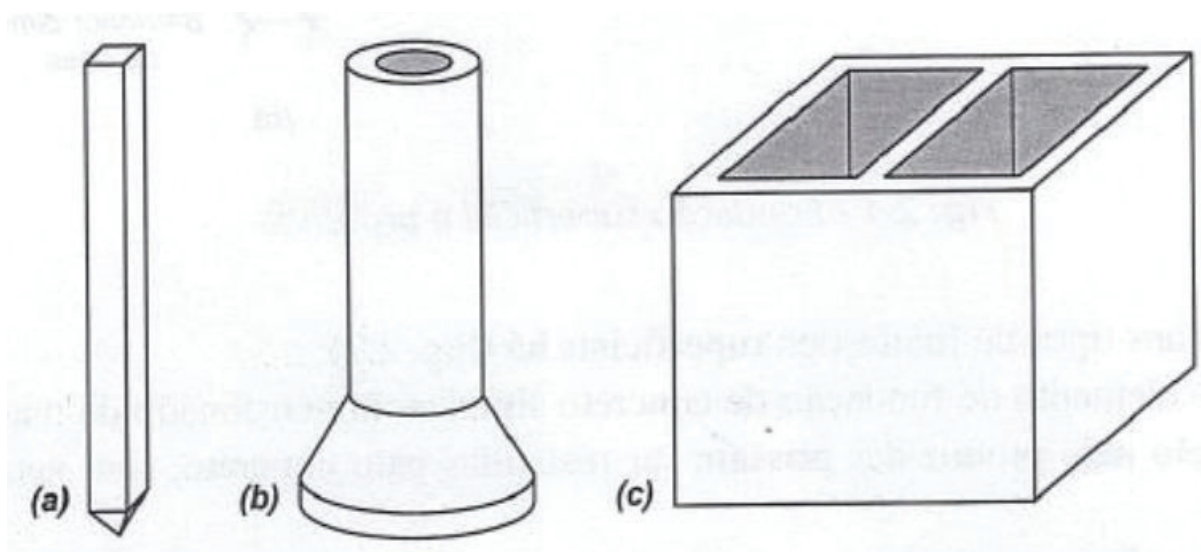


Figura 8: Principais tipos de fundações profundas

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Nota: (a) estaca, (b) tubulão e (c) caixão (este último não citado na norma 6122/2010).

Vale ressaltar que, além da técnica tipo caixão possuir pouca aplicabilidade no mercado de fundações e não estar citada na NBR 6122/2010, neste trabalho, será explorado apenas os tipos estaca e tubulão que foram consideradas para a maior parte dos edifícios catalogados na cidade de João Pessoa, conforme objetivos especificados.

2.2.1. Estaca pré-moldada de concreto

As estacas pré-moldadas podem ser de concreto armado ou protendido, vibrado ou centrifugado, com qualquer forma geométrica da seção transversal, devendo apresentar resistência compatível com os esforços de projeto e decorrentes do transporte, manuseio, cravação e eventuais solos agressivos.

A cravação de estacas pode ser feita por percussão, prensagem ou vibração. A escolha do equipamento deve ser feita de acordo com o tipo, dimensão da estaca,

características do solo, condições de vizinhança, características do projeto e peculiaridades do local. (NBR 6122/2010)

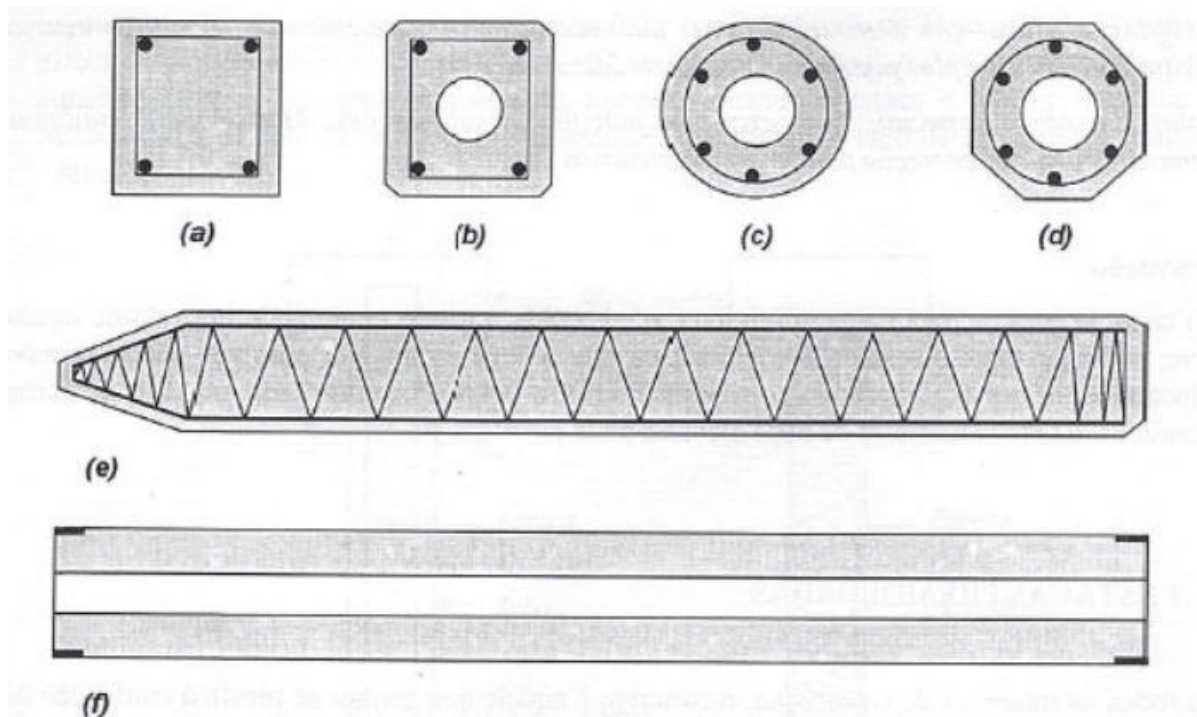


Figura 9: Estacas pré-moldadas de concreto

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Nota: (a) à (d) seções transversais típicas, (e) seção longitudinal com armadura típica (as duas extremidades da estaca apresentam um reforço da armadura transversal necessário por conta das tensões que ali surgem durante sua cravação) e (f) estaca com furo central e anel de emenda (apenas o concreto representado).

Segundo Velloso e Lopes (2010), a principal vantagem de se ter uma estaca de concreto pré-moldada é sua qualidade superior controlada, visto que a mesma é vibrada e curada de forma supervisionada. Logo, os agentes agressivos eventualmente encontrados no solo, não terão nenhuma ação na pega e cura do concreto. Outra vantagem é a segurança na passagem através de camadas muito moles, onde a concretagem in loco poderia apresentar problemas.

Para sua cravação, o processo mais usual é o emprego do bate-estaca, os quais podem ser divididos de acordo com o martelo usado (bate-estacas de gravidade, de simples efeito e de duplo efeito).

Bate-estacas de gravidade são aqueles cuja energia para cravação da estaca é transmitida à mesma pela queda livre de um peso (martelo ou macaco) a uma altura determinada.

Suas principais desvantagens são, além da própria limitação de seção conforme mercado e de problemas relacionados às etapas de transporte, manuseio, cravação e eventuais solos agressivos, já citados pela norma, Velloso e Lopes (2010) cita também a dificuldade de adaptação das estacas às variações do terreno. Se a camada resistente apresentar grandes variações na sua profundidade, e se a previsão de comprimento não for feita cuidadosamente, problemas de corte e emenda das estacas acarretarão em prejuízos para a economia da obra.

2.2.2. Estaca Metálica

Estaca cravada, constituída de elemento estrutural produzido industrialmente, podendo ser de perfis laminados ou soldados, simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos com ou sem costura e trilhos. (NBR 6122/2010)

As vantagens da estaca metálica são, conforme Velloso e Lopes (2010): variadas opções de seção transversal, facilidade de transporte, manipulação e cravação (devido ao peso relativamente pequeno e elevada resistência à tração e compressão), facilidade de corte (maçarico) e emenda (solda) para ajustes de comprimento, com possibilidade de reaproveitamento dos pedaços cortados para prolongamento de outras estacas, além de, em casos especiais, poder se utilizar aços resistentes à corrosão (tipo SAC).

Já com relação às desvantagens, tem-se: problemas da corrosão sobre o tempo de vida das estacas de aço, o qual deve ser objeto de estudo para cada caso, e o custo elevado devido ao próprio material da peça (em comparação ao concreto), o qual também deve ser analisado de forma global antes de se tomar a decisão.

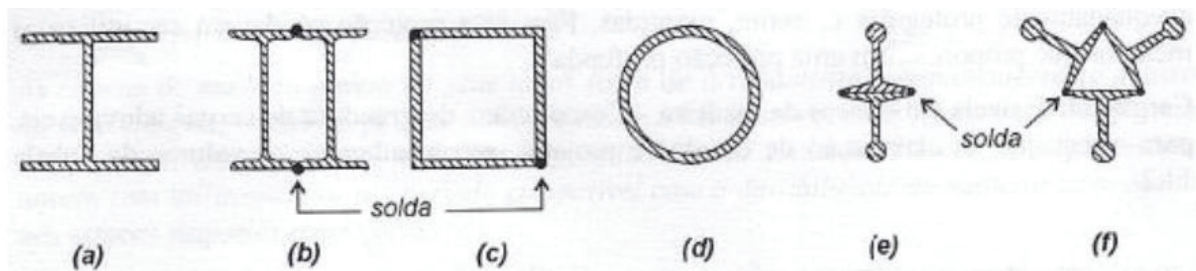


Figura 10: Estacas metálicas e suas seções transversais

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Nota: (a) perfil de chapas soldadas; (b) perfis I laminados, associados (duplo); (c) perfis tipo cantoneira, associados (duplo); (d) tubos; (e) trilhos associados (duplo) e (f) trilhos (triplo).

2.2.3. Estaca Franki

Estaca moldada in loco executada pela cravação, por meio de sucessivos golpes de um pilão, de um tubo de ponta fechada por uma bucha seca constituída de pedra e areia, previamente firmada na extremidade inferior do tubo por atrito. Esta estaca possui base alargada e é integralmente armada. (NBR 6122/2010)

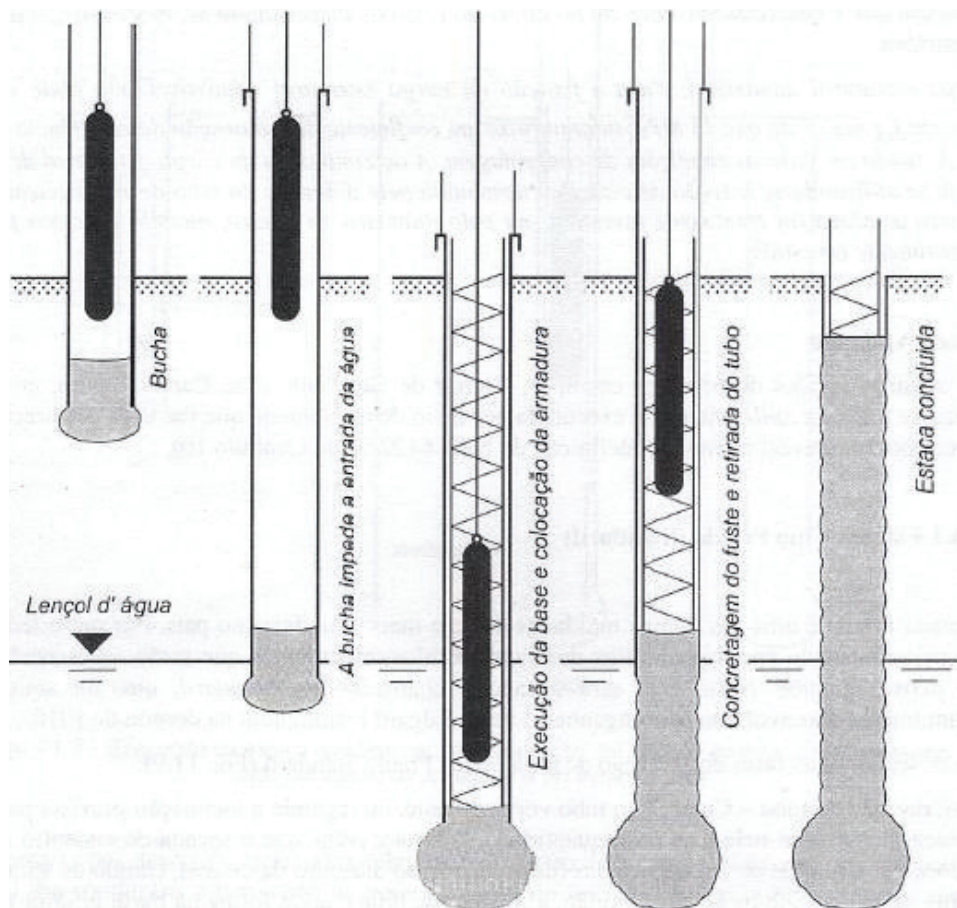


Figura 11: Sequência construtiva da estaca Franki Standard
Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Segundo Velloso e Lopes (2010), a estaca tipo Franki foi desenvolvida pelo engenheiro belga Edgard Frankignoul na década de 1910 (tipo Standard), apresentando variantes da mesma desde então, pois sua principal desvantagem é a grande vibração provocada durante sua cravação que pode prejudicar as estruturas vizinhas (perdendo espaço nos centros urbanos desde então), além do fato dos processos de cura e pega do concreto serem realizadas em contato com o solo.

Como vantagens cita-se: permitir comprimentos menores de estaca por conta de sua base alargada, concretagem no comprimento necessário (ultrapassando

pouco a cota prevista de arrasamento) grande aderência ao solo devido à rugosidade do fuste, além de boa capacidade de carga e distribuição das pressões (pela base alargada).

Vale ressaltar também que a mesma pode ser executada abaixo do nível d'água, devida à “bucha” e o tubo de revestimento impedirem a entrada de água, conforme Figura 11.

2.2.4. Estaca escavada com trado mecânico

Estaca executada por perfuração do solo através de trado mecânico, sem emprego de revestimento ou fluido estabilizante. Um caso particular da estaca escavada mecanicamente é a estaca broca, executada, usualmente, por perfuração com trado manual. (NBR 6122/2010)

Segundo Velloso e Lopes (2010), em sua execução, uma vez atingida a profundidade prevista, faz-se a limpeza do fundo, com a remoção do material desagregado remanescente da escavação. A concretagem é feita com o concreto lançado da superfície do terreno com auxílio de funil.

Vale ressaltar que a estaca não deve ser usada em terrenos em que haja necessidade de ultrapassar o lençol freático, além do lançamento do concreto ser feito diretamente no solo, com seus processos de cura e pega realizados em contato com o mesmo.



Figura 12: Exemplo de aplicação de maquinário utilizado para estaca escavada com trado mecânico
Fonte: ENGEObase (2019)

Nota: Após cada etapa da escavação da estaca, o trado retorna à superfície e expeli o solo escavado, para que uma equipe de funcionários possa retirá-lo, permitindo que o processo se reinicie.

2.2.5. Estaca escavada com fluido estabilizante

Estaca moldada in loco, sendo a estabilidade da parede da perfuração assegurada pelo uso de fluido estabilizante (como lama bentonítica ou polímeros sintéticos) ou água quando tiver revestimento metálico. Recebe a denominação de estaca escavada quando a perfuração é feita por uma caçamba acoplada a uma perfuratriz, e estaca barrete quando a seção for retangular e escavada com utilização de clam-shell. (NBR 6122/2010)

Velloso e Lopes (2010) citam como as principais vantagens desta técnica de fundação a elevada capacidade de carga admissível, a inexistência de perturbações de modo a possibilitar sua execução em áreas urbanas, a possibilidade de conhecimento do solo atravessado e a execução de estacas engastadas em rocha sã (devido a utilização de equipamentos com lâminas diamantadas).

Entretanto, o estrangulamento da seção transversal em solos compressíveis, a mobilização de grandes volumes de concreto em curtos intervalos de tempo, e sobretudo a necessidade do uso de lama bentonítica no processo, são consideradas desvantagens que devem ser analisadas previamente à realização deste tipo de fundação.

Além disso, conforme Velloso e Lopes (2010), a experiência mostra que as paredes de uma perfuração em solo, com seção transversal circular ou retangular, permanecem estáveis quando a perfuração está cheia com lama de bentonita, desde que o nível da bentonita fique em torno de 1,5 ou 2,0 m acima do nível do lençol freático.



Figura 13: Processo de escavação de estaca barrete com fluido estabilizante polimérico
Fonte: COSTA FORTUNA (2009)



Figura 14: Processo de escavação de estaca escavada com lama bentonítica
Fonte: NARESI

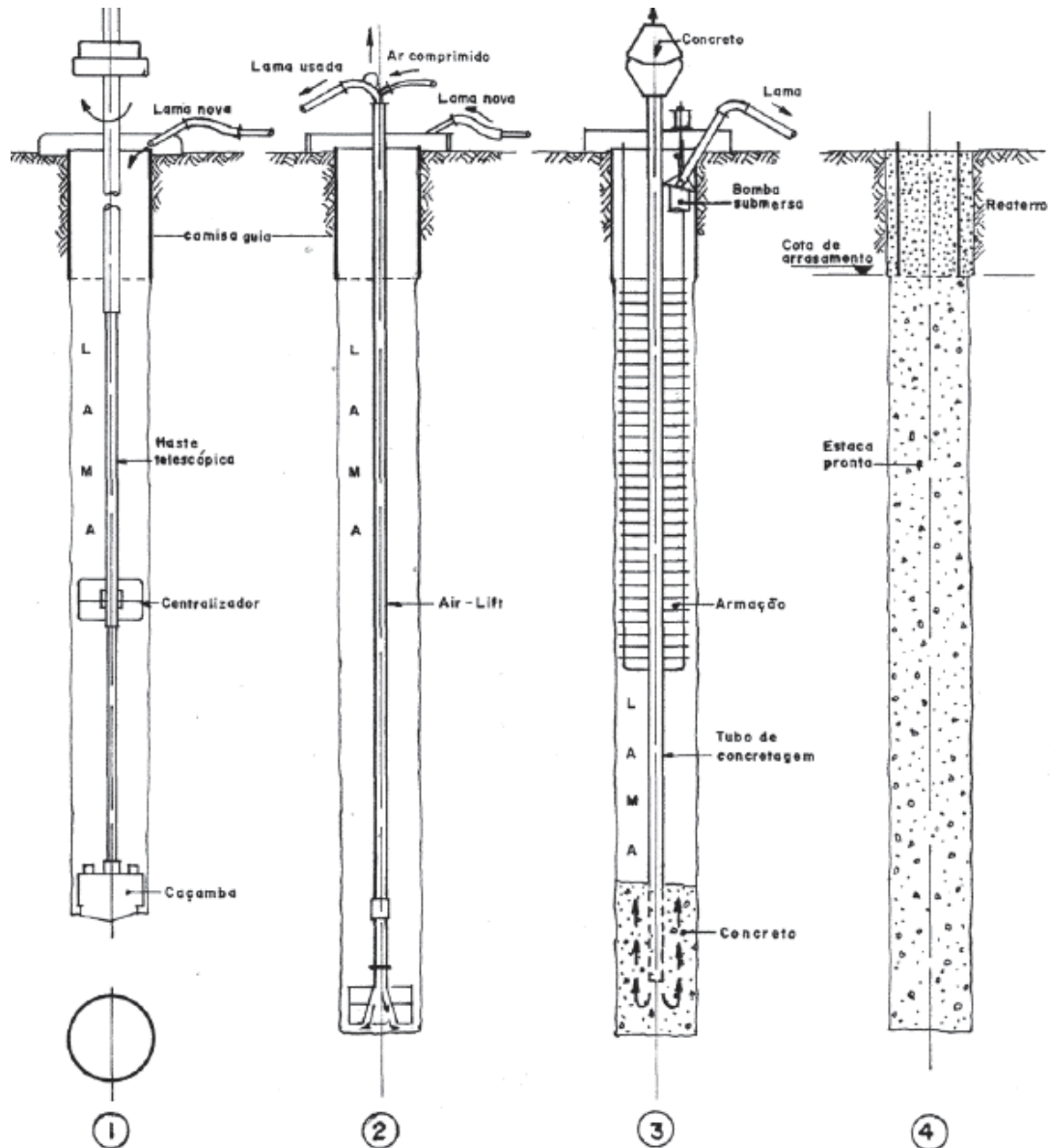


Figura 15: Sequência construtiva da estaca escavada com lama bentonítica

Fonte: Gonçalves (2014)

Nota: (1) Escavação do solo pela ferramenta mecânica e estabilização com a lama bentonítica; (2) Troca da lama bentonítica utilizada na escavação; (3) Colocação da gaiola da armadura e concretagem submersa; (4) Estaca concluída

2.2.6. Estaca Hélice-contínua monitorada

Estaca de concreto moldada in loco, executada mediante a introdução, por rotação, de um trado helicoidal contínuo no terreno e injeção de concreto pela própria haste central do trado simultaneamente com a sua retirada, sendo que a armadura é introduzida após a concretagem da estaca. (NBR 6122/2010)

Conforme Velloso e Lopes (2010), suas principais vantagens são: elevada produtividade, capacidade de trabalho (conforme o concreto utilizado) e baixa vibração, tendo grande aceitação para obras de médio/grande porte.

Conforme Nuernberg (2014), o uso corrente desta técnica para execução de fundações se deve, além de sua capacidade de carga, a elevada produtividade, que culmina na redução do cronograma físico da obra, e consequentemente redução de custos, possibilidade de monitoramento contínuo de cada estaca com armazenamento de registros em computador, possibilidade de execução abaixo do nível d'água, em solos coesivos e arenosos, e na desnecessidade do uso de lama bentonítica no processo executivo, reduzindo problemas ambientais ligados à disposição final do material resultante da escavação. Além, da inexistência de vibrações e ruídos causados por equipamentos a percussão, fator esse, de enorme significância em obras executadas em centros urbanos, sobretudo, em locais próximos de escolas e hospitais.

Como desvantagem, Nuernberg (2014) cita a execução de estaca em terrenos rochosos ou com presença de matacões, planejamento de movimentação do equipamento robusto, exigência de grandes quantidades de concreto devido a elevada produtividade, e a necessidade de um número mínimo de estacas, compatível com o custo de mobilização do equipamento.

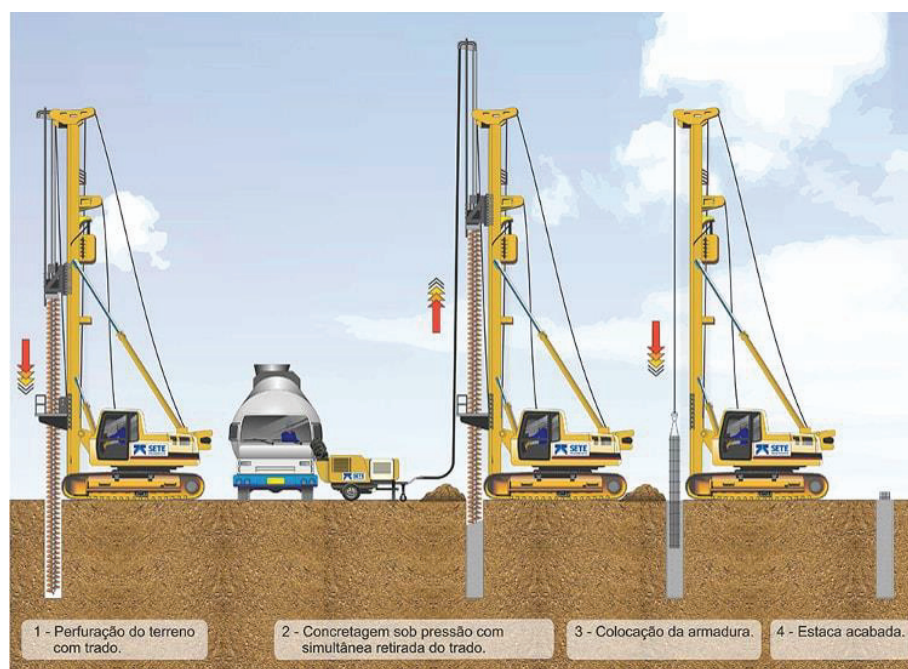


Figura 16: Ilustração da execução de uma estaca tipo hélice contínua

Fonte: APEOP (2018)

2.2.7. Estaca-Raiz

Estaca armada e preenchida com argamassa de cimento e areia, moldada in loco executada através de perfuração rotativa ou rotopercussiva, revestida integralmente, no trecho em solo, por um conjunto de tubos metálicos recuperáveis. (NBR 6122/2010)

Velloso e Lopes (2010) citam como as principais vantagens desta técnica de fundação: ausência de choques e vibrações, execução através de obstáculos como matacões ou peças de concreto, equipamentos de pequeno porte (possibilitando o trabalho em ambientes restritos), execução na vertical ou em qualquer inclinação, além de possuírem maior nível de carga transmitida ao solo por atrito lateral.

Conforme Nuernberg (2014), com a grande versatilidade das estacas do tipo raiz, nota-se o emprego corrente desses elementos estruturais em reforços de fundações, estabilização de solos e encostas, fundações especiais com presença de elevados esforços horizontais e em projetos nos quais se inviabilizam o uso de técnicas tradicionais (como exemplo, realização de fundação do tipo hélice contínua monitorada em terrenos com presença de matacões e/ou maciços rochosos).

Contudo, o custo final deste tipo de fundação torna-se maior quando comparada com outros métodos executivos, uma vez que utilizam maiores taxas de armadura, e também necessitam de sondagens mais minuciosas (sondagem mista e/ou rotativa), de maior valor agregado.

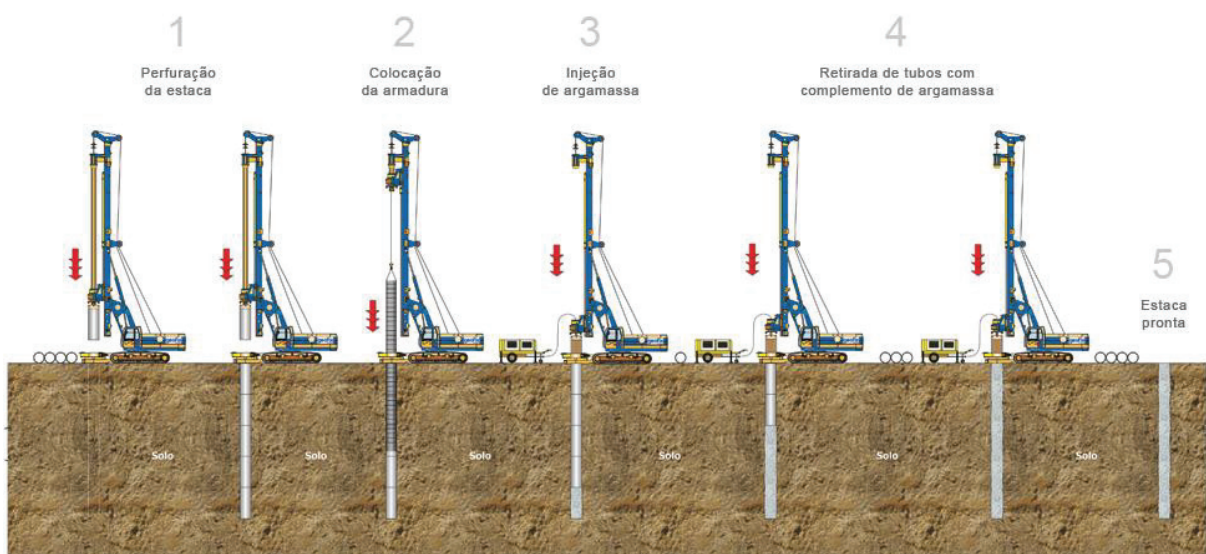


Figura 17: Processo executivo de uma estaca raiz
Fonte: GEOFIX (2019)

Um bom exemplo do uso dessa técnica para a cidade de João Pessoa pode ser encontrado nos 14 viadutos que serão executados nas obras da triplicação da BR-230. Segundo o TCU (2017), o projeto de adequação da capacidade, segurança e melhoria da BR-230 prevê, entre Cabedelo e João Pessoa, numa extensão de 28km, a construção de 14 viadutos (com ampliação de 3 existentes), 14 passarelas, em torno de 40 km de vias marginais, 15 km de ciclovias, serviços de restauração, manutenção e drenagem, além de uma terceira faixa de rolamento.

2.2.8. Tubulão a céu aberto

Trata-se de uma fundação profunda, escavada manual ou mecanicamente, em que, pelo menos na sua etapa final, há descida de pessoal para alargamento da base ou limpeza do fundo quando não há base. Neste tipo de fundação as cargas são transmitidas essencialmente pela base a um substrato de maior resistência. (NBR 6122/2010)

Segundo a referida norma, este tipo de fundação é empregado normalmente acima do lençol freático, a não ser nos casos em que o solo se mantenha estável sem risco de desmoronamento e seja possível controlar a água do interior do tubulão, o que geralmente não ocorre.

Além disso, com relação a sequência executiva, Caputo (1987) cita que deve ser realizado a perfuração do solo (de forma manual ou mecânica) concomitantemente com a cravação do revestimento (caso necessário) até a cota estimada por projeto. Inicia-se então o alargamento da base, para então o posicionamento da armadura (caso necessária) e concretagem do fuste.

2.2.9. Tubulão a ar comprimido

Segundo a NBR 6122/2010, este tipo de solução é empregado sempre que se pretende executar tubulões abaixo do nível d'água em solos que não atendam às condições favoráveis para o tipo a céu aberto. A escavação do fuste destes tubulões e sempre realizada com auxílio de revestimento que pode ser de concreto ou de aço

(perdido ou recuperado), além do restante da sequência construtiva seguir a mesma ideia do tipo a céu aberto.

Conforme Nuernberg (2014), devido à presença de operários no processo executivo de tubulões a ar comprimido, alguns cuidados devem ser rigorosamente observados: diâmetro mínimo do fuste de 80,0 cm para descida dos mesmos, profundidade máxima de 35,0 m abaixo do nível d'água (pressão suportável pelo organismo humano) e por fim, tempo de descompressão controlado.

2.3. FUNDAÇÕES MISTAS

Segundo a NBR 6122/2010, trata-se do tipo de fundação profunda constituída por dois segmentos de materiais diferentes (madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco, etc).

Como cita Velloso e Lopes (2010), as fundações mistas baseiam-se na junção de elementos de fundações superficiais com profundas. Pelo fato de cada elemento possuir comportamento diferente, pode resultar em patologias na estrutura. Os tipos de fundações mistas mais utilizados destacam-se na Figura 18.

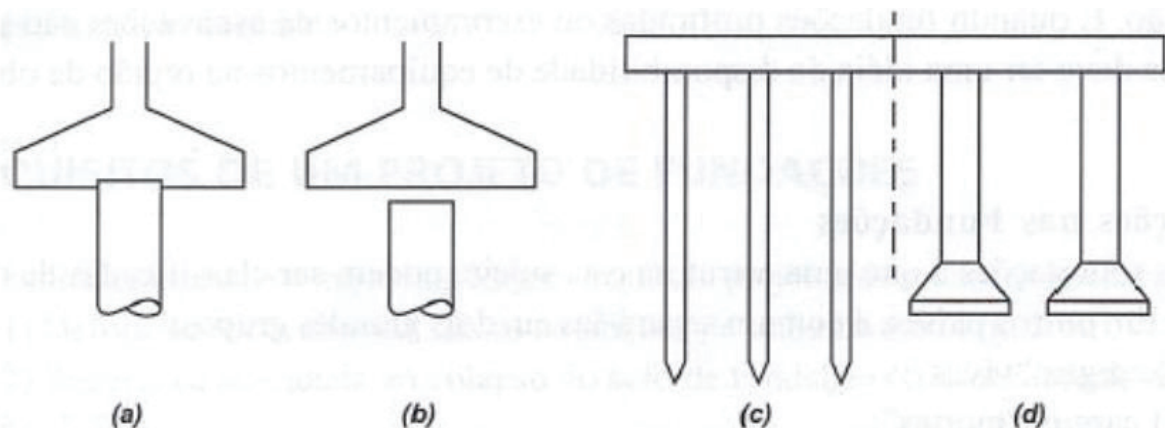


Figura 18: Exemplos de tipos de fundações mistas

Fonte: Velloso e Lopes (2010).

Nota: (a) sapata associada à estaca (chamada “estaca T”); (b) sapata associada à estaca com material compressível entre elas (chamada “estapata”); e radier sobre (c) estacas ou (d) tubulões.

Um bom exemplo deste tipo de fundação é o radier estaqueado empregado em arranha-céus, como no caso do edifício Burj Khalifa (Dubai), que ocupa a posição de edifício mais alto do mundo com 828 metros de altura, utilizando-se de

um radier de 3,7 metros de espessura, suportado por estacas de 1,5 metros de diâmetro e aproximadamente 50 metros de profundidade, conforme ilustrado na Figura 19. (POULOS e BUNCE, 2008)

Vale ressaltar que é muito comum na indústria da construção civil expressões errôneas como “radier estaqueado” para indicar sapatas com estacas, “radier” para indicar vigas baldrame (ou vigas de fundação), entre outros termos.



Figura 19: Detalhes do projeto em fundação mista do Burj Khalifa (Dubai)
Fonte: Souza (2014)

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

3.1.1. Localização

Conforme Barbosa (2015) e o IBGE (censo 2010), o município de João Pessoa está localizado na porção centro-sul do litoral do estado da Paraíba, fazendo limites com os municípios de Cabedelo ao norte, Conde ao sul, Bayeux e Santa Rita a oeste, e com o Oceano Atlântico a leste. Se encontra na Mesorregião da Zona da Mata Paraibana e Microrregião de João Pessoa, tendo área total de 211,47 km².

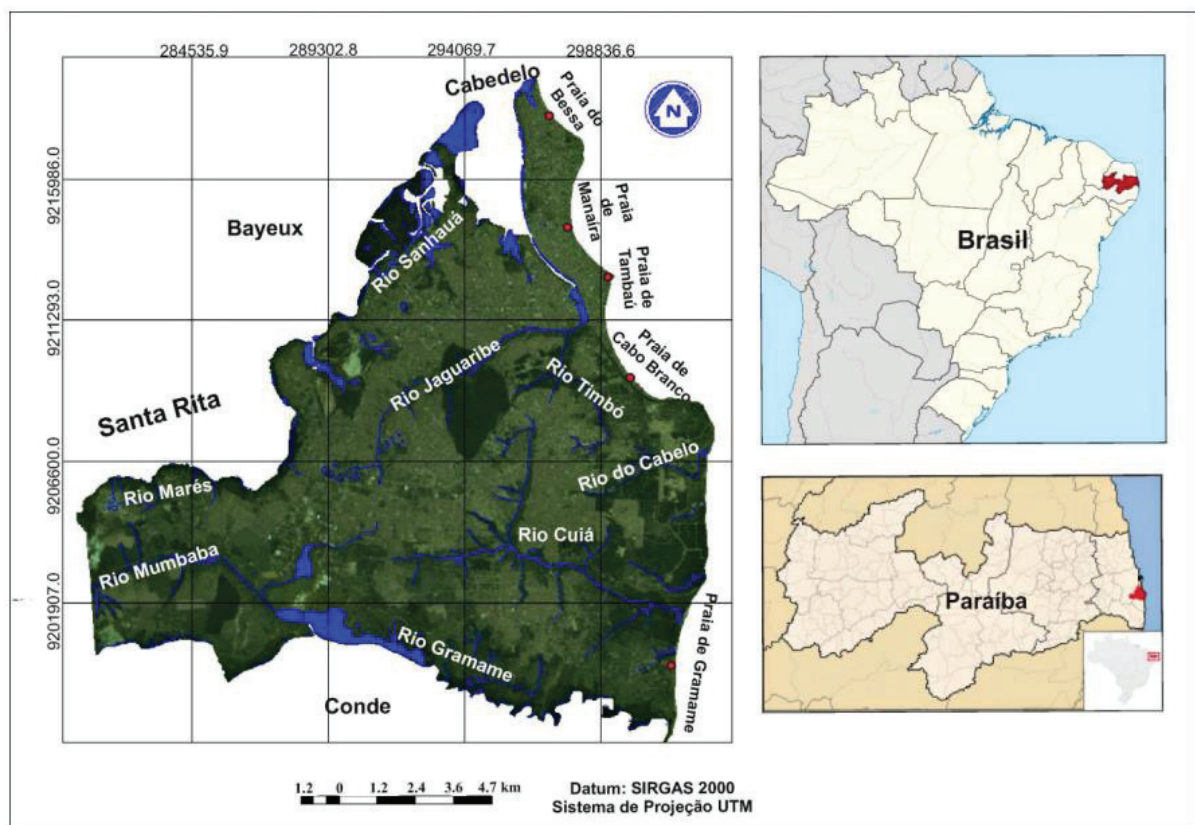


Figura 20: Localização do município de João Pessoa
Fonte: Barbosa (2015)

Com relação ao foco de estudo, as áreas onde podemos encontrar maior concentração de edifícios e condomínios verticais em João Pessoa, principalmente de grande porte, são àquelas situadas próximas aos bairros da orla pessoense,

conforme comentado na introdução deste trabalho. Logo, compreende principalmente os bairros: Bessa, Jardim Oceania, Aeroclube, Manaíra, Tambaú, Cabo Branco, Altiplano, Miramar, Brisamar, Bairro dos Estados, Pedro Gondim, Tambauzinho e João Agripino.

3.1.2. Geologia

Conforme CPRM (2002), o substrato geológico paraibano é formado predominantemente por rochas pré-cambrianas, as quais ocupam mais de 80% do seu território, sendo complementado por bacias sedimentares, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias.

A localização do município de João Pessoa se dá, em maior parte, segundo Furrier et al. (2007), sobre a unidade denominada de Formação Barreiras – sedimentos arenoargilosos mal consolidados, que repousam de forma discordante, respectivamente de oeste para leste, sobre o embasamento cristalino pré-cambriano e sobre os sedimentos da Bacia Sedimentar Marginal da Paraíba.

Conforme Arai (2006), o Grupo Barreiras (ou a Formação Barreiras) chamou atenção dos navegadores portugueses que chegaram à costa brasileira em 1500, por apresentar uma geomorfologia muito peculiar. Essa feição – “barreiras” – ocorre de modo consistente ao longo do litoral brasileiro, desde o Estado do Amapá até o Estado do Rio de Janeiro. Sua regularidade no modo de ocorrência e na característica litológica é incompatível com a origem continental apregoada tradicionalmente.

Entretanto, conforme Barbosa (2015), apesar de João Pessoa apresentar a Formação Barreiras como unidade geológica de maior teor em sua extensão geográfica, cobrindo 136,57 km² de sua área ou 67%, pode-se destacar também algumas das unidades do Grupo Paraíba (Formação Beberibe, Gramame e Maria Farinha) em trechos de menor extensão, conforme Tabela 1 e Figura 21.

| Classes | Área em km ² | Área em % |
|--------------------------------|-------------------------|-----------|
| Aluviões e sedimentos de praia | 71,79 | 32 |
| Formação Barreiras | 136,57 | 67 |
| Formação Gramame | 1,89 | 0,9 |
| Formação Beberibe | 1,22 | 0,1 |
| Total | 211,47 | 100 |

Tabela 1: Proporções das unidades geológicas do município de João Pessoa com relação à sua extensão

Fonte: Barbosa (2015)

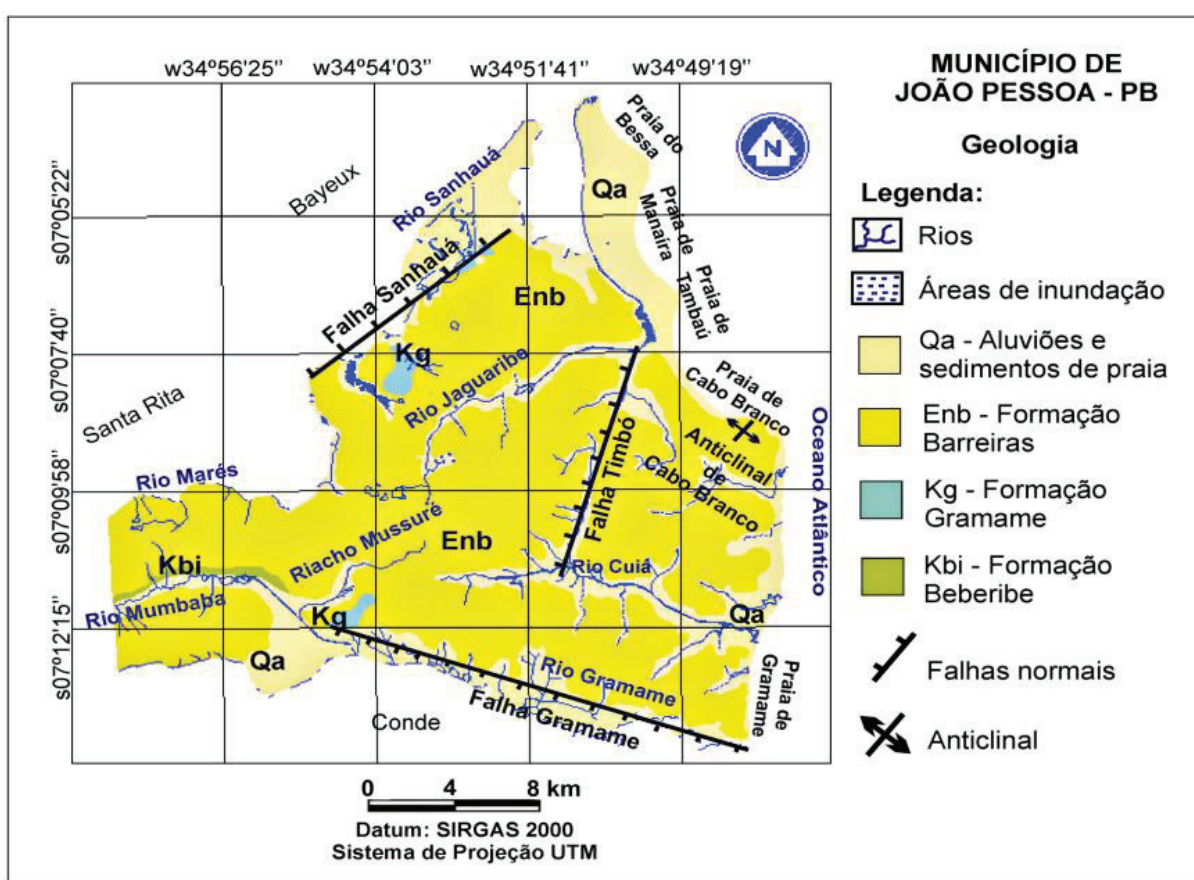


Figura 21: Mapa geológico de João Pessoa
Fonte: Barbosa (2015) adaptado do CPRM (2002)

Com relação ao foco de estudo, ou seja, os bairros citados no item 3.1.1., basicamente todos estão situados em duas formações geológicas: Terraço Marinho e Formação Barreiras, tendo o Rio Jaguaribe como mediador entre ambos, conforme planta na Figura 21 e perfil na Figura 22.

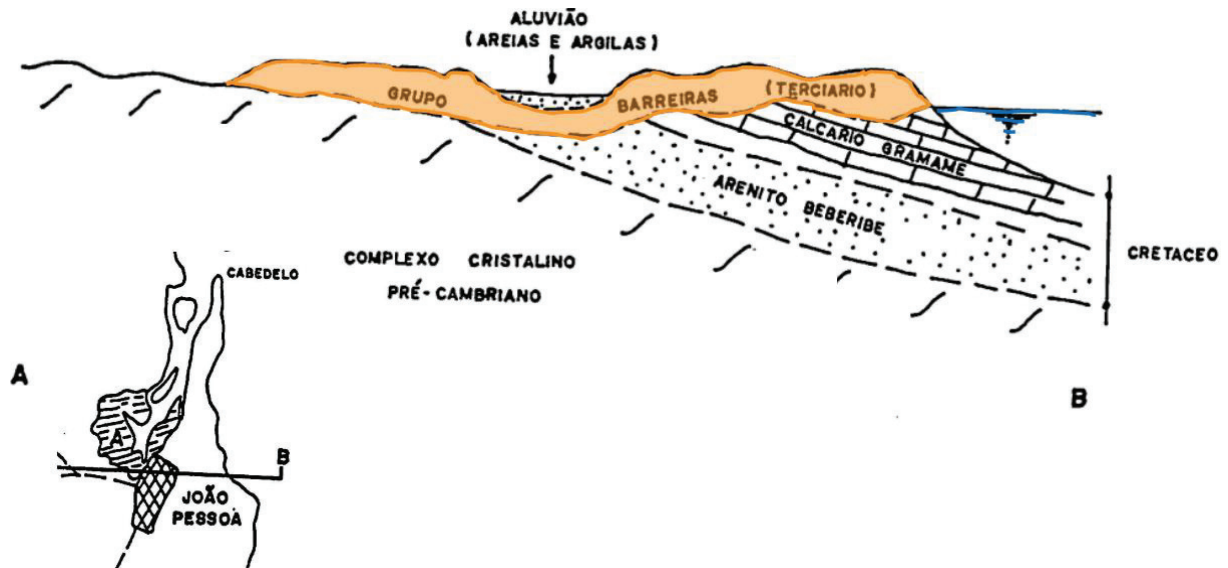


Figura 22: Croqui do perfil geológico de João Pessoa
Fonte: GUSMÃO (1982)

Pela análise das Figuras 21 e 22, conclui-se que a formação Terraço Marinho, conforme Conciani et al. (1999), apresenta um subsolo arenoso composto por sedimentos marinhos do período holoceno (era quaternária), formado por camadas de areia sobrepostas de diferentes graus de compactidade, ou seja, diferentes graus de compactação. Ademais, se caracteriza por um solo proveniente também de sedimentos fluviais e está situada em uma região de baixa altitude, praticamente plana, na qual o nível do lençol freático encontra-se bem próximo ao do terreno, conforme mapa freático disposto no ANEXO A. Dessa forma, os bairros da área de estudo que se encontram nesta região são: Bessa, Jardim Oceania, Aeroclube, Manaíra, Tambaú e Cabo Branco.

Já com relação à Formação Barreiras, segundo Soares (2013), conclui-se que a mesma se caracteriza por tabuleiros com altitude média de 40m acima do nível do mar, cobertura de origem sedimentar continental, além de sedimentos de granulometria variada formados por areia, silte e argila com concreções ferruginosas. É nesta região que se localiza a maior quantidade de condomínios verticais do município de João Pessoa, sendo a mesma compreendida pelos seguintes bairros da área de estudo: Brisamar, Miramar, Altiplano, Bairro dos Estados, Pedro Gondim, Tambauzinho e João Agripino.

Vale ressaltar que, por mais que se tenha mapas e dados geológicos gerais sobre a região que se pretenda construir um empreendimento, o que determinará a melhor solução de engenharia para a fundação do mesmo serão os estudos geotécnicos que devem ser realizados no terreno em questão, conforme normas específicas.

Segundo Duarte (2016), a execução dos projetos deve ser feita com base em informações obtidas em testes de sondagem do terreno, onde o principal balizador utilizado são as sondagens SPT (Standard Penetration Test), cujo número de golpes NSPT nos permite, segundo a NBR6484/2001, determinar do tipo de solo e de um índice de resistência, bem como da observação do nível do lençol freático. A partir da análise dos perfis de sondagem, obtêm-se subsídios que irão definir o tipo e o dimensionamento das fundações.

3.2. PRIMEIRA ETAPA: ESCOLHA E POSIÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Inicialmente, a forma de escolha dos edifícios ocorreu por meio de buscas no site das principais construtoras em João Pessoa que atuassem nos bairros citados no item 3.1.1.

Dentre as principais construtoras procuradas, cita-se principalmente a construtora ABC, Alliance, Brascon, Conserpa/Enger, Equilíbrio, FCK, Ômega, Hema, Meta, Monteiro, Planc, TWS, Vertical, entre outras.

Para cada obra catalogada, obteve-se os dados referentes ao nome da obra, endereço da edificação (com foco no bairro da mesma para determinação de sua formação geológica), ponto de referência e, principalmente, a data de conclusão da edificação (com foco no ano de entrega do edifício), pois este dado é de suma importância para a compreensão das mudanças construtivas que ocorreram para escolha do tipo de fundação, com o passar dos anos.

Vale ressaltar que, por mais que o desenvolvimento e projeto da fundação de uma residência seja realizada no início de sua construção, será utilizado a data de entrega da edificação para comparativos e conclusões adotadas neste trabalho, pois, além de ser mais facilmente obtida, ajuda bastante na determinação da

posição via satélite do prédio (com o auxílio do software Google Earth PRO), visto que a visualização da obra, na maioria dos casos, já estará disponível em sua forma concluída no acervo do programa.

Ademais, obteve-se também os dados do porte de cada imóvel catalogado, por meio do número de pavimentos (acima do nível do solo, o qual inclui mezaninos, áreas de lazer, pavimentos de garagens elevadas, etc), número de subsolos (abaixo do nível do solo, incluindo também semi subsolos na contagem) e o número de torres/blocos do empreendimento.

A Tabela 2 mostra o modelo utilizado para o banco de dados desta primeira etapa:

| DADOS GERAIS DO EMPREENDIMENTO | | | | | | | PORTE DO EMPREENDIMENTO | | |
|--------------------------------|--------------|------------|--------|--------|---------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|------------------|
| ENDEREÇO | | | | | | | TAMANHO | | |
| CONSTRUTORA | NOME DA OBRA | LOGRADOURO | NÚMERO | BAIRRO | PONTO DE REFERÊNCIA | DATA DE CONCLUSÃO | NÚMERO DE PAVIMENTOS | NÚMERO DE SUBSOLOS | NÚMERO DE TORRES |
| | | | | | | | | | |

Tabela 2: Modelo de banco para catalogação dos dados gerais e porte dos empreendimentos

Fonte: O autor

3.3. SEGUNDA ETAPA: FUNDAÇÕES DOS EDIFÍCIOS

Inicialmente, a forma para definição do tipo de fundação dos edifícios ocorreu por meio de visitas e entrevistas aos principais calculistas da cidade de João Pessoa, principalmente os que atuam no mercado da cidade desde o começo/intensificação de sua verticalização.

Dentre os principais escritórios e calculistas procurados, destaca-se a TECNCON, empresa fundada pelo engenheiro civil calculista Antonio Nereu Cavalcanti, e a Carlos Rolim, engenheiro civil calculista atuante no mercado de João Pessoa.

Além disso, obteve-se dados mais precisos com a ENGEObase - Engenharia de Fundações LTDA, empresa especializada na investigação geotécnica do subsolo e na execução de fundações e obras de contenções no mercado da Paraíba, e com o contato das próprias construtoras citadas no item 3.2.

Para cada obra catalogada, obteve-se os dados referentes ao tipo de fundação (direta, profunda ou mista) e o tipo de solo, ou seja, se o mesmo é natural ou melhorado.

Caso a fundação fosse profunda, definiu-se o tipo da mesma (pré-moldada ou moldada in loco) e seu modelo (seja estaca pré-moldada de concreto, metálica, Franki, escavada com trado, escavada com lama, hélice-contínua, raiz, tubulão a céu aberto, etc) e os possíveis dados relacionados às estacas (como sua quantidade, diâmetro do fuste, comprimento, cota e carga admissível), mas que não serão considerados nos resultados e discussão.

Já caso a fundação fosse direta, definiu-se, além das informações já citadas sobre o solo, o modelo da mesma entre as opções de sapata sem e com melhoramento de solo. Os modelos radier e bloco não foram catalogados para a análise de resultados, visto que nenhum dos edifícios da amostra utilizaram essas duas técnicas para seu alicerce.

A Tabela 3 mostra o modelo utilizado para o banco de dados desta segunda etapa:

| DADOS GERAIS DO EMPREENDIMENTO | | | FUNDAÇÃO | | | |
|--------------------------------|--------------|--------|------------------|------------------------------|--------------------------------|--------|
| ENDEREÇO | | | | DETALHANDO A FUNDAÇÃO DIRETA | DETALHANDO A FUNDAÇÃO PROFUNDA | |
| CONSTRUTORA | NOME DA OBRA | BAIRRO | TIPO DE FUNDAÇÃO | MODELO | TIPO | MODELO |
| | | | | | | |

Tabela 3: Modelo de banco para catalogação das soluções de fundação dos empreendimentos
Fonte: O autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme objetivos, foram escolhidos 193 edifícios da cidade de João Pessoa, os quais estão localizados nas principais regiões de verticalização da cidade. De forma geral, após a obtenção e definição do número de pavimentos dos edifícios, segue na Figura 23 a distribuição amostral dos mesmos em intervalos de 5 em 5 pavimentos. Ademais, segue no APÊNDICE A a mesma disposição, porém referente aos bairros com maior quantidade de dados catalogados no município.

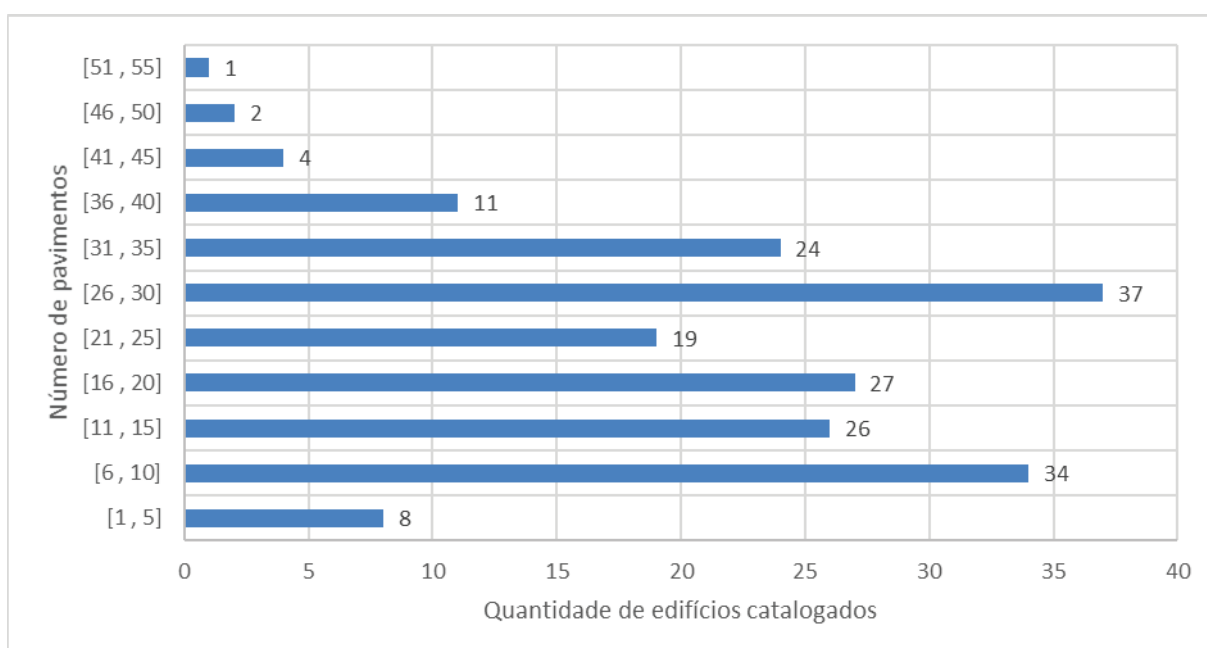


Figura 23: Distribuição amostral geral dos edifícios catalogados com relação a seu porte (número de pavimentos)

Fonte: O autor

Nota: O número de pavimentos considerado para esta análise de resultados é referente àqueles acima do nível do terreno da edificação (os semi-solos e solos também foram catalogados, mas não considerados na análise).

De forma geral, após a obtenção e posição via satélite (com o auxílio do software Google Earth PRO) dos dados para 193 edifícios considerados neste trabalho (conforme exemplo do APÊNDICE B), segue no APÊNDICE D a localização desses imóveis com seus respectivos pavimentos.

De acordo com a Prefeitura Municipal de João Pessoa - PMJP (1994), em seu plano diretor, a altura máxima das edificações situadas em uma faixa de 500 metros ao longo da orla (ANEXO B), a partir da linha de testada da primeira quadra da orla

em direção ao interior do continente, será igual a 12,90 metros, mais 4,42% da distância entre um ponto específico do lote do imóvel a ser construído ao ponto mais próximo da testada da primeira quadra contígua à orla marítima.

Já se nota, dessa forma, um padrão de crescimento no porte dos grupos de prédios, o qual acompanha a linha de gabarito máximo imposto pelo plano diretor da cidade de João Pessoa, conforme se analisa o aumento do número de pavimentos dos mesmos no APÊNDICE D.

Além disso, segue no APÊNDICE E o tipo de fundação catalogada para cada imóvel (conforme exemplo do APÊNDICE C). Analisando-se de forma conjunta os dois mapas apresentados, nota-se que, conforme se aumenta o porte dos edifícios, cresce também a tendência de escolha em fundações profundas, dado a necessidade de alicerces com mais capacidade de suporte.

Vale ressaltar que, por mais que se analise de forma geral, é necessário fazer a divisão dos resultados para as formações Terraço Marinho e Formação Barreiras, conforme geologia de João Pessoa (item 3.1.2.), pois a escolha da solução de fundação dos edifícios é prioritariamente influenciada pelas características do solo envolvidas nessas regiões.

4.1. TERRAÇO MARINHO

Conforme metodologia de obtenção de dados, além do tipo de fundação para cada edifício catalogado, obteve-se também 3 variáveis a se trabalhar: localização, porte e data de conclusão do imóvel.

Dessa forma, para os pontos localizados na formação geológica do Terraço Marinho, gerou-se a Figura 24 para análise do número de pavimentos das edificações frente à escolha do tipo de fundação, com o objetivo de se determinar o ponto a partir do qual as soluções de fundação passam a ser prioritariamente profundas, de acordo com o porte da obra.

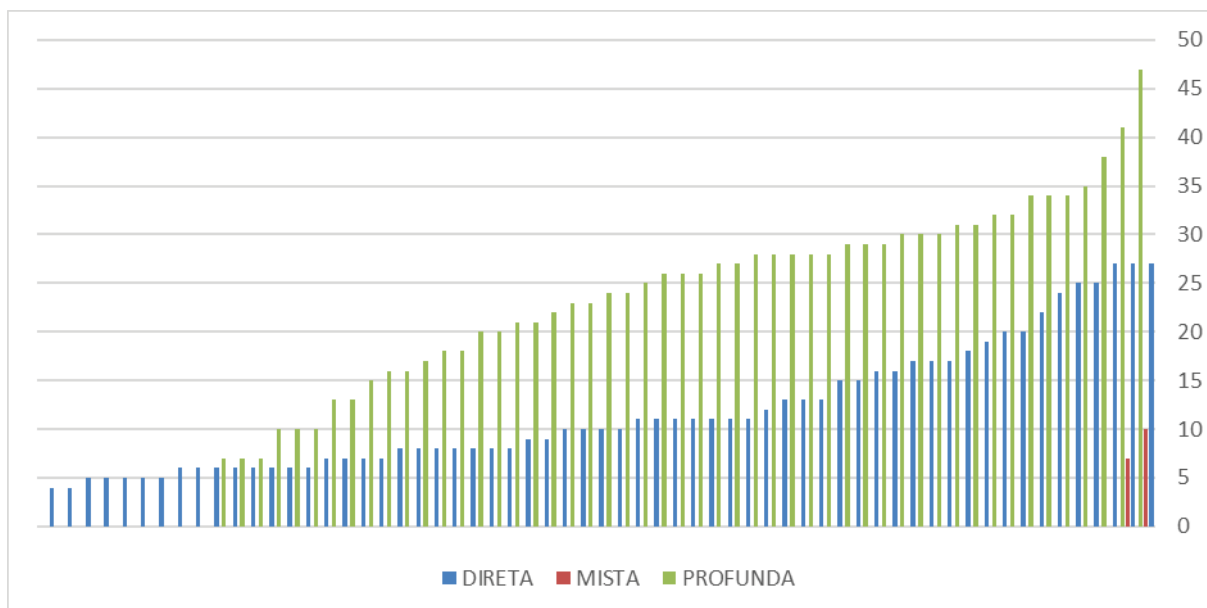


Figura 24: Análise do Porte (número de pavimentos) x Tipo de fundação - Terraço Marinho
Fonte: O autor

Nota-se que, conforme amostra coletada, a partir de 25 pavimentos para o Terraço Marinho, os tipos de soluções catalogadas passam a ser praticamente do tipo profundas. Isso tende a ocorrer pois, pela presença do lençol freático (ANEXO A), os edifícios tendem a apresentar soluções com melhoramento de solo, para que se torne viável o uso de fundações superficiais, mesmo em obras de maior porte. Assim sendo, decidiu-se analisar em separado, com relação ao porte das edificações no Terraço Marinho, em dois grupos: imóveis até 25 pavimentos (propensos ao uso de soluções superficiais) e maiores que 25 pavimentos (propensos ao uso de soluções profundas).

Por fim, definido a localização dos dados (Terraço Marinho) e os grupos de porte dos prédios (até 25 pavimentos e maiores que 25 pavimentos), com relação à variável tempo (data de conclusão dos edifícios), decidiu-se analisar as variações que ocorreram na escolha das soluções de fundação em intervalos de 10 em 10 anos. Dessa forma, gerou-se a Tabela 4 para se obter algumas conclusões em relação à formação geológica em questão:

| LOCALIZAÇÃO | PORTE | Nº DE EDIFÍCIOS CATALOGADOS | | | TIPO DE SOLUÇÃO | FREQUÊNCIA RELATIVA | | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | | 1990 À 1999 | 2000 À 2009 | 2010 À 2019 | | 1990 À 1999 | 2000 À 2009 | 2010 À 2019 |
| FORMAÇÃO TERRAÇO MARINHO | EDIFÍCIOS COM >25 PAV. | 1 | 7 | 22 | SAPATAS | | 14,29% | 9,09% |
| | | | | | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | | 14,29% | 50,00% |
| | | | | | ESTACA METÁLICA | | 14,29% | 18,18% |
| | | | | | ESTACA FRANKI | 100,00% | 57,14% | 22,73% |
| | EDIFÍCIOS COM <=25 PAV. | 25 | 30 | 29 | SAPATA SEM MELHORAMENTO | 24,00% | | 3,45% |
| | | | | | SAPATA COM MELHORAMENTO | 48,00% | 83,33% | 48,28% |
| | | | | | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | | | 31,03% |
| | | | | | ESTACA METÁLICA | | 3,33% | 6,90% |
| | | | | | ESTACA PRÉ-MOLDADA | | 3,33% | |
| | | | | | ESTACA FRANKI | 28,00% | 10,00% | 3,45% |
| | | | | | MISTA | | | 6,90% |

Tabela 4: Análise das mudanças de escolha de fundação ao longo dos anos - Terraço Marinho

Fonte: O autor

Nota: O termo “sapatas” refere-se aos dados catalogados de sapatas com e sem melhoramento de solo.

4.1.1. Para edifícios até 25 pavimentos (menor porte)

Observa-se que, no caso dos edifícios até 25 pavimentos, conforme Tabela 4, há uma tendência para o uso de melhoramento de solo, pois esta técnica faz a diferença para se viabilizar a escolha entre uma fundação direta em vez de profunda, principalmente em solos com pouca resistência superficial. Ademais, nota-se a tendência de crescimento para o uso de hélice-contínua com o passar dos anos, demonstrando a acessibilidade desse tipo de solução e de seu maquinário envolvido, inclusive para edifícios de menor porte no Terraço Marinho.

Além disso, nota-se também a leve tendência de uso de estacas metálicas e fundações mistas nos edifícios com menos de 25 pavimentos nos últimos anos. Enquanto a primeira é mais praticada nos casos de grande porte, como veremos mais à frente, a segunda aproveita-se da resistência superficial do solo com a pré-disposição de reduzir o comprimento das estacas profundas, refletindo, dessa forma, a tendência e importância do avanço dos estudos nessa área de atuação.

Vale ressaltar também o desuso das fundações tipo Franki. Por mais que ela fosse representativa nos anos 90 e primeira década dos anos 2000, nos últimos anos indica perdas de competitividade no mercado frente às desvantagens de vibrações que sua técnica causa em comparação com suas concorrentes.

4.1.2. Para edifícios maiores que 25 pavimentos (maior porte)

Observa-se que, para o caso dos edifícios com mais de 25 pavimentos, conforme Tabela 4, há uma grande tendência para o uso de hélice-contínua e desuso de estacas Franki, principalmente nos bairros urbanizados, dado os transtornos relacionados à emissão e imissão de ruídos e vibrações (PMJP, 2003). Por mais que as soluções em sapatas também não gerem ruídos e vibrações, a Tabela 4 mostra que há uma leve tendência de diminuição de seu uso, com o passar dos anos.

Nota-se também a tendência de uso da estaca metálica, a qual aparece como alternativa competitiva para os edifícios a partir de 30 pavimentos, como concorrente da estaca hélice-contínua, dado as limitações de comprimento e tipos de solo (argilas moles e turfas) que esta última apresenta. A Tabela 5 mostra essa situação, conforme dados catalogados, demonstrando a tendência de uso para a estaca metálica conforme se aumenta o porte dos edifícios no Terraço Marinho pessoense.

| LOCALIZAÇÃO | PORTE | TOTAL DE EDIFÍCIOS CATALOGADOS | TIPO DE SOLUÇÃO | Nº DE EDIFÍCIOS CATALOGADOS | FREQUÊNCIA RELATIVA |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| | | 2010 À 2019 | | 2010 À 2019 | 2010 À 2019 |
| FORMAÇÃO TERRAÇO MARINHO | EDIFÍCIOS COM > 20 e ≤ 30 PAV. | 21 | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | 11 | 52,38% |
| | | | ESTACA METÁLICA | 3 | 14,29% |
| | | | OUTRAS | 7 | 33,33% |
| | EDIFÍCIOS COM > 30 e ≤ 40 PAV. | 5 | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | 3 | 60,00% |
| | | | ESTACA METÁLICA | 1 | 20,00% |
| | | | OUTRAS | 1 | 20,00% |
| | EDIFÍCIOS COM > 40 PAV. | 2 | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | | |
| | | | ESTACA METÁLICA | 2 | 100,00% |
| | | | OUTRAS | | |

Tabela 5: Estaca hélice-contínua x Estaca metálica - Terraço Marinho

Fonte: O autor

4.2. FORMAÇÃO BARREIRAS

Conforme metodologia de obtenção de dados, além do tipo de fundação para cada edifício catalogado, obteve-se também 3 variáveis a se trabalhar: localização, porte e data de conclusão do imóvel.

Da mesma forma, para os pontos localizados na formação geológica da Formação Barreiras, gerou-se a Figura 25 para análise do número de pavimentos

das edificações frente à escolha do tipo de fundação, com o objetivo de se determinar o ponto a partir do qual as soluções de fundação passam a ser prioritariamente profundas, de acordo com o porte da obra.

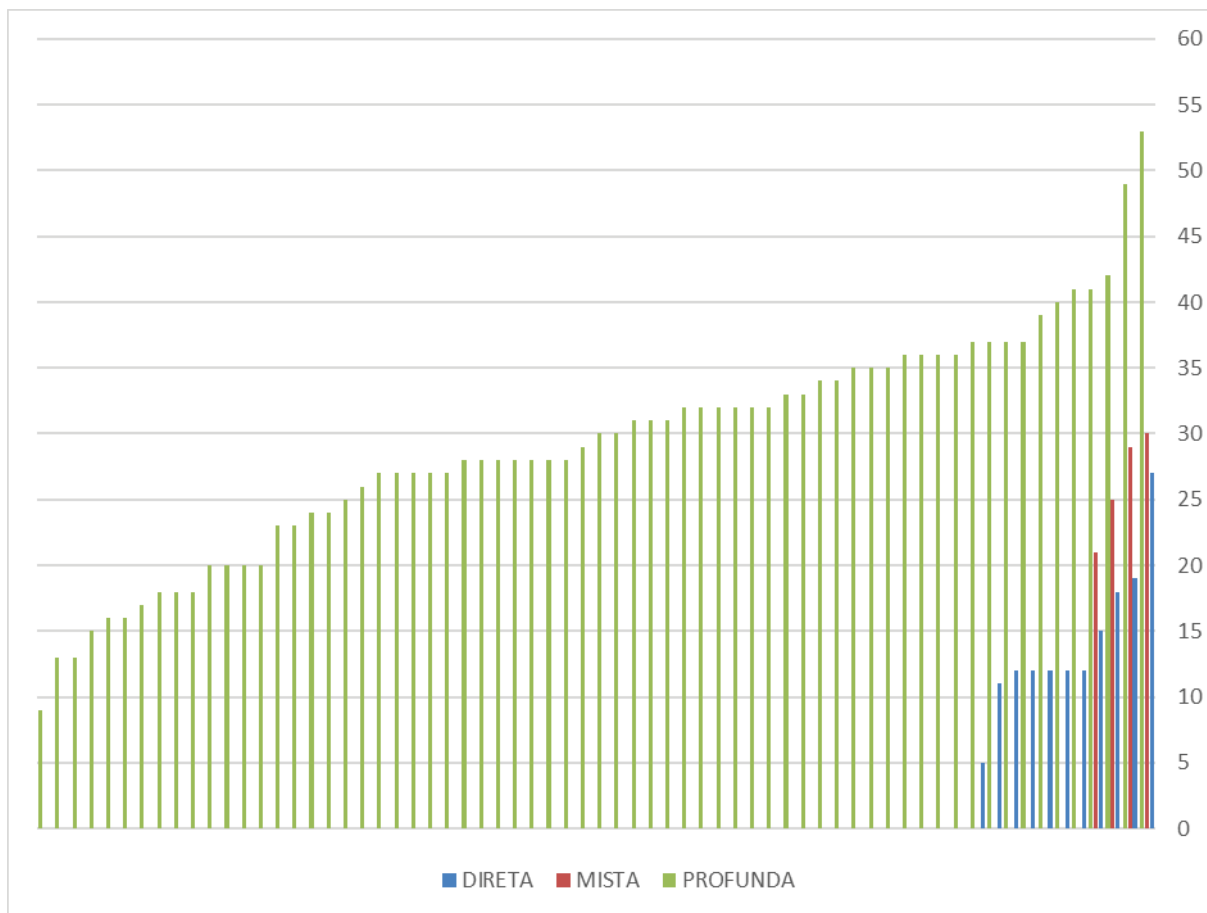


Figura 25: Análise do Porte (número de pavimentos) x Tipo de fundação - Formação Barreiras
Fonte: O Autor

Nota-se que, conforme amostra coletada, há uma grande tendência na Formação Barreiras para a escolha de fundações profundas. Isso tende a ocorrer pois, do ponto de vista econômico, é viável esse tipo de escolha para edifícios com portes intermediários, visto que o nível do lençol freático, por estar profundo, não interfere na execução das fundações (ANEXO A), tornando o solo geologicamente propenso ao uso desse tipo de solução em comparação com as regiões próximas à orla pessoense. Assim sendo, decidiu-se analisar em separado, com relação ao porte das edificações na Formação Barreiras, em grupos específicos: imóveis até 15 pavimentos (apresentando soluções superficiais e profundas) e maiores que 15 pavimentos (propensos ao uso de soluções profundas).

Por fim, definido a localização dos dados (Formação Barreiras) e os grupos de porte dos prédios (até 15 pavimentos e maiores que 15 pavimentos), com relação à variável tempo (data de conclusão dos edifícios), decidiu-se analisar as variações que ocorreram na escolha das soluções de fundação em intervalos de 10 em 10 anos. Dessa forma, gerou-se a Tabela 6 para se obter algumas conclusões em relação à formação geológica em questão:

| LOCALIZAÇÃO | PORTE | Nº DE EDIFÍCIOS CATALOGADOS | | | TIPO DE SOLUÇÃO | FREQUÊNCIA RELATIVA | | |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|---------------------------|---------------------|-------------|-------------|
| | | 1990 À 1999 | 2000 À 2009 | 2010 À 2019 | | 1990 À 1999 | 2000 À 2009 | 2010 À 2019 |
| FORMAÇÃO BARREIRAS | EDIFÍCIOS COM >30 PAV. | 0 | 2 | 29 | ESTACA ESCAVADA COM TRADO | | 100,00% | 89,66% |
| | | | | | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | | | 3,45% |
| | | | | | ESTACA METÁLICA | | | 3,45% |
| | | | | | ESTACA FRANKI | | | 3,45% |
| | EDIFÍCIOS COM >15 E <=30 PAV. | 1 | 1 | 34 | SAPATA SEM MELHORAMENTO | | 100,00% | |
| | | | | | SAPATA COM MELHORAMENTO | | | |
| | | | | | ESTACA ESCAVADA COM TRADO | | | 88,24% |
| | | | | | ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA | | | 2,94% |
| | | | | | TUBULÃO A CÉU ABERTO | 100,00% | | 2,94% |
| | | | | | MISTA | | | 5,88% |
| | EDIFÍCIOS COM <=15 PAV. | 6 | 3 | 3 | SAPATA SEM MELHORAMENTO | 100,00% | 66,67% | |
| | | | | | SAPATA COM MELHORAMENTO | | | |
| | | | | | ESTACA ESCAVADA COM TRADO | | 33,33% | 100,00% |

Tabela 6: Análise das mudanças de escolha de fundação ao longo dos anos - Formação Barreiras
Fonte: O autor

Nota: O termo “sapatas” refere-se aos dados catalogados de sapatas com e sem melhoramento de solo.

4.2.1. Para edifícios até 15 pavimentos (menor porte)

Observa-se que, no caso dos edifícios até 15 pavimentos, de acordo com os dados catalogados na Tabela 6, nota-se a tendência ao uso de sapatas e estacas escavadas com trado mecânico.

Por mais que a quantidade de dados amostrais para esse caso seja pequena, dado a ausência de lençol freático e presença de coesão no solo, já era esperado a tendência de que, caso a carga da edificação seja tal que necessite de uma solução profunda, é mais viável optar-se pelo tipo mais comum da mesma (estaca escavada com trado), do que realizar melhoramentos superficiais do solo.

4.2.2. Para edifícios maiores que 15 pavimentos (maior porte)

Observa-se que, para o caso dos edifícios maiores que 15 pavimentos, conforme Tabela 6, há uma grande tendência para o uso de estacas escavadas com trado nos últimos anos (mantendo-se em mais de 70% dos dados catalogados).

Vale ressaltar que essa tendência se torna mais evidente ao se observar os dados dos edifícios com mais de 30 pavimentos, conforme Tabela 6, principalmente por causa das amostras catalogadas no bairro do Altiplano, um dos pioneiros em desenvolvimento de condomínios verticais nos últimos anos.

Pela mobilidade e versatilidade do seu maquinário (Figura 26), aliado à praticidade de sua execução, há uma relevância de escolhas por estacas escavadas com trado mecânico, principalmente na Formação Barreiras.



Figura 26: Adaptação do maquinário para estacas escavadas (trado mecânico)
Fonte: ENGEObase (2019)

Paralelamente, nota-se também a tendência de redução na escolha de soluções em sapatas. Conforme Tabela 6, dos 63 imóveis catalogados com mais de 15 pavimentos para a Formação Barreiras nos últimos anos dez anos, nenhum deles optou pelo uso de sapatas. Essa tendência pode ser entendida pois, conforme já comentado no item 4.2.1, caso a carga da edificação seja tal que necessite de uma solução profunda, tende a ser viável optar-se pelo tipo mais comum da mesma (estaca escavada com trado) do que se manter o uso de soluções diretas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho consistiu, conforme objetivo geral, do mapeamento prático na cidade de João Pessoa, com relação às fundações escolhidas para edifícios, nas principais zonas de verticalização do município, com diferentes localizações, porte e datas de conclusão, para que se possa realizar análises comparativas entre esses dados e se obter conclusões baseadas na amostra de dados catalogada.

Conclui-se que, conforme explanado nos resultados e com relação aos objetivos específicos deste trabalho, pelo estudo do mapeamento feito comparando-se o porte e fundação escolhida para os imóveis catalogados, nota-se que, com o aumento do número de pavimentos das edificações, cresce também a tendência de escolha em fundações profundas, dado a necessidade de alicerces com mais capacidade de suporte.

Vale ressaltar que este indício é mais notável na Formação Barreiras, pois, conforme resultados e baseado na amostra de edifícios coletada, do ponto de vista econômico tende a ser mais utilizado esse tipo de escolha, visto que, caso a carga da edificação seja tal que necessite de uma solução profunda, é viável optar pelo tipo mais comum da mesma (estaca escavada com trado), em vez de se optar por melhoramentos superficiais do solo, dado a ausência do lençol freático (ANEXO A).

Já para a formação geológica do Terraço Marinho, conforme amostra de dados catalogados, a situação é mais complexa. A tendência segue para o uso de fundações diretas com melhoramento de solo (ou fundações mistas), pois esta técnica faz a diferença para se viabilizar a escolha entre uma fundação direta em vez de profunda, principalmente em solos com pouca resistência superficial, além da presença do lençol freático (ANEXO A). Porém, esta tendência apresenta um limite para o porte dos imóveis, o qual gira em torno de 25 pavimentos (conforme resultados), a partir do qual a escolha de fundações pelas obras segue prioritariamente do tipo profunda, variando entre suas opções de modelos.

Assim sendo, concluiu-se que, com relação à distribuição dos tipos de fundação para o porte de edificações, conforme objetivos específicos e resultados, as edificações catalogadas para a formação geológica do Terraço Marinho foram

analisadas de forma dividida em dois grupos: imóveis até 25 pavimentos (propensos ao uso de soluções superficiais) e maiores que 25 pavimentos (propensos ao uso de soluções profundas). Entretanto, para a Formação Barreiras, decidiu-se analisar os dados catalogados em grupos de imóveis até 15 pavimentos (apresentando soluções superficiais e profundas) e maiores que 15 pavimentos (propensos ao uso de soluções profundas).

Dessa forma, pelos resultados apresentados, com relação à preferência de soluções de fundação ao longo dos anos para a formação geológica do Terraço Marinho, conclui-se que, para edifícios até 25 pavimentos (menor porte), há uma tendência de uso hoje para soluções superficiais com melhoramento de solo e crescimento no emprego de estacas hélice-contínua. Em menor proporção, apresenta-se um leve crescimento do uso de estacas metálicas e fundações mistas. Ademais, de acordo com a amostra de dados utilizada, evidencia-se uma inclinação para o desuso das fundações tipo Franki, frente às desvantagens de vibrações que sua técnica causa em comparação com suas concorrentes.

Já para edifícios maiores que 25 pavimentos (maior porte), evidencia-se uma grande tendência para o uso de fundações profundas, principalmente estacas hélice-contínua, conforme resultados. Nota-se também a inclinação para o uso de estacas metálicas, se destacando em edifícios a partir de 30 pavimentos, particularmente nos casos limitantes para a hélice-continua (comprimento de estacas e resistência dos solos), além do desuso das estacas Franki, conforme já comentado.

Com relação à preferência de soluções de fundação ao longo dos anos para a Formação Barreiras, conclui-se que há uma grande tendência para o uso de estacas escavadas com trado mecânico, o que se torna mais evidente nos edifícios de maior porte executados nos últimos anos, conforme resultados, principalmente pelas amostras catalogadas no bairro do Altiplano, um dos pioneiros em desenvolvimento de condomínios verticais. Vale ressaltar também o uso de sapatas em fundações de imóveis de pequeno porte (próximos à 15 pavimentos).

Por fim, conforme já comentado no desenvolvimento deste trabalho, por mais que se tenha mapas e dados geológicos gerais sobre a região que se pretenda construir um empreendimento, o que determinará a melhor solução de engenharia

para a fundação do mesmo serão os estudos geotécnicos que devem ser realizados no terreno em questão, conforme normas específicas.

Os resultados obtidos neste trabalho apresentam-se como forma inicial de análise e caracterização de João Pessoa com relação às soluções escolhidas para fundação dos edifícios, porém com grande potencial para ampliação. Podem servir como ponto de partida para diversos outros estudos relacionados a geotecnia local do município, além de que, quanto maior for o banco de dados catalogados, maior a gama de possibilidades para sua análise e classificação, além de resultados mais precisos e objetivos.

Algumas sugestões para trabalhos futuros relacionados à temática abordada seriam: análise das diferenças das características das estacas escavadas com trado frente ao porte dos edifícios localizados na Formação Barreiras, criação de banco de dados sobre a fundação dos primeiros edifícios de maior porte em João Pessoa (ligados à primeira fase de verticalização da cidade), estudos de caso referente às mudanças na escolha de tipos de fundações para construtoras antigas atuantes no município, refletindo a adaptação das mesmas de acordo com as mudanças tecnológicas e de mercado, etc.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR 6122 (2010). **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, Brasil.

ANDRADE, P. A. **Verticalização em João Pessoa: produção do espaço e transformações urbanas**. Arquitectos, Revista Vitruvius, maio 2017.

APEOP, **Estaca Hélice Contínua, Passo a Passo**. 2018. Disponível em: <<http://www.apeop-pi.com.br/noticias/estaca-helice-continua-passo-a-passo>> Acesso em: 22 abr. 2019.

ARAI, M. **A grande elevação Eustática do Mioceno e sua influência na origem do grupo Barreiras**. Geologia USP Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1 - 6, 2006.

BARBOSA, T. S. **Geomorfologia urbana e mapeamento geomorfológico do município de João Pessoa - PB, Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

BRASILVERTICAL, **Os prédios mais altos do Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://brasilvertical.blogspot.com/2013/01/os-predios-mais-altos-do-brasil.html>> Acesso em: 15 mar. 2019.

BURLAND, J. B.; BROMS, B. B.; MELLO, V. F. B. **Behavior of Foundations and Structures**. IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977, v. 2, Tóquio, 1977.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações: Mecânica das Rochas - Fundações - Obras de Terra**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a, 1987. 2 v.

CONCIANI, W; BEZERRA, R. L.; MEDEIROS, J. L. G. **Características de Deformação de uma Areia de Praia Obtidas por Pressiômetro**. Solos e Rochas, 1999.

COSTA FORTUNA, Fundações e Construções LTDA. **Fluido estabilizante à base de polímero tem eficiência comprovada em obra**. 2009. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/fluido-estabilizante-a-base-de-polimero-tem-eficiencia-comprovada-em-obra_16222_2129> Acesso em: 22 abr. 2019.

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministério de Minas e Energia. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife, 2002.

DUARTE, M. M. **Prática das fundações na cidade de João Pessoa**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

ENGEObASE, Engenharia de Fundações LTDA, empresa especializada na investigação geotécnica do subsolo e na execução de fundações e obras de contenções. Disponível em: <<http://engeobase.com.br/index.html>> Acesso em: 22 abr. 2019

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa 1:100.000**. 2007. 213 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo: USP, 2007.

G1, **João Pessoa tem 2º prédio mais alto do Brasil e 1º do Nordeste, aponta Skyscraper Center**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2018/09/27/joao-pessoa-tem-2o-predio-mais-alto-do-brasil-e-1o-do-nordeste-aponta-skyscraper-center.ghtml>> Acesso em: 15 mar. 2019.

GEOFIX, empresa de serviços para a engenharia de fundações e infraestrutura. Disponível em: <<http://www.geofix.com.br/servico-estaca-raiz.php>> Acesso em: 25 abr. 2019.

GONÇALVES, H.; MARINHO, F.; FUTAI, M. **Mecânica dos Solos e Fundações**, Universidade de São Paulo (USP), Brasil, 2014.

GUSMÃO, J. A. F. **PRÁTICA DE FUNDAÇÕES NAS CAPITAIS NORDESTINAS**, VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Olinda, Recife, 1982.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&->> Acesso em: 05 mar. 2019.

NARESI, L. A. **Estacas Escavadas com auxílio de lama**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/estacas-escavadas>> Acesso em: 25 abr. 2019.

NUERNBERG, M. F. **Estacas do tipo hélice contínua monitorada (EHC): dimensionamento através de métodos semi-empíricos**. 2014. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2014.

PMJP, **Decreto nº 4.793 de 21 de abril de 2003**. Estabelece padrões de emissão e imissão de ruídos e vibrações, bem como outros condicionantes ambientais e outras providências 1994. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao/decreto-n-4-793-de-21-de-abril-de-2003/>> Acesso em: 23 abr. 2019.

PMJP, **Plano Diretor da cidade de João Pessoa**. 1994. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/seplan/plano-diretor/>> Acesso em: 23 abr. 2019.

POULOS, H. G.; BUNCE, G. **Foundation design for the Burj Dubai – The World’s Tallest Building**. 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 2008, Arlington, VA. Disponível em: <http://www.geomarc.it/Poulos_&_Bunce_2008.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2019.

RIJO, M. **Mecânica dos Solos e Fundações**. Universidade de Évora, 2016.

SALES, L. A. **O processo de verticalização e seus problemas no bairro de Manaíra, João Pessoa - PB**. 2014. Monografia (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SOARES, F. L., **Prática de fundações na formação barreiras**. 3º Simpósio de Geotecnia do Nordeste, Fortaleza, CE, 2013.

SOARES, W. C. **Estacas de compactação para melhoria do solo**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

SOARES, Wanessa Cartaxo. **Banco de Dados Geológico – Geotécnicos com Base em Sondagens à Percussão e Uso de SIG: Análise Espacial da Profundidade do Lençol Freático e do NSPT para Obras de Fundação em João Pessoa – PB**. Tese de Doutorado (Escola de Engenharia de São Carlos). São Carlos, 2011.

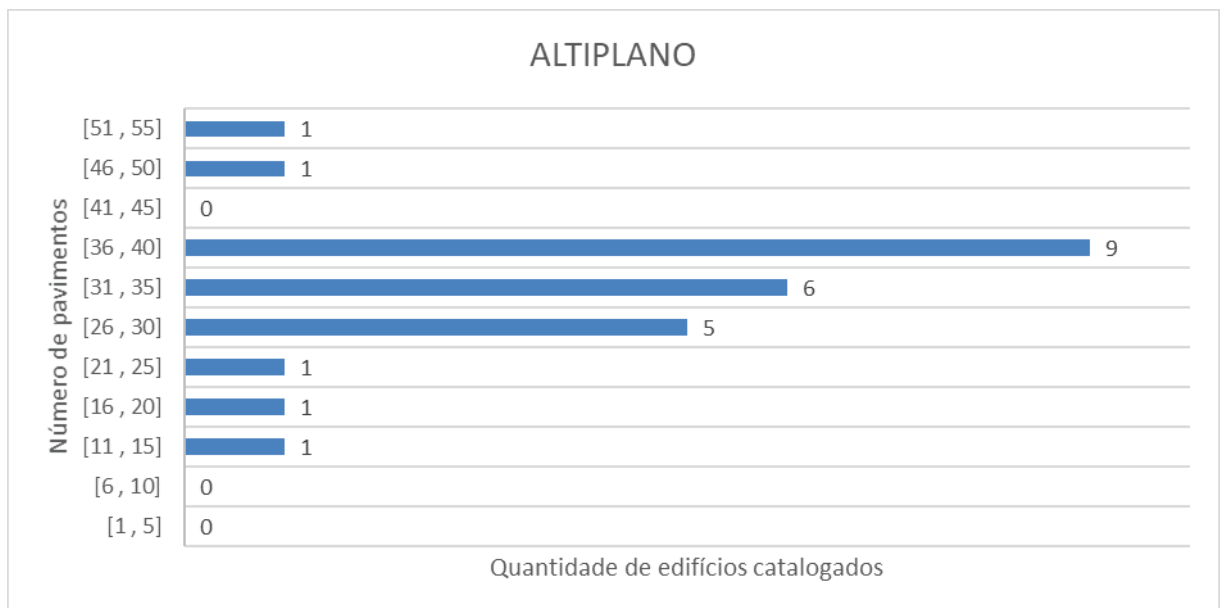
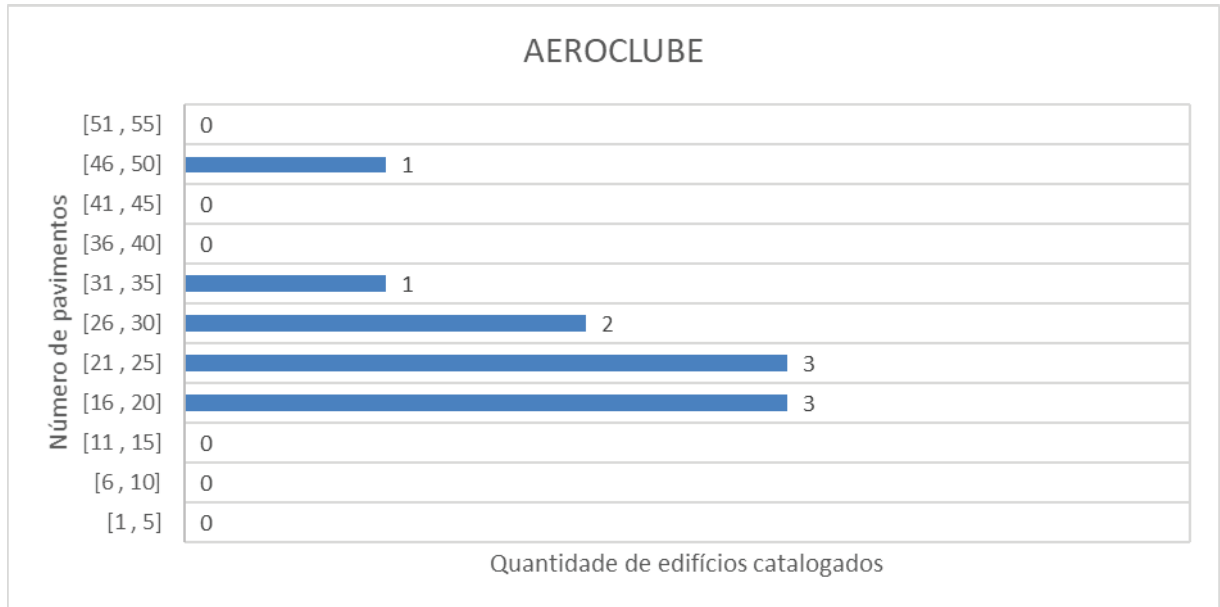
SOUZA, F. A. **Utilização de Radier Estaqueado em Obras Especiais e Edifícios Altos**. VII Congresso Brasileiros de Pontes e Estruturas, 2014, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_63.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2019.

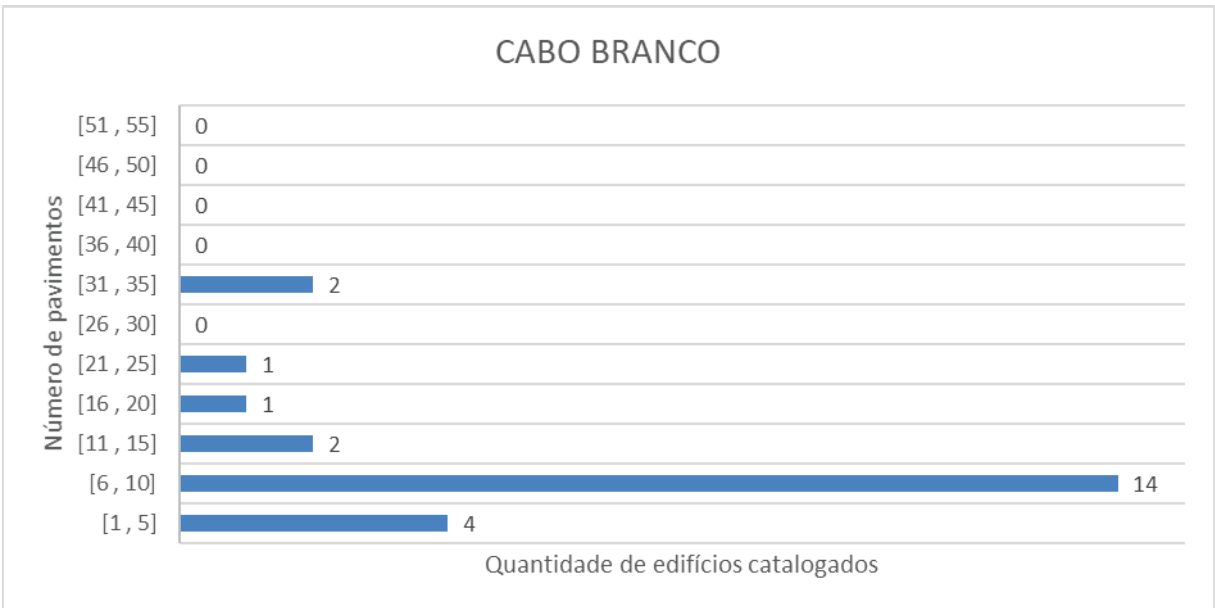
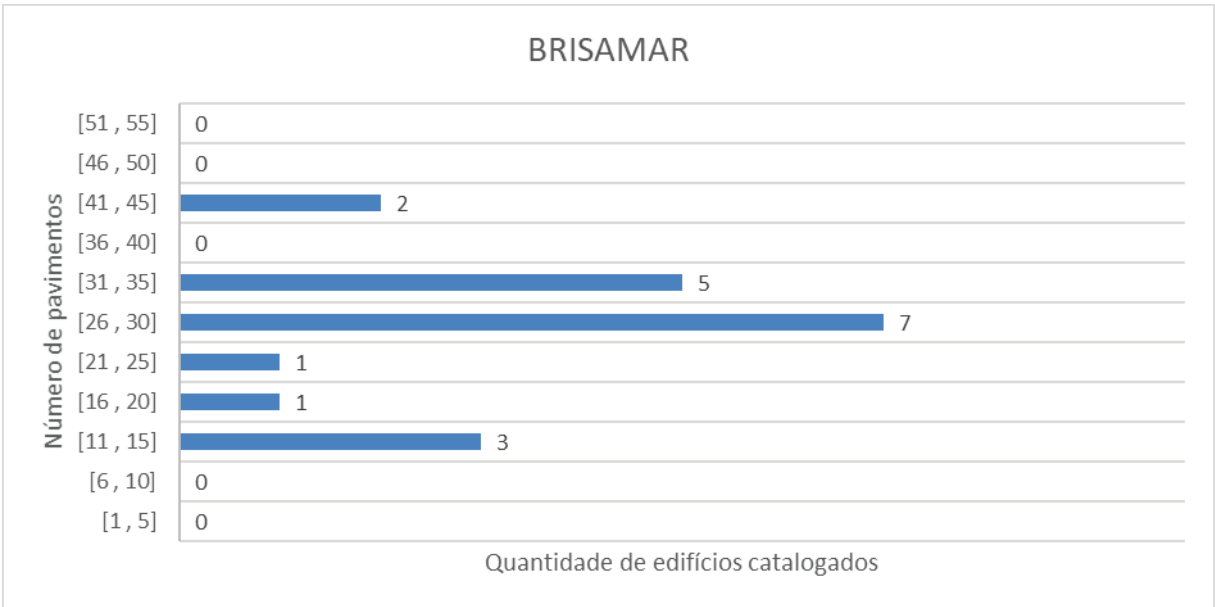
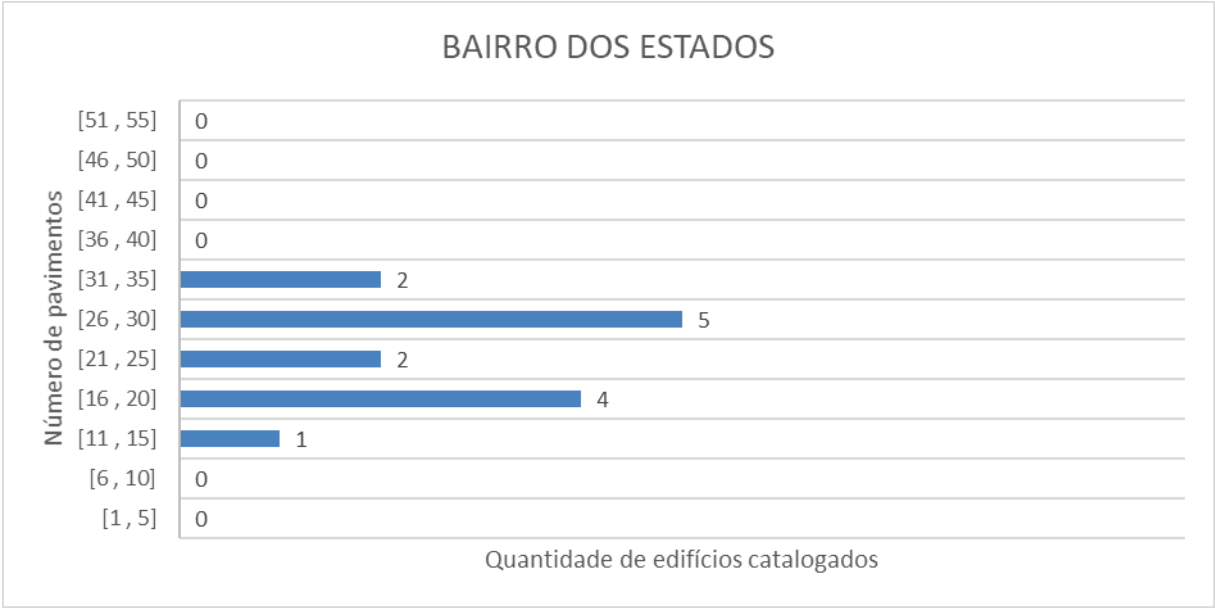
TCU, Tribunal de Contas da União. **Objeto da fiscalização: obras da triplicação da Rodovia BR-230/PB**. 2017. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/internet/comissao/index/mista/orca/orcamento/OR2018/Fiscobras2017/anexo/SINTETICOS/Sint%C3%A9tico_2017_169.pdf> Acesso em: 22 abr. 2019.

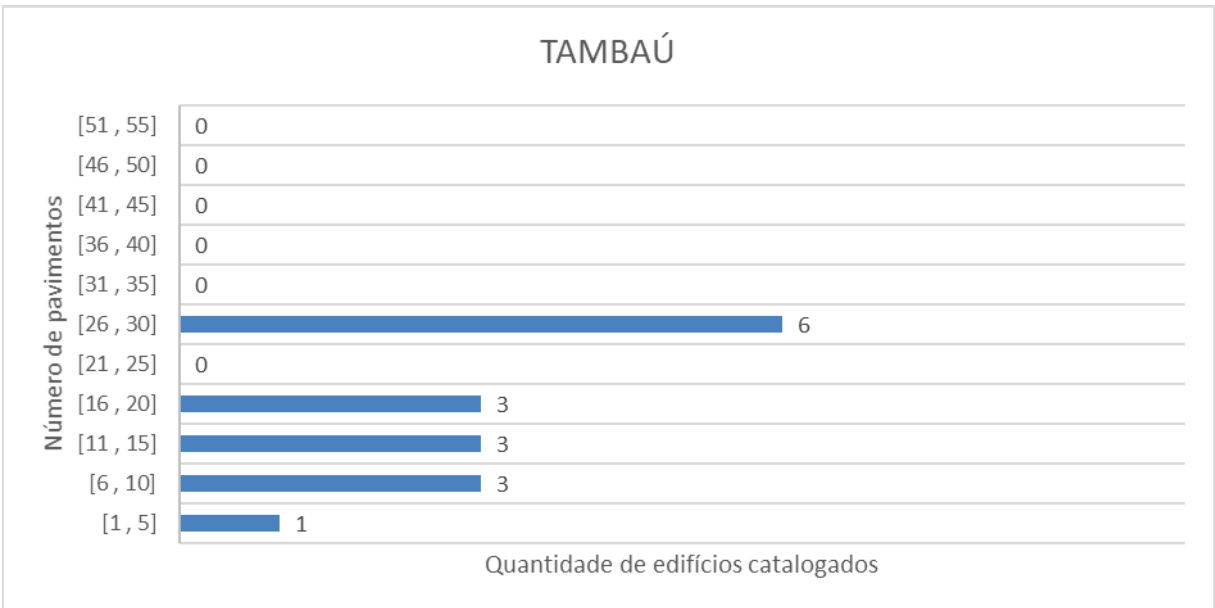
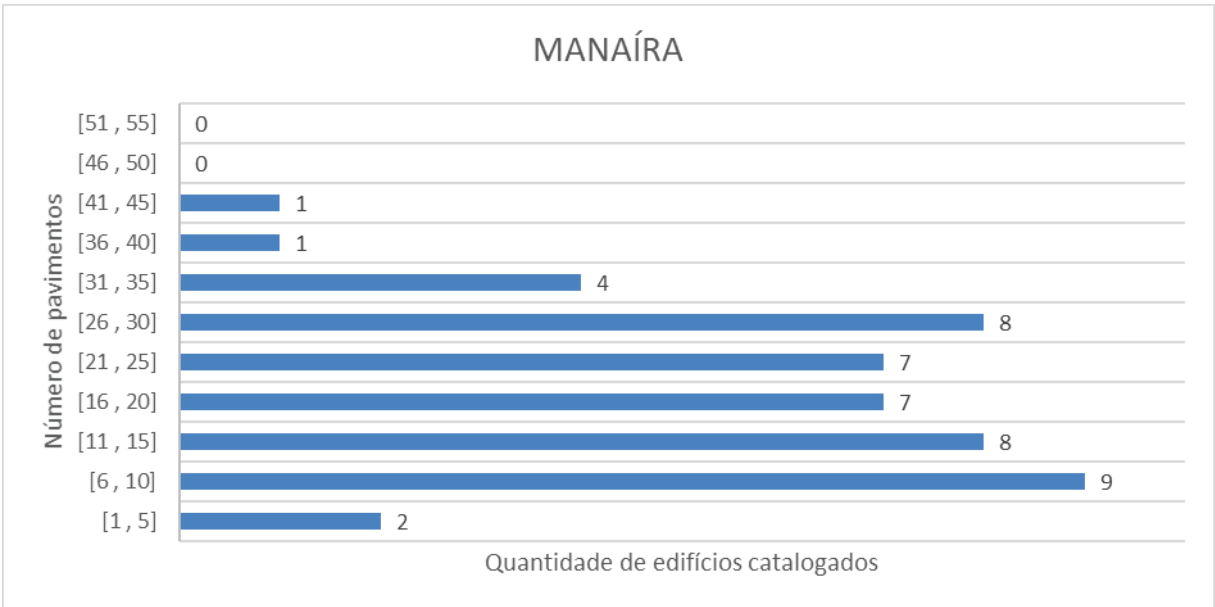
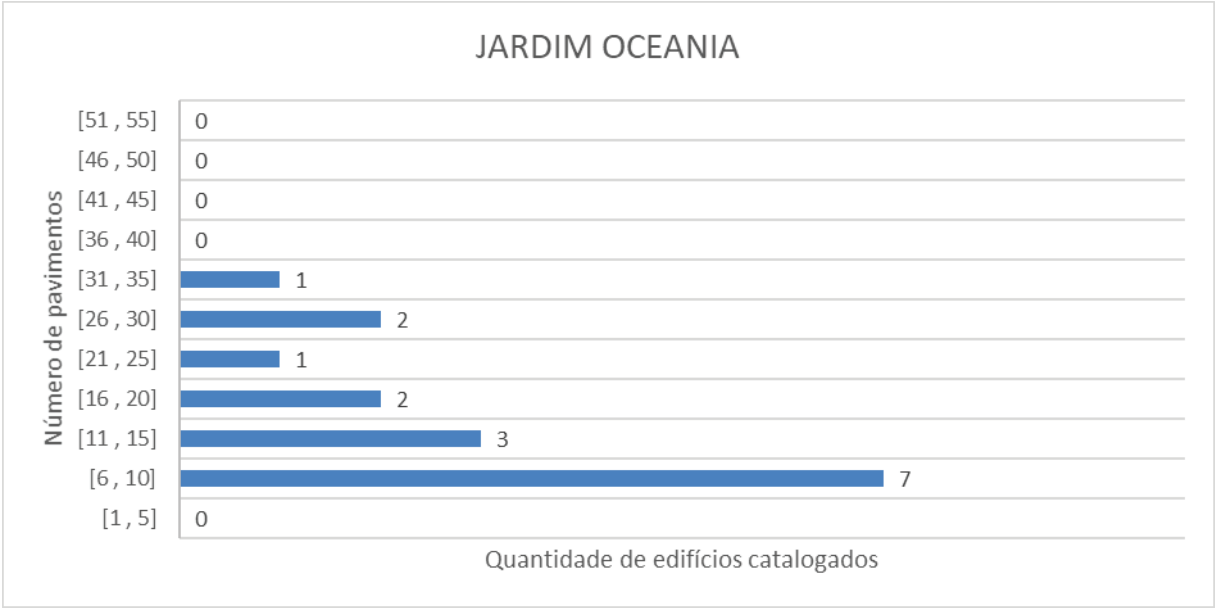
VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Resende. **Fundações: critérios de projeto, investigação de subsolo, fundações superficiais, fundações profundas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A: DISTRIBUIÇÃO DOS EDIFÍCIOS COM RELAÇÃO À SEU PORTE (NÚMERO DE PAVIMENTOS) PARA OS PRINCIPAIS BAIRROS CATALOGADOS - JOÃO PESSOA PB







APÊNDICE B: EXEMPLO - DADOS GERAIS E PORTE DOS EMPREENDIMENTOS CATALOGADOS

| DADOS GERAIS DO EMPREENDIMENTO | | | | | | | PORTE DO EMPREENDIMENTO | | |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------|--------------------|-------------------------------|--|-------------------------|----------------------|--------------------|
| CONSTRUTORA | ENDEREÇO | | | | | | DATA DE CONCLUSÃO | TAMANHO | |
| | NOME DA OBRA | LOGRADOURO | NÚMERO | BAIRRO | PONTO DE REFERÊNCIA | | | NÚMERO DE PAVIMENTOS | NÚMERO DE SUBSOLOS |
| EQUILÍBRIO | ÁVILA TAMBAÚ | Rua Silvino Lopes | 754 | TAMBAÚ | Estácio - UNIUOL | | 18/12/2018 | 30 | 1 |
| HEMA | PREMIUS EXCLUSIVE RESIDENCE CLUB | Rua Luis Edir Queirós Marinho | 117 | AEROCUBE | Dinâmica Academia | | 01/12/2018 | 26 | 0 |
| ALLIANCE | BELIZE CLASS CLUB | Avenida Espírito Santo | 940 | BAIRRO DOS ESTADOS | Vila Olímpica Paraíba | | 25/09/2018 | 32 | 2 |
| CONSERPA/ENGER | RIO IÇÁ | Rua Norberto de Castro Nogueira | 1255 | JARDIM OCEANIA | Lava Jato Rottweiler | | 26/08/2018 | 10 | 1 |
| MASSAI | PALAZZO DI TOSCANA | Rua Orlando di Cavalcanti Villar | 400 | ALTIPLANO | TWS empreendimentos | | 22/03/2018 | 35 | 2 |
| BRASCON | MAISON SAINT PIERRE | Rua Margarida Fonseca Arruda | 65 | MANAÍRA | Mercadinho Martins | | 19/01/2018 | 34 | 1 |
| ABC | LE CLUB RESIDENCE | Rua Nevinha Gondim de Oliveira | 115 | BRISAMAR | Central Pro Concursos | | 14/12/2017 | 29 | 2 |
| IBÉRICA | ESSENCIAL MANAÍRA | Rua Francisco Claudino Pereira | 945 | MANAÍRA | Colégio Gurgel | | 25/10/2017 | 41 | 1 |
| CONSERPA/ENGER | RIO ARIAÚ | Rua Doutor Agrícola Montenegro | 185 | MIRAMAR | Forroço da praia | | 26/08/2017 | 24 | 1 |
| FCK | RESIDENCIAL MARIA EVANISE | Rua Rosalinda Jurema | 74 | BRISAMAR | BR-230 | | 30/06/2017 | 20 | 1 |
| EQUILÍBRIO | ALFREDO FERNANDES | Avenida Sapé | 737 | MANAÍRA | Aline Barros Bolos | | 29/06/2017 | 31 | 1 |
| ABC | PARTHENON HOME E BUSINESS | Rua Josita Almeida | 240 | ALTIPLANO | Supermercado Litoral | | 02/06/2017 | 20 | 2 |
| ABC | TERRAZZO DI LUNA | Rua Inácio Ferreira Serrano | 45 | BRISAMAR | Jardim Self Service | | 19/01/2017 | 34 | 1 |
| BRASCON | MAISON DE FLORENCE | Rua Plácido de Azevedo Ribeiro | 100 | ALTIPLANO | Construtora Alliance | | 29/11/2016 | 27 | 1 |
| MASSAI | SPAZIO DI VENEZA | Rua João Vieira Carneiro | 645 | BAIRRO DOS ESTADOS | Panificadora Verde Mar | | 14/11/2016 | 24 | 1 |
| BRASCON | MAISON SAINT THOMAS | Rua Silvino Lopes | 419 | TAMBAÚ | Hotel Pousada Tambaú Mar | | 27/09/2016 | 30 | 1 |
| ALLIANCE | GREENMARE CLUB RESIDENCE | Rua Orlando di Cavalcanti Villar | 301 | ALTIPLANO | Supermercado Litoral | | 02/08/2016 | 27 | 1 |
| CONSERPA/ENGER | RIO JAPURÁ | Rua Vandick Pinto Filgueiras | 158 | MIRAMAR | JE Construções | | 28/07/2016 | 28 | 2 |
| CONSERPA/ENGER | RIO ACURAUÁ | Rua Severino Massa Spinelli | 128 | TTAMBAÚ | Colégio Motiva Ambiental | | 15/07/2016 | 16 | 2 |
| MASSAI | SPAZIO DI VERONA | Avenida Sapé | 901 | MANAÍRA | Pizzaria D'napoles | | 13/07/2016 | 38 | 1 |
| HEMA | JARDIM MICHELANGELO | Rua Josué Guedes Pereira | 100 | BESSA | Pio XI | | 30/06/2016 | 27 | 0 |
| CONSERPA/ENGER | SAINT GERMAIN BOULEVARD | Rua Maria de Lourdes Coutinho | 34 | ALTIPLANO | Corregedoria Geral da Justiça | | 21/06/2016 | 39 | 2 |
| TWS | MONTES CLAROS | Rua Mario A do Amaral | SN | BRISAMAR | Hyundai HMB PATEO | | 17/06/2016 | 28 | 0 |

Nota: As datas de conclusão em vermelho indicam que apenas seu ano está correto, pois o dia e/ou mês de conclusão está com valor incerto.

APÊNDICE C: EXEMPLO - DADOS DE FUNDAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS CATALOGADOS

| DADOS GERAIS DO EMPREENDIMENTO | | | FUNDAÇÃO | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------------------------|
| | ENDEREÇO | | | DETALHANDO A FUNDAÇÃO DIRETA | DETALHANDO A FUNDAÇÃO PROFUNDA |
| CONSTRUTORA | NOME DA OBRA | BAIRRO | TIPO DE FUNDAÇÃO | MODELO | TIPO MODELO |
| ALLIANCE | BELIZE CLASS CLUB | BAIRRO DOS ESTADOS | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| TWS | TOUR GENEVE | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| CONSERPA/ENGER | RIO IÇÁ | JARDIM OCEANIA | DIRETA | SAPATA COM MELHORAMENTO | |
| CONSERPA/ENGER | RIO MARACAÍ | MANAÍRA | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| ALLIANCE | ALTIplex JOSÉ OLÍMPIO | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| FIXAR | EDIFÍCIO EDWARD HOPPER | MANAÍRA | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| MASSAI | PALAZZO DI TOSCANA | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| TECHNE | ATTALE JARDIM LUNA | BRISAMAR | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| BRASCON | MAISON SAINT PIERRE | MANAÍRA | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| VERTICAL | ALMANARA RESIDENCE | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| EVEREST | RESIDENCIAL MONT CHEVALLIER | BAIRRO DOS ESTADOS | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| MONTEIRO | MARIA FERNANDA | JARDIM OCEANIA | MISTA | SAPATA COM MELHORAMENTO | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| META | EDIFÍCIO COLUMBIA | JARDIM OCEANIA | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA FRANKI |
| ABC CONSTRUÇ. | LE CLUB RESIDENCE | BRISAMAR | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| MGA | RESIDENCIAL RAVENA | BAIRRO DOS ESTADOS | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| IBÉRICA | ESSENCIAL MANAÍRA | MANAÍRA | PROFUNDA | | PRÉ-MOLDADA ESTACA METÁLICA |
| CONSERPA/ENGER | RIO ARIAÚ | MIRAMAR | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| FCK | RESIDENCIAL MARIA EVANISE | BRISAMAR | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| EQUILÍBRIO | ALFREDO FERNANDES | MANAÍRA | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| CONSTRUT. ABC | PARTHENON HOME E BUSINESS | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| ALLIANCE | ALLIANCE PLAZA HOME & BUSINESS | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| ABC CONSTRUÇ. | TERRAZZO DI LUNA | BRISAMAR | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| TECHNE | AUGE JARDIM LUNA | BRISAMAR | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| UNIDADE | PORTO DAKAR | BAIRRO DOS ESTADOS | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| BRASCON | MAISON DE FLORENCE | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| MASSAI | SPAZIO DI VENEZA | BAIRRO DOS ESTADOS | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |
| MEDITERRANNE | RESIDENCIAL GRENOBLE | MANAÍRA | PROFUNDA | | PRÉ-MOLDADA ESTACA METÁLICA |
| BRASCON | MAISON SAINT THOMAS | TAMBAÚ | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA HÉLICE-CONTÍNUA |
| PLANC | ALFREDO VOLPI | AEROCUBE | PROFUNDA | | PRÉ-MOLDADA ESTACA METÁLICA |
| ALLIANCE | GREENMARE CLUB RESIDENCE | ALTIPLANO | PROFUNDA | | MOLDADA IN LOCO ESTACA ESCAVADA COM TRADO |

APÊNDICE D: MAPEAMENTO - PORTE DOS EDIFÍCIOS DE JOÃO PESSOA PB

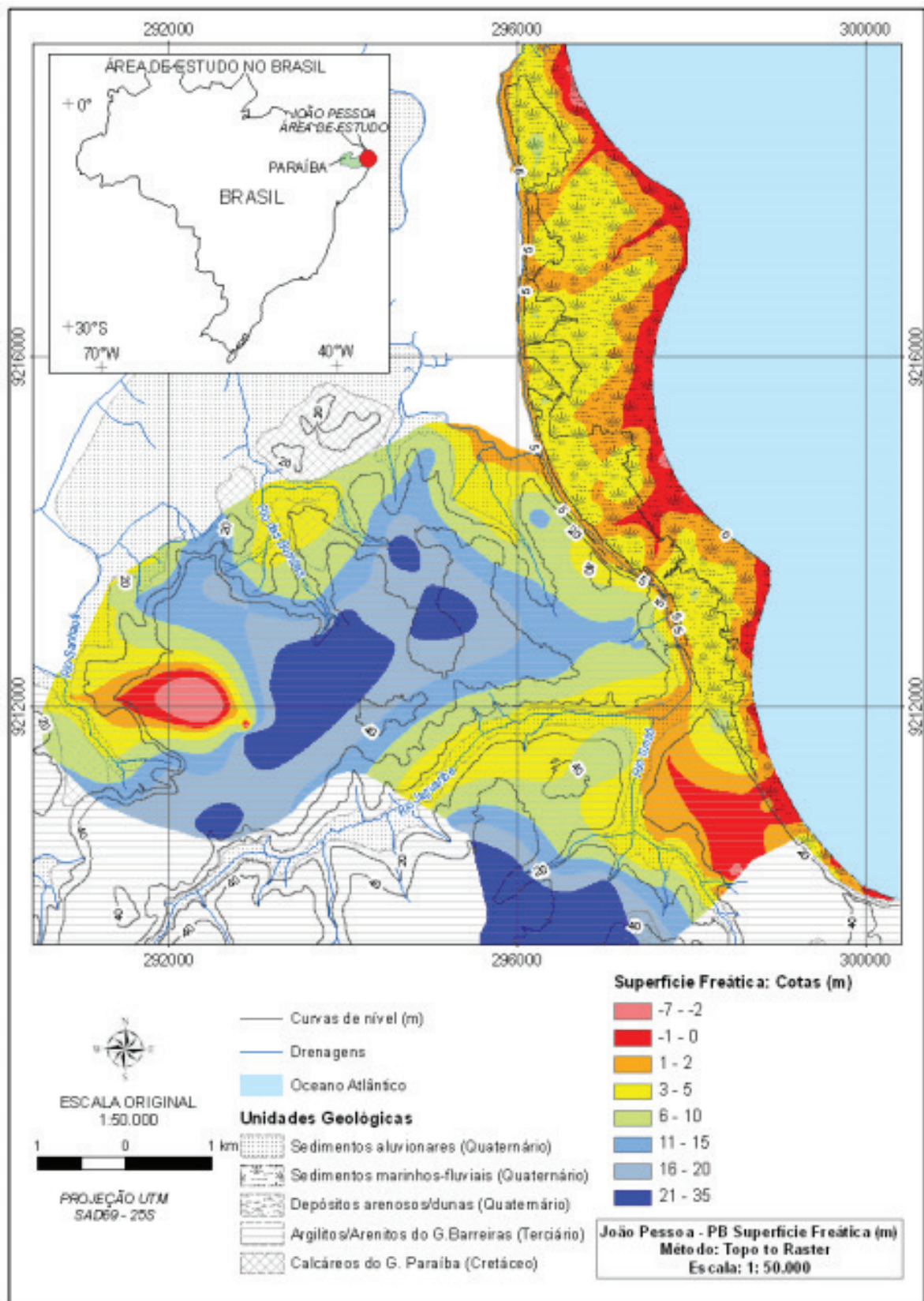


APÊNDICE E: MAPEAMENTO - TIPO DE FUNDAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DE JOÃO PESSOA PB



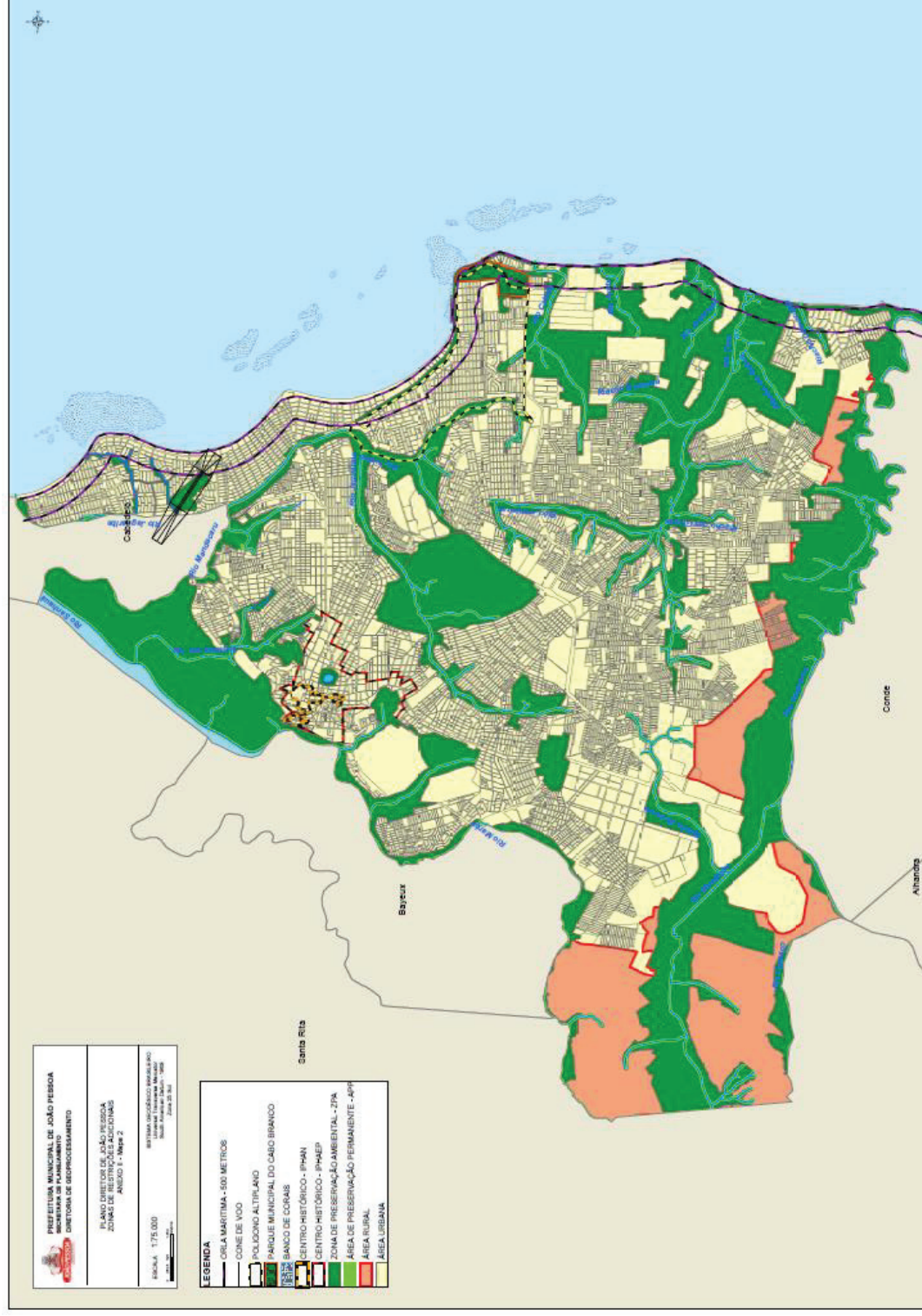
ANEXOS

ANEXO A: SUPERFÍCIE FREÁTICA PARA O PERÍODO SECO DO ANO - JOÃO PESSOA PB



Fonte: SOARES, W. C. (2011)

ANEXO B: ZONAS DE RESTRIÇÕES ADICIONAIS - JOÃO PESSOA PB



Fonte: PMJP (1994)

Nota: A linha paralela à orla (em roxo) indica a faixa de 500 metros na qual os imóveis terão limitações de gabarito máximo, conforme plano diretor de JP.