



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**MANOELY SOUZA DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA NA ESCOLHA DOS  
TIPOS DE FUNDAÇÕES DO BAIRRO DE BOA VIAGEM / RECIFE E  
ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS DE MEDIÇÕES DE  
RECALQUES EM EDIFÍCIOS**

RECIFE - PE

2018



**UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO**  
**Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**MANOELY SOUZA DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA NA ESCOLHA DOS  
TIPOS DE FUNDAÇÕES DO BAIRRO DE BOA VIAGEM / RECIFE E  
ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS DE MEDIÇÕES DE  
RECALQUES EM EDIFÍCIOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão

RECIFE - PE

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Universidade de Pernambuco – Recife

O48i

Oliveira, Manoely Souza de

Influência geológico-geotécnica na escolha dos tipos de fundações do bairro de Boa Viagem / Recife e elaboração de banco de dados de medições de recalques em edifícios. / Manoely Souza de Oliveira. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2018.

102 f.: il

Orientador: Dr. Alexandre Duarte Gusmão

Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.

1. Fundações. 2. Unidades Geológicas. 3. Solos Moles. 4. Desempenho de Edificações. 5. Recalques. I. Construção civil – Dissertação. II. Gusmão, Alexandre Duarte (orient.) III. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDD: 624.15136

**MANOELY SOUZA DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA NA ESCOLHA DOS  
TIPOS DE FUNDAÇÕES DO BAIRRO DE BOA VIAGEM/RECIFE  
E ELABORAÇÃO DE BANCO DE DADOS DE MEDIÇÕES DE  
RECALQUES EM EDIFÍCIOS**

BANCA EXAMINADORA:

**Orientador(a)**



---

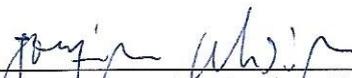
Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão  
Universidade de Pernambuco

**Examinadores**



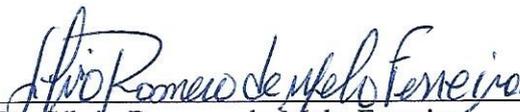
---

Prof. Dra. Stela Fucale Sukar  
Universidade de Pernambuco



---

Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira  
Universidade Católica de Pernambuco



---

Prof. Dr. Sílvio Romero de Melo Ferreira  
Universidade Federal de Pernambuco

Recife, PE  
2018

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo amor incondicional, proteção constante e bênçãos recebidas.

Aos meus pais e à minha irmã pelo carinho e apoio durante toda a jornada da vida.

Ao meu noivo George Cabral pelo amor mais puro, pelo afeto, compreensão, paciência, incentivo e colaboração à coleta de dados necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu pequeno grande amigo, meu anjo de quatro patas, Átila Souza pela alegria diária, consolo nas horas mais sombrias e amor sem limites.

Aos meus avôs, avós, tios, tias, sogros, cunhados e amigos pela torcida à finalização desta dissertação.

Ao meu orientador Professor Dr. Alexandre Duarte Gusmão pela honra de desenvolver essa pesquisa sob sua orientação. Meus sinceros agradecimentos pela competência, profissionalismo, disponibilidade e contribuição à realização desta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) da Universidade de Pernambuco pelos ensinamentos, dedicação e inspirador amor à profissão que demonstraram ao longo do curso. Também à Dona Lúcia, secretária do PEC, por todo o suporte fornecido ao longo do mestrado.

Aos amigos do mestrado, em especial a Cynthia, Flavinha, Joaquin, Lucas, Liza, Marcela e Maria Júlia, pela companhia, horas de estudos e boas gargalhadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida à realização desta dissertação.

Às empresas Gusmão Engenheiros Associados, ENSOLO e HLaproviterra pelo fornecimento dos dados essenciais à elaboração do projeto.

À equipe técnica da Gusmão Engenheiros Associados por todo o apoio e oportunidades de aprendizado durante o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço imensamente a Gilmar Maia, Rodrigo Roma, Marina Didier, Victor Hugo, Pedro Oliveira, Mateus Gusmão, Allan Leite, Antônio Souza, Lindemberg Pereira e, em especial, a Sr. Cláudio, uma das pessoas mais bondosas e de coração mais nobre que conheci até hoje, que, com toda paciência, dedicou horas do seu descanso me ajudando a coletar os dados deste trabalho.

Aos professores e amigos Silvio Romero, Joaquim Oliveira, Stela Fucale, Margareth Alheiros e Glauber Carvalho por todo o apoio e boa vontade em mostrar os caminhos para conseguir fazer essa dissertação. Sem o suporte de vocês seria muito mais difícil concluir essa pesquisa. Serei eternamente grata a cada um.

Também às professoras e amigas Cecília Lins e Maria Célia por toda a torcida e boas vibrações.

Ao professor engenheiro Dr. Jaime de Azevedo Gusmão Filho (*in memória*) por ter compartilhado tamanha sabedoria e ser fonte de inspiração mesmo sem nunca o ter conhecido.

A todos, muito obrigada!

*Lumus!*

## RESUMO

A formação dos solos da cidade do Recife é resultante de eventos geológicos diversos que deram origem à sua morfologia, composta, basicamente, por dois cenários distintos: os morros e a planície. O processo sedimentar flúvio-marinho responsável pela criação da planície resultou em uma grande diversidade geológica, cujos perfis de solo possuem extrema heterogeneidade e predominância de argilas moles, que podem alcançar espessuras superiores a trinta metros e que, geralmente, encontram-se saturadas devido à pequena altitude em relação ao nível do mar. Associado a isto, a cidade do Recife possui a segunda menor área urbana entre as capitais dos estados brasileiros e uma elevada densidade populacional, fatos que proporcionam a execução de obras cada vez mais verticalizadas sobre solos que, muitas vezes, possuem condições de suporte ineficientes e deformações excessivas. Desta maneira, a prática atual de fundações no município é fortemente direcionada pelas características do seu subsolo, ainda que outros fatores influenciem na sua escolha. Frente à tamanha complexidade, é importante também salientar que o acompanhamento do desempenho das edificações adquire ainda mais relevância, pois, muitas vezes, os projetos não levam em consideração o mecanismo da interação solo-estrutura, o que pode direcionar a obtenção de resultados não condizentes com a realidade e provocar uma série de efeitos às obras. Diante deste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a influência geológico-geotécnica na prática de fundações de edifícios localizados no bairro de Boa Viagem, que, situado na planície recifense, consta com a presença de edificações de grandes portes, com edifícios altos que possuem elevados índices de esbeltez, e elaborar um banco de dados de recalques medidos em obras. Para realizá-la, foram verificadas as soluções de fundações empregadas em obras situadas no local de estudo por meio de consulta à literatura e visitas técnicas a empresas locais que permitiram, também, a obtenção dos projetos de fundações dos edifícios em questão. Utilizando o georreferenciamento dos dados obtidos no Google Earth, foi verificada a influência geológica na prática de fundações por meio da sobreposição dos tipos de fundações ao mapa geológico do bairro com auxílio do *software* livre QGIS. Através dos projetos de fundações, obtiveram-se os relatórios de sondagem à percussão das obras, que subsidiaram a confecção de perfis geotécnicos e simplificados, tendo como produto o mapeamento tridimensional do subsolo do local em estudo, auxiliado pela ferramenta Rockworks15. A análise geotécnica se deu através da interpretação do mapa confeccionado e da criação de isolinhas de espessuras de solo mole com auxílio do *software* Surfer15, que permitiram verificar as regiões onde este material se encontra presente e relacionar a elas os tipos adotados de fundações. Na pesquisa, também consta a confecção de um banco de dados de recalques medidos, que pretende servir de suporte a pesquisas futuras. Ao total, foram constatadas as soluções de fundações de 161 obras, nas quais foi observada a predominância de fundações profundas (77%) que assentam sobre 4 diferentes unidades geológicas presentes em Boa Viagem: os Mangues, as Praias e os Terraços Marinhos Pleistocênico e Indiferenciado. A diversidade de fundações sobre as unidades geológicas permitiu constatar que, apesar de influente, a geologia não é fator decisivo na escolha dos tipos de fundações no local de estudo. O mapa tridimensional contou com 109 das 161 obras analisadas, tornando possível identificar o comportamento do subsolo da região e estimar perfis geotécnicos ao longo desta através de interpolação entre os dados. A criação de isolinhas de espessura de solos moles demonstrou que as características geotécnicas são decisivas na prática de fundações de Boa Viagem. Por sua vez, o banco de dados de recalques medidos compilou informações de 19 obras, que podem dar subsídio ao desenvolvimento de novas metodologias para estimativa de recalques.

**Palavras-chave:** Fundações. Unidades geológicas. Solos moles. Desempenho de edificações. Recalques.

## ABSTRACT

The formation of the soils in the City of Recife is the result of varied geological events which originated its morphology, compounded basically by two distinct sceneries: the hills and the plains. The fluviomarine sedimentary process responsible for the creation of the plains resulted in a big geological diversity, whose profiles of soil have an extreme heterogeneity and a predominance of soft clay, which can reach thickness levels of over thirty meters and are generally saturated due to the low heights in relation to sea level. In addition, the City of Recife has the second smallest urban area among the capitals of the Brazilian states and an elevated population density, facts that help boosting the construction of structures more and more verticalized above its soils, which in many cases have inefficient support conditions and excessive deformation. This way, the current practice of foundations in the city is strongly directed by its subsoil characteristics, even if other factors have an influence on its choices. In face of such complexity, it is also important to highlight that the follow-up of buildings' performances acquire even more relevance, because in many occasions the projects don't take into account the mechanisms of the soil-structure interaction, which can lead to results that don't match reality and can cause a series of effects on the construction. In such a context, this research aims to evaluate the geological-geotechnical influence on the practice of building's foundations in the Boa Viagem neighborhood, located on the plains of Recife, which features robust and tall buildings and high slenderness ratios, and assemble a database of measured settlements in constructions. To perform that, we verified the solutions of foundations used in constructions on the study site through literature review and technical visits to local companies which allowed us to gather the projects of foundations of such buildings. By using georeferencing of data acquired on Google Earth, we could observe the geological influence on the practices of foundations through the overlapping of types of foundations with the geological map using the open software QGIS. Through the projects of foundations, we got reports on the Standard Penetration Test (SPT) of the structures which provided input for the creation of geotechnical and simplified profiles, having as a result the tridimensional mapping of the local subsoil on the study site, helped by the Rockworks15 tool. The geotechnical analysis was achieved through the interpretation of the map and the creation of thickness isolines of soft soil helped by the Surfer15 software, which allowed us to verify the regions where this material was present and link them to the types of foundations adopted. On the research, we also created a database of measured settlements, intended to serve as a support for future research. In total, were analyzed the foundation solutions of 161 constructions, in which was observed the predominance of deep foundations (77%) atop 4 different geological units in Boa Viagem: the Mangrove, the Beaches and the Pleistocene Marine Terrace and the Undifferentiated Terrace Deposits. The diversity of foundations over the geological units allowed us to find that, although influential, geology is not a decisive factor on the choices of types of foundations on the study site. The tridimensional map featured 109 of the 161 constructions analyzed, making it possible to identify the behavior of the region's subsoil and estimate geotechnical profiles through the interpolation between data. The creation of thickness isolines of soft soils showed that the geotechnical characteristics are decisive on the practice of foundations in Boa Viagem. In turn, the database of measured settlements assembled information on 19 constructions which can provide input for the development of new methodologies for estimating settlements.

**Keywords:** Foundations. Geological Units. Soft Soils. Buildings' Performance. Settlements.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes constituintes de uma edificação .....	13
Figura 2 – Localização da cidade do Recife.....	19
Figura 3 – O relevo da cidade do Recife .....	21
Figura 4 - Mapa das áreas verdes do Recife.....	22
Figura 5 - Eventos geológicos formadores do Recife.....	23
Figura 6 – Mapa geológico da Cidade do Recife .....	24
Figura 7 – Desaprumo em prédios na cidade de Santos / SP .....	30
Figura 8 – Perfis típicos observados na cidade do Recife e suas faixas de espessuras das camadas .....	31
Figura 9 – Requisitos básicos dos projetos de fundações.....	33
Figura 10 - Classificação das fundações: (a) fundação superficial; (b) fundação profunda.....	33
Figura 11 - Processo executivo das estacas de compactação com equipamento tipo mini Franki .....	36
Figura 12 - Metodologia executiva da estaca raiz .....	37
Figura 13 – Detalhe de emenda em estaca metálica.....	38
Figura 14 - Método executivo das estacas tipo hélice contínua .....	40
Figura 15 - Diagrama de ocorrência para as fundações da Região Metropolitana do Recife ..	42
Figura 16 - Definições dos movimentos de fundações: (a) recalque absoluto, recalque diferencial, deformação angular e rotação; (b) inclinação e distorção angular; (c) deflexão relativa .....	44
Figura 17 – Distorções angulares e danos associados .....	45
Figura 18 - Modelos para estimativa de recalques de edificações .....	50
Figura 19 - Detalhes dos pinos de monitoramento de recalque.....	52
Figura 20 - Elementos constituintes da bench-mark .....	53
Figura 21 – Medida de recalque com nivelamento ótico.....	54
Figura 22 – Localização do bairro de Boa Viagem.....	55
Figura 23 -Síntese da metodologia empregada para elaboração da pesquisa.....	57
Figura 24 - Criação dos perfis simplificados.....	61
Figura 25 - Exemplo de relatório de recalques medidos .....	63
Figura 26 - Quantitativo de obras analisadas na pesquisa.....	64
Figura 27 - Quantidade de fundações por classificação .....	64
Figura 28 - Tipos de fundações adotados nas obras localizadas em Boa Viagem .....	65

Figura 29 – Mapa geológico do Recife e sua associação ao relevo .....	66
Figura 30 – Mapa geológico de Boa Viagem .....	66
Figura 31 - Classificação das fundações x unidades geológicas .....	68
Figura 32 - Tipos de fundações x unidades geológicas .....	69
Figura 33 – Exemplo de um perfil geotécnico elaborado manualmente para desenvolvimento da pesquisa.....	71
Figura 34 – Mapas tridimensionais do subsolo de Boa Viagem .....	73
Figura 35 – Perfis geotécnicos gerados no <i>software</i> Rockworks15 .....	74
Figura 36 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 0 e 10 metros de profundidade .....	76
Figura 37 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 10 e 20 metros de profundidade .....	77
Figura 38 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 20 e 30 metros de profundidade .....	78
Figura 39 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 30 e 40 metros de profundidade .....	79
Figura 40 – Influência da espessura e profundidade dos solos moles na escolha das fundações presentes nos edifícios na região dos Mangues, no bairro de Boa Viagem: (a) sapatas com melhoramento prévio com estacas de argamassa; (b) estacas pré-moldadas de concreto ou metálicas com carga reduzida; (c) estacas metálicas alcançando a camada impenetrável .....	80

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Estratigrafia da cidade do Recife .....	29
Quadro 2 - Estados de compacidade e de consistência .....	30
Quadro 3 -Fatores influentes na escolha das fundações .....	41
Quadro 4 -Deslocamentos limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral .....	47
Quadro 5 – Efeitos da interação solo-estrutura.....	48
Quadro 6 – Monitoramento do desempenho das partes da edificação .....	51
Quadro 7 – Classificação final dos materiais admitindo critérios de granulometria e consistência/compacidade .....	60
Quadro 8 – Síntese da análise das unidades geológicas x tipos de fundações .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores limites da rotação relativa ou distorção angular para edifícios estruturados e paredes portantes armadas .....	46
Tabela 2 - Valores limites da relação de deflexão $\Delta L$ para ocorrência de fissuras visíveis em paredes portantes não armadas .....	46
Tabela 3 – Critérios para avaliação de recalque e distorção angular tolerável limite e intolerável .....	46
Tabela 4 – Distribuição das cargas na estrutura .....	62
Tabela 5 – Perfis típicos encontrados segundo classificação de Oliveira et al. (2016).....	72
Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos.....	85

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1. Considerações iniciais e justificativa</b> .....	13
<b>1.2. Objetivos</b> .....	17
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i> .....	17
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	17
<b>1.3. Estrutura da Dissertação</b> .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
<b>2.1. Características da cidade do Recife</b> .....	19
2.1.1. <i>Localização e evolução urbana</i> .....	19
2.1.2. <i>Clima, relevo, vegetação e hidrografia</i> .....	20
2.1.3. <i>Unidades Geológicas</i> .....	21
2.1.4. <i>O contexto das argilas moles no subsolo da planície recifense</i> .....	28
<b>2.2. Tipos de fundações</b> .....	32
2.2.1. <i>Fundações superficiais</i> .....	32
2.2.2. <i>Fundações profundas</i> .....	36
<b>2.3. Prática de Fundações no Recife</b> .....	40
<b>2.4. Movimento das fundações</b> .....	42
2.4.1. <i>Recalque absoluto (<math>S</math>)</i> .....	43
2.4.2. <i>Recalque diferencial (<math>\delta</math>)</i> .....	43
2.4.3. <i>Rotação (<math>\theta</math>)</i> .....	43
2.4.4. <i>Inclinação (<math>\omega</math>)</i> .....	43
2.4.5. <i>Razão de deflexão (<math>\Delta/L</math>)</i> .....	43
2.4.6. <i>Rotação relativa ou distorção angular (<math>\beta</math>)</i> .....	43
2.4.7. <i>Deflexão relativa (<math>\Delta</math>)</i> .....	45
<b>2.5. Monitoramento de recalques</b> .....	48

2.5.1. Pinos de monitoramento .....	52
2.5.2. Referência de nível (RN).....	53
2.5.3. Nível ótico.....	53
2.5.4. Mira .....	53
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>55</b>
3.1. Caracterização da área de estudo.....	55
3.2. Etapa 1 - Coleta de dados.....	56
3.3. Etapa 2 - Unidades geológicas x tipos de fundações .....	59
3.4. Etapa 3 - Aspectos geotécnicos x tipos de fundações .....	59
3.5. Etapa 4 – Confecção do banco de dados de recalques medidos.....	62
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
4.1. Etapa 1 - Coleta de dados.....	64
4.2. Etapa 2 - Unidades geológicas x tipos de fundações .....	67
4.3. Etapa 3 - Aspectos geotécnicos x tipos de fundações .....	71
4.4. Etapa 4 - Confecção do banco de dados de recalques medidos .....	82
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>91</b>
5.1. Principais conclusões .....	91
5.2. Sugestões para pesquisas futuras .....	92
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO 1 – BAIROS E REGIÕES POLÍTICO-ADMINISTRATIVAS DA CIDADE DO RECIFE .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 2 – MAPA GEOLÓGICO DO RECIFE .....</b>	<b>102</b>

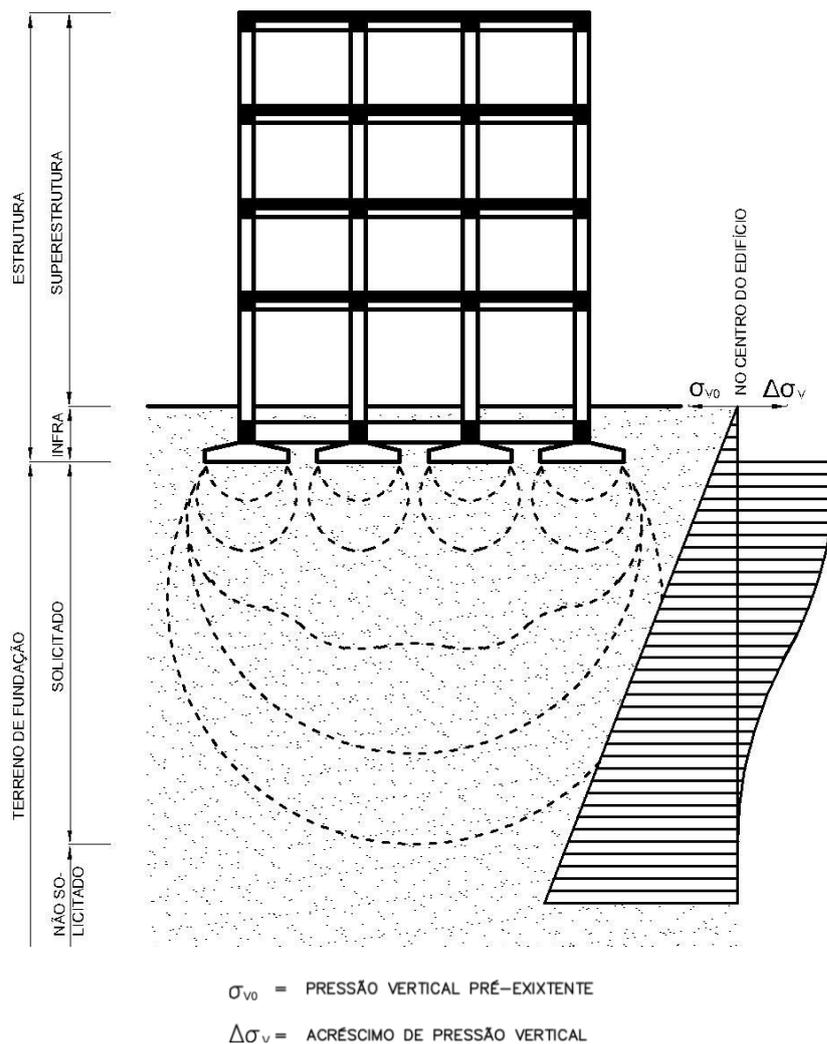
## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações iniciais e justificativa

Convencionalmente, compreende-se a edificação, para efeitos de análise estrutural, ao conjunto formado por três diferentes partes: a superestrutura, a infraestrutura e o terreno de fundação, conforme observado na Figura 1.

A superestrutura corresponde à parte visível da edificação, a qual será utilizada após a construção. É constituída por elementos estruturais, tais quais lajes, vigas e pilares, que são responsáveis por absorver as cargas – provenientes de ações verticais e horizontais nela atuantes – e transmiti-las à infraestrutura.

Figura 1 - Partes constituintes de uma edificação



A infraestrutura é a parte da edificação composta pelos elementos que transferem ao terreno de fundação os carregamentos da superestrutura, assim como as sapatas, estacas, blocos e cintas. Sua principal função é garantir a compatibilização entre as cargas da superestrutura e a resistência do terreno de fundação, e, desta forma, proporcionar segurança à ruptura da fundação e assegurar que as deformações – provocadas devido à mudança do estado de tensões do terreno, decorrente da construção do edifício – não comprometam a estabilidade, funcionalidade e estética da obra (GUSMÃO, 1990; ALBUQUERQUE; GUSMÃO, 2006).

O terreno de fundação, por sua vez, é a parte responsável por absorver e dissipar os esforços que foram desenvolvidos na superestrutura.

O que acontece, no entanto, é que a edificação não se comporta como partes, mas como um sistema único, sendo o seu desempenho governado pela ação mútua entre a superestrutura, a infraestrutura e o terreno de fundação, através de um mecanismo denominado interação solo-estrutura (ISE). Caso desprezada, esta interação pode produzir uma série de efeitos às obras.

Um dos efeitos provocados pela ISE é a redistribuição de esforços nos elementos estruturais, em especial as cargas nos pilares, onde, devido, principalmente, à rigidez relativa estrutura-solo e à deformada de recalques, os pilares mais carregados sofrem alívio de carga e os menos, incremento (AOKI, 1987; GONÇALVES et al., 2007, VELLOSO; LOPES, 2010).

O mecanismo também é responsável pela solidariedade entre os elementos da estrutura, conferindo-a considerável rigidez de forma a influenciar diretamente nos movimentos das fundações: a ISE faz com que os recalques diferenciais sejam menores que os estimados convencionalmente, resultando em deformadas de recalque com curvatura menor que a prevista (SAVARIS; HALLAK; MAIA, 2010, 2011).

Dessa forma, caso este efeito seja desprezado durante dimensionamento das edificações pode tanto provocar o surgimento de danos às mesmas quanto viabilizar projetos de fundação que não seriam aceitos por uma análise convencional (GUSMÃO, 1990).

Não obstante a importância, a maioria dos projetos de estabilidade, na rotina da engenharia, despreza a interação solo-estrutura, sendo elaborados a partir de métodos tradicionais que admitem a hipótese de que a edificação seja dividida em partes, como se não constituísse um conjunto (PARAMONOV; SHASHKIN; VASENIN, 2005; BAHIA et al., 2016). Desta forma, costumam ser realizados, separadamente, um projeto para dimensionamento da superestrutura, denominado projeto estrutural, e outro para infraestrutura, intitulado projeto de fundações.

No projeto estrutural, o dimensionamento dos elementos estruturais e o cálculo das cargas que chegam à infraestrutura são comumente desenvolvidos admitindo-se a hipótese que as fundações são indeslocáveis.

Em contrapartida, o projeto de fundações é realizado com base nas solicitações que chegam à infraestrutura, obtidas no projeto estrutural, e nas propriedades do solo, tendo os recalques estimados a partir da suposição que as fundações se deslocam de forma independente, desprezando o efeito da rigidez da estrutura (DANZIGER et al. 2005; MAIA; BARROS; JUNIRO, 2011; PULIKANTI; PRADEFP, 2014; MENDES, 2015; BAHIA et al., 2016).

Diante deste contexto, o comportamento previsto da estrutura acaba diferindo do comportamento real (CUNHA et al., 2014). Segundo Gonçalves (1954 apud CHAMECKI, 2004, p.1), este fato tem provocado uma série de críticas ao procedimento convencional de projeto, apesar de o último oferecer um "desempenho aceitável" em função das estruturas hiperestáticas terem facilidade de adaptação às deformações do solo.

Para Bahia (2015), o entendimento do mecanismo da ISE e a sua aplicação na prática podem resultar não apenas na elaboração de projetos mais próximos à realidade, mas também mais econômicos.

De acordo com a NBR 6122/10 (ABNT, 2010), o desempenho das fundações é verificado através de pelo menos o monitoramento dos recalques medidos na estrutura, podendo também ser necessário o monitoramento de outras grandezas como deslocamentos horizontais, desaprumos, integridade ou tensões. A monitoração de recalques segundo a norma, no entanto, apenas é obrigatória nos seguintes casos:

- estruturas nas quais a carga variável é significativa em relação à carga total, tais como silos e reservatórios;
- estruturas com mais de 60 metros de altura do terreno até a laje de cobertura do último piso habitável;
- relação altura/largura (menor dimensão) superior a quatro;
- fundações ou estruturas não convencionais.

Apesar de o conhecimento dos deslocamentos das fundações ser essencial e da exigência normativa para determinados casos, a prática brasileira de fundações apenas realiza, usualmente, a monitoração de recalques em casos em que são observadas patologias nas

edificações, tais como trincas e rachaduras (DANZIGER; DANZIGER; CRISPEL, 2000; LUCENA; BEZERRA ; GUSMÃO, 2004).

O monitoramento de recalques, de acordo com Bahia et al. (2016), permite prever eventuais manifestações patológicas que venham a ocorrer em consequência dos recalques nas fundações, permitindo a obtenção de parâmetros de deformabilidade das fundações e subsidiando, desta forma, a projetos viáveis e seguros.

No que tange a planície da cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, situado no nordeste brasileiro, a análise e a verificação do desempenho das edificações são ainda mais relevantes. Afinal, seu processo sedimentar de formação resultou em uma grande diversidade geológica, cujos perfis de solo possuem extrema heterogeneidade e predominância de solos argilosos moles, que podem alcançar espessuras superiores a trinta metros.

“Em uma cidade com um subsolo com as características do Recife, onde se encontram camadas de areia fina e média, de compactação fofa, intercaladas ou seguidas por outras, seja de argila orgânica mole, seja de areia concrecionada muito compacta ou arenitos bem consolidados, muitas vezes os projetos de fundação são governados pelo critério dos recalques” (GUSMÃO, 2005).

Por esta razão, as argilas orgânicas moles do Recife têm sido objeto de investigações de vários autores, assim como Ferreira, Amorim Júnior e Coutinho (1986), Ferreira e Coutinho (1988a), Genevois, Coutinho e Ferreira (1990) e Coutinho, Oliveira e Oliveira (2000), que apresentaram contribuições para a elaboração do banco de dados de argilas orgânicas do Recife através do estudo de caracterização física, química, mineralógica, de compressibilidade e de resistência ao cisalhamento.

A Carta Geotécnica da Cidade do Recife, um projeto que vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Solos e Instrumentação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco desde 1988, tais quais os estudos que tomaram-na como base, como os desenvolvidos por Oliveira (2001) e Genevois e Oliveira (2005), também constituem importantes ferramentas à compreensão das características do subsolo da capital pernambucana, ratificando a relevância do estudo dos seus solos moles.

Segundo Coutinho, Bello e Pereira (2006), devido à elevada compressibilidade e baixa resistência deste tipo de material, seus parâmetros para análise do desempenho das fundações

devem ser cuidadosamente obtidos.

Associado a isto, o Recife possui a segunda menor área urbana entre as capitais dos estados brasileiros e uma elevada densidade populacional resultante do crescimento do estado de Pernambuco nos últimos anos. “Tais fatos acarretam na execução de obras cada vez mais esbeltas sobre solos com baixa capacidade de suporte e elevada compressibilidade, pois, como a cidade possui espaço reduzido, a solução encontrada para suportar o número de habitantes é a verticalização das edificações” (OLIVEIRA et al., 2016).

Perante este cenário, torna-se necessária a elaboração de estudos que avaliem a prática de fundações no município e associe esta informação à sua geologia e geotecnia, contribuindo, desta forma, à análise por meio das construtoras e do corpo técnico dos locais de maior dificuldade e conseqüente maior custo para implantação de edificações, bem como do poder público, para que este possa disciplinar o uso e a ocupação do solo.

Da mesma maneira, a análise do desempenho das edificações é de extrema valia, pois os seus resultados podem contribuir ao entendimento dos parâmetros do subsolo e direcionar, por conseguinte, a elaboração de novas metodologias para previsão de recalques.

## **1.2. Objetivos**

### *1.2.1. Objetivo Geral*

Avaliar a influência geológica-geotécnica na escolha dos tipos de fundações do bairro de Boa Viagem, situado na cidade do Recife/PE, e elaborar um banco de dados de medições de recalques em edifícios.

### *1.2.2. Objetivos Específicos*

- Incorporar a topografia ao mapa geológico do Recife, dando ênfase ao bairro de Boa Viagem.
- Associar as soluções típicas de fundações adotadas às unidades geológicas as quais estejam assentes.
- Gerar um mapa tridimensional dos perfis de solos presentes no local de estudo.
- Associar os tipos de fundações às áreas em que estejam presentes camadas de solos moles.

- Criar um banco de dados de recalques medidos.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

A dissertação está distribuída em 5 (cinco) capítulos, conforme descrito:

O Capítulo 1 consiste em uma INTRODUÇÃO, na qual são abordadas as considerações iniciais e as justificativas, além de serem esclarecidos os objetivos estabelecidos para o desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentada uma REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, que abrange tópicos como as características da Cidade do Recife, tipos de fundações, prática de fundações do município, movimentos das fundações e monitoramento de recalques.

No Capítulo 3 é descrita a METODOLOGIA empregada para elaboração do trabalho.

No Capítulo 4 são expostos, detalhadamente, os RESULTADOS obtidos ao decorrer do estudo realizado.

No Capítulo 5, por sua vez, são listadas as CONSIDERAÇÕES FINAIS, onde são apresentadas as principais conclusões e as sugestões para pesquisas futuras.

Boa leitura.

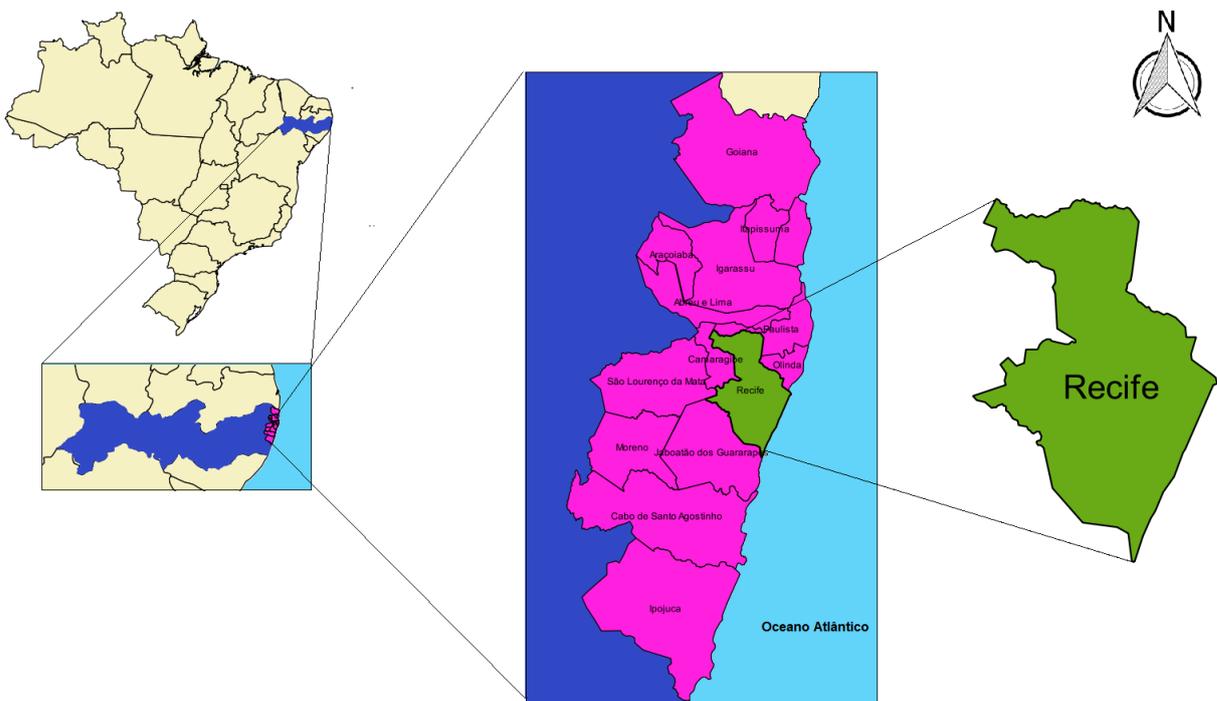
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Características da cidade do Recife

#### 2.1.1. Localização e evolução urbana

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, fica localizada no litoral do nordeste brasileiro e ocupa uma posição geográfica entre o continente e o mar. Limita-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com Jaboatão dos Guararapes, a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Localização da cidade do Recife



Fonte: Autora

A origem da cidade retoma a um povoado formado em torno de um porto situado no então Bairro do Recife. Apesar das dificuldades encontradas em residir em um local onde o nível de água aflorava em boa parte da sua superfície, as atividades comerciais portuárias, principalmente da cana de açúcar e do pau-brasil, fizeram impulsionar o seu crescimento. Por esta razão, o simples povoado foi se expandindo, fazendo com que o número de construções também crescesse.

Em 1630, a cobiça pelo açúcar, que era comercializado para consumo europeu pelos portugueses, fez com que os holandeses invadissem e dominassem a região e também Olinda, que era a então capital de Pernambuco. Em 1631, Olinda foi incendiada e o Recife passou a ser sede do Brasil Holandês até 1654 - quando retomado pelos portugueses.

Devido a isto, a cidade precisou passar por um intenso plano urbanístico para atender à demanda populacional que aumentava rapidamente com a presença dos holandeses: o porto foi melhorado, casas e pontes foram construídas, dentre outros. Para tal, a cidade começou a ser aterrada para que pudesse suportar as habitações e o comércio. “Pode-se dizer que remonta a essa época, o início dos aterros de mangues e alagados do Recife” (GUSMÃO FILHO, 1998).

Com um histórico de batalhas e transformações urbanas, o Recife cresceu e tomou a forma de cidade, estando distribuído atualmente em 94 bairros agrupados em seis diferentes Regiões Político-Administrativas (RPA) – que servem para efeito de formulação, execução e avaliação permanente das políticas e do planejamento governamentais –, conforme Anexo 1.

Tendo aproximadamente 8,6 Km de praia, o município possui, nos dias atuais, uma população estimada em 1.625.583 habitantes distribuídos em uma área de apenas 218,435 km<sup>2</sup>, sendo a 9ª cidade mais populosa do Brasil (IBGE, 2016).

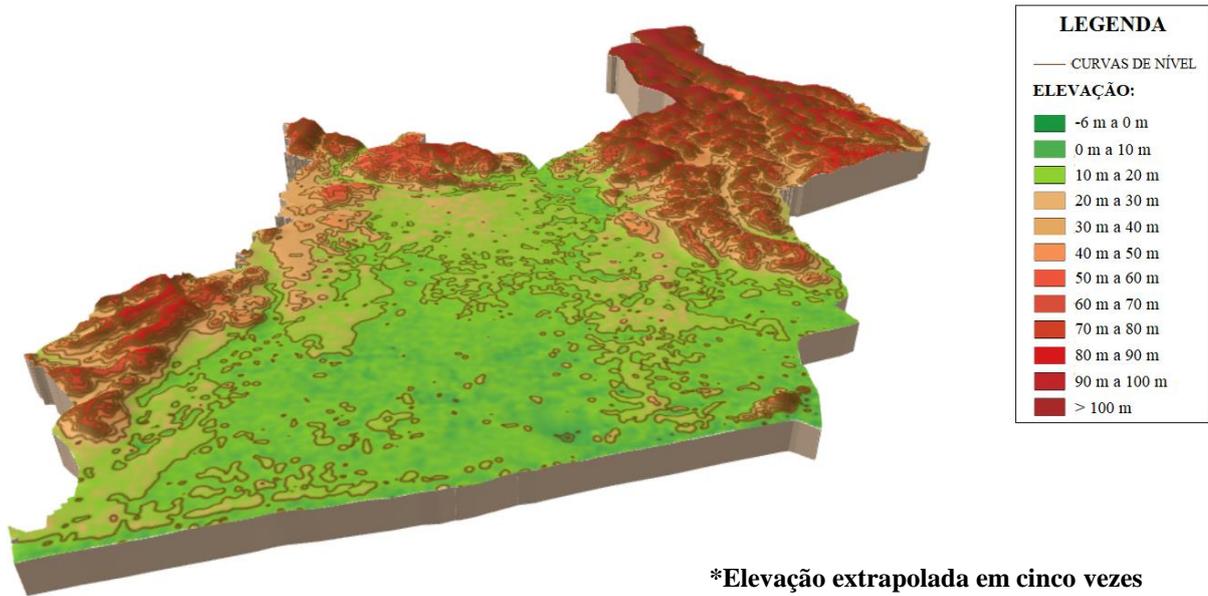
### *2.1.2. Clima, relevo, vegetação e hidrografia*

O Recife possui clima quente e úmido e temperatura média de 26° C, apresentando maior incidência de chuva entre os meses de junho, julho e agosto (RECIFE, 2017). Morfológicamente, a cidade possui, basicamente, dois conjuntos topográficos: os morros e a planície, como pode ser observado na Figura 3.

Os morros formam um semicírculo praticamente perfeito entorno da planície, desde o norte, oeste até o sul, com predominância de cotas entre 50 e 100 metros. Na área da planície, dominam cotas que variam entre 0 (nível do mar) e 10 metros, podendo ser encontrados apenas nos trechos dos rios que a recortam valores inferiores.

Cerca de 45% da área do Recife é tomada por áreas verdes, sendo 99,61% de árvores, gramas, arbustos e de todo o tipo de cobertura vegetal, porém estas são má distribuídas dentre os bairros da cidade (CARVALHO, 2012), conforme observado na Figura 4.

Figura 3 – O relevo da cidade do Recife



Fonte: Autora

A maior parte da cobertura vegetal da capital Pernambucana está situada na RPA 3 - Zona Norte, onde o bairro da Guabiraba corresponde ao mais arborizado, com cerca de 75% de sua área coberta por árvores. O bairro de Brasília Teimosa, localizado na Zona Sul, ocupa, por sua vez, a posição de menos arborizado, com apenas 1,89% de seu território tomado por áreas verdes.

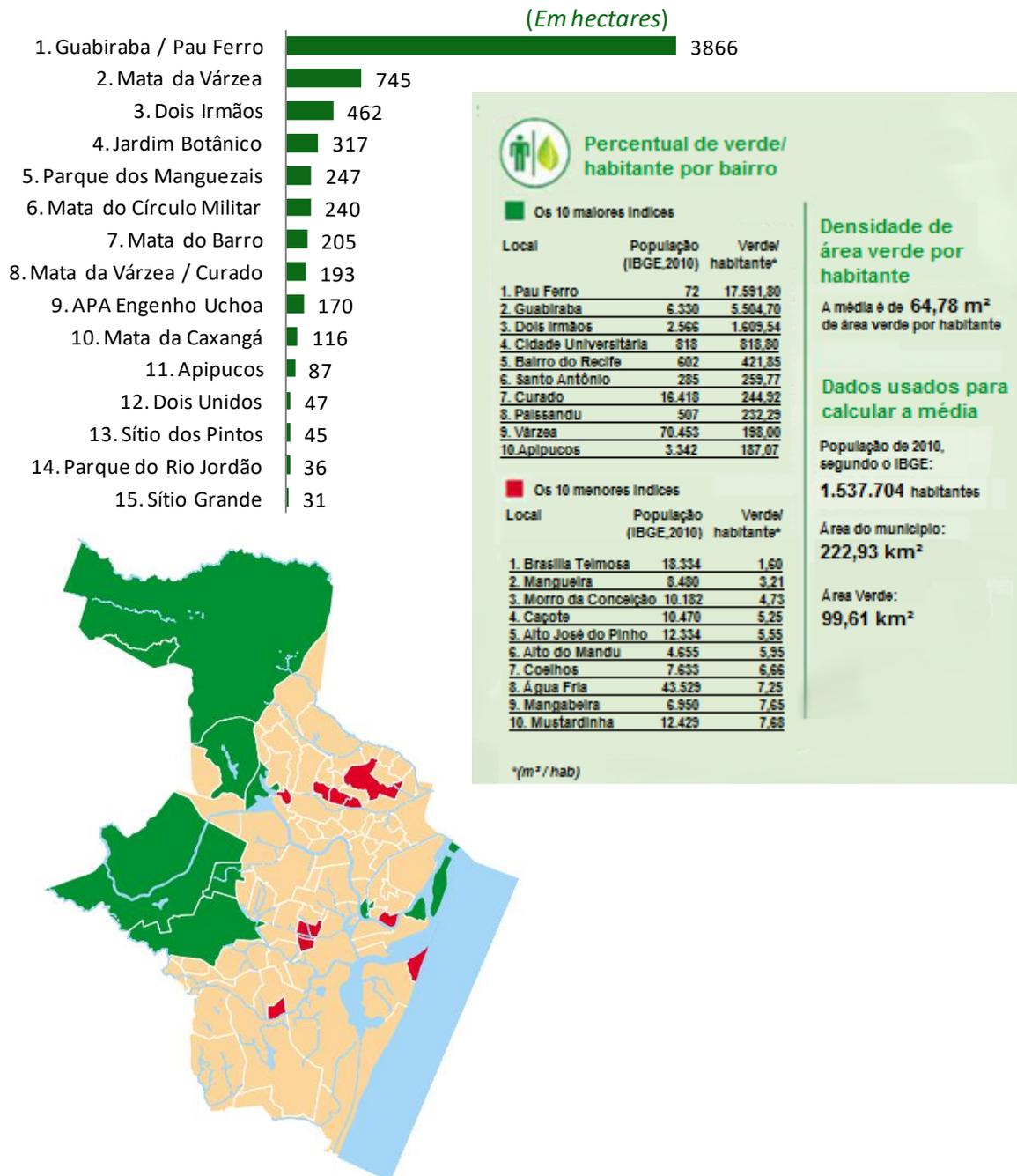
Em relação à hidrografia do município, três são os principais rios: o Capibaribe, o Beberibe e o Tejipió. Em parceria com o mar, ambos exerceram influência na formação dos solos da cidade.

### 2.1.3. Unidades Geológicas

A formação dos solos da cidade do Recife é resultante de eventos geológicos diversos. Sinteticamente, a cidade foi formada a partir de um falhamento de gravidade do embasamento cristalino à época do final do Jurássico / início do Cretáceo, quando a América do Sul se separou da África, formando o Oceano Atlântico Sul (ALHEIROS et al., 1990a).

O referido falhamento formou, a leste, uma zona rebaixada, que se tornou uma bacia de sedimentação depositária, inicialmente, de sedimentos cretáceos, conforme Figura 5.

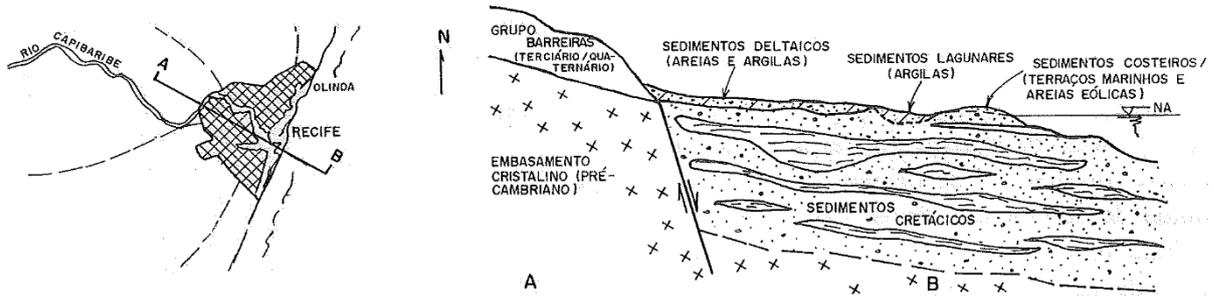
Figura 4 - Mapa das áreas verdes do Recife



Fonte: Adaptado de Carvalho (2012)

O pacote sedimentar cretáceo começa pela Formação Cabo, cujos sedimentos, inseridos durante a idade Cretáceo Inferior, são oriundos da própria ação tectônica. No cretáceo superior, a ação fluvial fez com que fosse depositada a Formação Beberibe e, posteriormente, durante mesmo período geológico, o avanço do mar na direção do continente (transgressão) fez com que sedimentos da Formação Gramame sobrepusessem a maioria dos sedimentos continentais de origem fluvial da Formação Beberibe (GUSMÃO FILHO, 1998).

Figura 5 - Eventos geológicos formadores do Recife



Fonte: Gusmão Filho (1995)

Entre o fim do Terciário (Plioceno) e início do Quaternário (Pleistoceno), o mar recuou em direção ao litoral (regressão) fazendo com que o bordo do continente basculasse no mesmo sentido, dando-se, assim, a deposição da Formação Barreiras no limite do continente, num período de mar bastante recuado (GUSMÃO FILHO, 1998).

“As oscilações do nível do mar durante o Quaternário, resultantes de glaciações intermitentes, responderam pela erosão litorânea da Formação Barreiras e pela implantação dos terraços marinhos que deram origem à Planície do Recife, completando a sequência dos principais eventos geológicos reconhecidos na área” (ALHEIROS et al., 1990a).

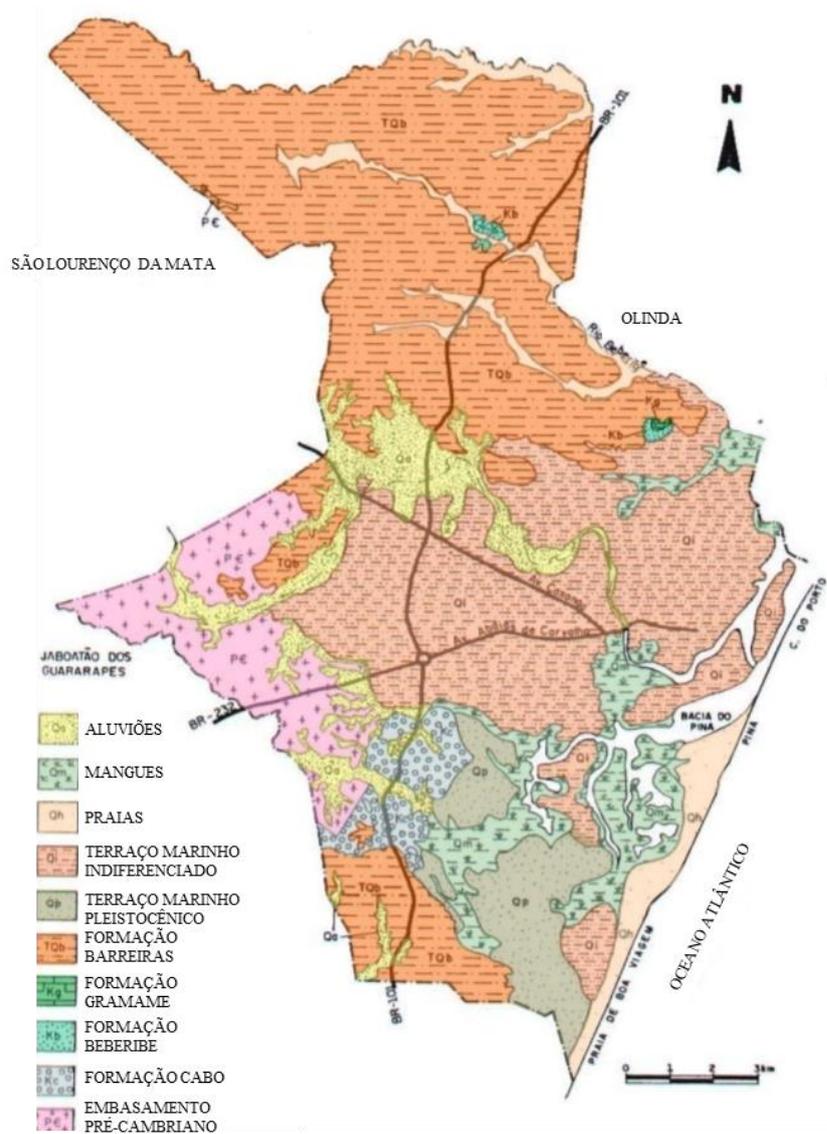
As duas últimas transgressões e regressões marinhas foram as grandes responsáveis pela formação da planície recifense. Segundo Alheiros (1988 apud Martin, 1990a, p. 62) a penúltima transgressão, que atingiu de 8 a 10 metros acima do mar atual, foi responsável pela erosão da Formação Barreiras, cobrindo os baixos cursos dos rios e determinando a formação de estuários e lagunas; a penúltima regressão, por sua vez, foi responsável por deposições sucessivas de cordões litorâneos dos Terraços Marinhos Pleistocênicos.

Ainda de acordo com Alheiros (1988 apud Martin, 1990a, p. 62), durante a última transgressão os terraços anteriormente mencionados foram afogados pelo mar, gerando lagunas e uma nova linha de costa os cortou; o abaixamento gradativo do nível do mar causado pela última regressão, por fim, fez migrar a linha da costa para leste, transformando as lagunas em lagoas e pântanos, e, ao mesmo tempo, dando origem a uma nova sequência de cordões litorâneos sucessivos a um nível mais baixo de terraço marinho, sobre o qual se implantam os canais fluviais e os mangues atualmente.

A Figura 6 apresenta o mapa geológico da cidade do Recife desenvolvido por Alheiros et al. (1990a). Adiante, as unidades geológicas nele presentes serão brevemente comentadas de

acordo com as explicações obtidas nos trabalhos de Ferreira, Amorim Júnior e Coutinho (1986), Alheiros et al. (1990a), Alheiros et al. (1990b), Alheiros (1998), Gusmão Filho (1995) e Gusmão Filho (1998).

Figura 6 – Mapa geológico da Cidade do Recife



Fonte: Alheiros et al. (1990a)

#### a) Embasamento Cristalino

O Embasamento Cristalino é formado por rochas graníticas, gnáissicas e cataclásticas, de idade pré-cambriana (ALHEIROS et al., 1990a). O seu relevo predominante é o de morros, onde pode

atingir cotas maiores que 100 m. Aflora em pequenos pontos a oeste da cidade do Recife, total ou parcialmente nos bairros do Curado, Totó, Coqueiral, Várzea e Tejipió.

b) Formação Cabo

A Formação Cabo é constituída de sedimentos conglomeráticos e lacustres provenientes da própria ação tectônica que separou a América do Sul e a África na idade Cretácea (ALHEIROS, 1998). Compostos por arcósios conglomeráticos esverdeados intercalados a argilitos verdes/vermelhos, se apresentam em pequenas manchas a oeste do município, na região dos morros (GUSMÃO FILHO, 1998).

c) Formação Gramame

Composta por calcarenitos e calcários dolomíticos creme / cinza, se apresenta pontualmente em subsuperfície a leste e nordeste, não possuindo expressão geográfica definida.

d) Formação Barreiras

Unidade de maior extensão na cidade do Recife, ocupa praticamente toda a parte norte da área a partir dos bairros de Casa Amarela e Dois Irmãos até o limite oeste com Camaragibe e torna a se expor na parte sudoeste da área, nos bairros de Dois Carneiros, Ibura e Jordão (ALHEIROS et al., 1990a).

Constituída por sedimentos de granulometria variada, possui intercalações de areias e argilas com horizontes de seixos sub-horizontais, levemente direcionadas para o mar na forma de tabuleiros elevados (50 m) (GUSMÃO FILHO, 1998).

Gusmão Filho (1995) relata que existem duas formações litologicamente distintas do Grupo Barreiras nos morros do Recife: a Formação Guararapes, constituída por sedimentos mais arenosos, presentes nos morros da zona sul; e a Formação Riacho Morno, de textura mais argilosa, frequente nos morros da zona norte.

A composição de sedimentos mais arenosos na Formação Guararapes resulta em uma maior tendência a fenômenos erosivos nos morros da zona sul, enquanto a ocorrência de sedimentos

argilosos na Formação Riacho Morno aumenta a suscetibilidade aos deslizamentos nos morros da zona norte.

#### e) Terraço Marinho Pleistocênico

Encontrados na porção sul da cidade, esses terraços são formados por areias de quartzo de granulometria média a grosseira, medianamente selecionadas, com grãos arredondados a subarredondados, possuindo, na base, enriquecimento em matéria orgânica de cor marrom escura semelhante a pó de café (ALHEIROS et al., 1990a).

As areias quartzosas superficiais desta unidade geológica, presente em cotas de 7 a 8 metros na zona sul da cidade, possuem compacidade fofa a pouco compacta em superfície e, em torno dos 3 a 5 metros de profundidade, incrementam seu estágio de coesão apresentando compacidade de arenito compacto. “Os depósitos flúvio-lagunares finos dos Terraços Marinheiros Pleistocênicos se constituem em argilas arenosas, de consistência crescente de mole a rija com a profundidade” (GUSMÃO FILHO, 1995, p.15).

Morfologicamente, os Terraços Marinheiros Pleistocênicos apresentam-se como áreas planas que se situam a sopé dos morros onde estão as Formações Barreiras e Cabo, a oeste. Localiza-se em uma porção mais interna da planície sob a forma de antigas cristas praias com cotas altimétricas variando entre 6 e 12 m (SOUZA, CORRÊA, SILVA; 2017). Oferecem, em geral, excelentes condições de subsolo para fins de fundações de edifício (GUSMÃO FILHO, 1998).

#### f) Terraço Marinho Indiferenciado

Localizada na planície recifense, é a unidade quaternária de maior extensão superficial. Originalmente formado como um Terraço Marinho Pleistocênico, o Terraço Marinho indiferenciado apresenta-se como areias de coloração creme clara, uniformes e medianamente compactas, cortadas e capeadas por sedimentos fluviais mais recentes, que alteram o caráter marinho da sedimentação (ALHEIROS et al., 1990a).

De acordo com Lima Filho e Alheiros (1990 apud ALHEIROS et al., 1990b) os Rios Capibaribe e Jiquiá, fortemente meandantes em seu baixo curso, alteraram a disposição e o conteúdo sedimentar de partes do Terraço Marinho Indiferenciado, sendo responsáveis pela inserção de grandes quantidades de argilas moles e matéria orgânica, em parte evoluídas para turfas.

Segundo Alheiros et al. (1990a), este caráter meandrante do Capibaribe no Recife fez com que as concavidades dos vales erodissem fortemente e os seus sedimentos fossem depositados nas margens de convexidade, fazendo com que a curva do meandro se ampliasse e migrasse sobre a planície, podendo ser estrangulada pelo encontro de duas margens e novamente retomado, em processo cíclico, promovendo uma verdadeira varredura sobre a planície originalmente marinha.

#### g) Praias

A unidade das Praias está associada à última regressão marinha que ocorreu no período holocênico. Composta por areias quartzosas brancas e fragmentos de conchas, podem conter lentes de argilas moles, tendo em vista a presença de antigos canais de marés posteriormente assoreados e capeados por areias de praia (ALHEIROS et al., 1990b).

As praias ocupam o litoral recifense de Brasília Teimosa a Boa Viagem, sendo, por essa razão, retrabalhada até os dias atuais pela ação do mar. De acordo com Alheiros et al. (1990a), esse terraço é cortado por canais fluviais preenchidos por sedimentos grosseiros, mal selecionados, presença de cascalhos etc., que se formaram posteriormente, em decorrência dos processos associados à regressão marinha.

Em subsuperfície ocorrem com frequência recifes ou cordões arenosos com cimentação carbonática (arenitos), que expressam a posição de antigas linhas de costa (beach rocks) (ALHEIROS et al., 1990b).

Segundo Gusmão Filho (1995), as praias são áreas densamente ocupadas por edifícios de elevada esbeltez onde se tem utilizado, em alguns casos, fundações superficiais apoiadas sobre a camada de areia compacta a muito compacta concrecionada – ou arenitos –, com o efeito de placa sobre a camada compressível subjacente.

#### h) Mangues

Esta unidade, que ocorre nas margens dos baixos cursos dos rios, caracteriza-se normalmente por possuir um substrato siltico-argiloso, pouco evoluído e rico em matéria orgânica (ALHEIROS et al., 1990a).

São presentes nas áreas mais baixas da planície recifense em áreas planas que recebem, ao mesmo tempo, água doce e sedimentos dos rios e água salgada quando sobem as marés, tendo, por essa razão, estagnação de águas que favorecem o desenvolvimento de vegetações e outros materiais típicos (GUSMÃO FILHO, 1998). Ambos os terraços, pleistocênico e holocênico, são cortados por canais de maré e recortados por mangues (GUSMÃO FILHO, 1995).

Do ponto de vista geotécnico, a presença de restos vegetais e animais com lentes de turfa e argila orgânica que podem ocorrer até os quatro primeiros metros fazem com que esses solos possuam capacidade de suporte extremamente baixa (ALHEIROS et al., 1990b).

Convém ressaltar, no entanto, que os aterros urbanos vêm tomando, ao longo do crescimento da cidade, as áreas de mangues, cobrindo o seu substrato característico, restando apenas poucas áreas atualmente, que sobrevivem graças à proteção legal (ALHEIROS et al., 1990a; GUSMÃO FILHO, 1995).

#### i) Aluviões

Compostos por areias quartzosas acidentadas, intercaladas com argilas siltosas de consistência média à rija, os depósitos aluvionares ocorrem em áreas às margens dos rios e canais, tendo características geotécnicas favoráveis à implantação de fundações superficiais devido à alta resistência do terreno a profundidades relativamente pequenas (15 metros) (GUSMÃO FILHO, 1998).

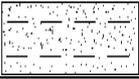
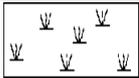
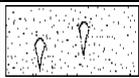
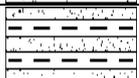
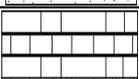
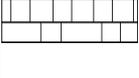
Assim, a área onde está implantado o município do Recife compreende exposições do Embasamento Cristalino, das bacias sedimentares cretáceas e dos sedimentos cenozoicos que incluem depósitos continentais e Terraços Marinhos Pleistocênicos além de Aluviões, Mangues e Terraços Marinhos Holocênicos (ALHEIROS et al., 1990a) – Quadro 1.

#### *2.1.4. O contexto das argilas moles no subsolo da planície recifense*

Os solos moles representam uma grande problemática à engenharia geotécnica tanto em âmbito nacional quanto internacional. Casos famosos como a Torre de Pisa, na Itália, o Palácio de Belas Artes, no México, e os edifícios da Orla de Santos, no estado de São Paulo – Figura 7 –, são retratados em literatura e refletem o quão importante é a elaboração de campanhas de prospecção geotécnica e o quão complexa deve ser a definição dos parâmetros e elaboração dos

projetos de forma que conduzam a obras sem desaprumos e / ou outras patologias associadas a movimentos das fundações em construções projetadas sobre solos moles.

Quadro 1 - Estratigrafia da cidade do Recife

IDADES	SECÇÃO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	LITOLOGIAS
HOLOCENO		Aluviões	areias quartzosas acinzentadas, intercaladas com argilas
		Terraço Marinho Holocênico	areias quartzosas brancas, com conchas
		Mangues	argilas/siltos cinza-escuro, com matéria orgânica
PLEISTOCENO		Terraço Marinho Pleistocênico	areias quartzosas brancas com matéria orgânica (cor de café) na base
PLIOCENO / PLEISTOCENO		Formação Barreiras	areias feldspáticas avermelhadas intercaladas a argilas variegadas: areias
CRETÁCEO SUPERIOR		Formação Gramame	calcarenitos e calcários dolomíticos creme/cinza
		Formação Beberibe	areias quartzosas cremes e esbranquiçadas e siltitos/argilitos cinza, fossilíferos
CRETÁCEO INFERIOR		Formação Cabo	arcósios conclomeráticos esverdeados intercalados a argilitos verdes/vermelhos
PRÉ-CAMBRIANO		Embasamento Cristalino	gnaises graníticos e cataclasitos

Fonte: Alheiros et al. (1990a)

Quando se trata da cidade do Recife, tais critérios são igualmente relevantes, pois o seu processo de formação resultou em uma grande diversidade geológica: enquanto os morros que circulam o município apresentam solos de boa resistência pertencentes à Formação Barreiras, a região da planície, onde se concentram as obras de grande porte, possui camadas de argilas moles que podem alcançar mais de 30 metros de espessura.

Com origem resultante do acúmulo de sedimentos trazidos, principalmente, pela ação do mar, a planície da cidade possui solos de composição heterogênea, podendo ser encontrados materiais como areias, turfas, siltes e conchas, porém há a predominância de solos argilosos moles, que, segundo Coutinho, Oliveira e Santos (2000), devido à reduzida altitude em relação ao nível do mar, encontram-se geralmente saturados.

Figura 7 – Desaprumo em prédios na cidade de Santos / SP



Fonte: Dias (2010)

Oliveira (2015) verificou que dos materiais encontrados na planície recifense, aproximadamente 1/3 consistia em argilas muito moles a moles – conforme classificação da NBR 6484 (ABNT, 2001) presente no Quadro 2 –, ou seja, solos que possuem baixa capacidade de suporte e elevada compressibilidade, condições geotécnicas desfavoráveis à execução de obras.

Quadro 2 - Estados de compactidade e de consistência

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação
Areias e siltes arenosos	$\leq 4$	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	$> 40$	Muito Compacta (o)
Argila e siltes argilosos	$\leq 2$	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	$> 19$	Dura (o)

Fonte: ABNT (2001)

Devido ao grande número de ocorrências, as argilas moles do Recife, que frequentemente são orgânicas, têm sido objeto de investigações de vários autores, assim como Teixeira (1972) que analisou os perfis dos solos dos bairros do Derby, Madalena e Bonji; Soares (1975) e Carvalho (1975), que analisaram os perfis dos solos do bairro do Derby; Amorim Júnior (1975), Ferreira (1982), Ferreira, Amorim Júnior e Coutinho (1986), Ferreira e Coutinho (1988b), Coutinho e Ferreira (1988), Oliveira (1991, 2002) e Oliveira (2000) que investigaram os do bairro da Madalena; Bello (2004) que analisou os perfis dos solos do bairro de Dois Irmãos ; e Rocha (2016) e Cadete (2016), que estudaram os do bairro Chão de Estrelas.

Oliveira et al. (2016) apresentaram contribuições para a o entendimento dos solos moles na capital pernambucana através da análise de vários perfis de solos e agrupamento em perfis típicos, como demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Perfis típicos observados na cidade do Recife e suas faixas de espessuras das camadas

PERFIL I A	ESPESSURA (m)	PERFIL II A	ESPESSURA (m)	PERFIL III	ESPESSURA (m)
ATERRO	0,00 - 2,00	ATERRO	0,00 - 2,30	ATERRO	0,00 - 1,00
AREIA	0,95 - 22,25	SILTE	0,00 - 5,85	AREIA	17,68 - 44,62
TURFA	0,00 - 2,96	ARGILA	0,50 - 8,35	SILTE	0,00 - 3,90
ARGILA	0,40 - 9,00	TURFA	0,00 - 10,30	AREIA	0,00 - 6,50
AREIA	0,30 - 20,50	AREIA	0,15 - 33,10		
SILTE	0,00 - 4,50	ARGILA	0,00 - 9,95	PERFIL IV A	ESPESSURA (m)
ARGILA	0,00 - 8,81	AREIA	0,00 - 28,75	AREIA	0,00 - 3,30
				ARGILA	1,90 - 6,20
PERFIL I B 1	ESPESSURA (m)	PERFIL II B 1	ESPESSURA (m)	AREIA	3,40 - 7,90
ATERRO	0,00 - 2,00	ATERRO	0,00 - 2,70	TURFA	11,85 - 24,40
AREIA	4,73 - 15,80	ARGILA	11,60 - 20,60	AREIA	0,90 - 9,18
ARGILA	11,00 - 28,00	AREIA	0,00 - 10,55	TURFA	0,00 - 10,10
AREIA	0,00 - 15,00	ARGILA	0,00 - 9,95		
		AREIA	0,00 - 11,44	PERFIL IV B	ESPESSURA (m)
PERFIL I B 2	ESPESSURA (m)	PERFIL II B 2	ESPESSURA (m)	ATERRO	0,00 - 2,70
ATERRO	0,00 - 2,30	ATERRO	0,00 - 2,78	ARGILA	2,00 - 6,13
AREIA	1,10 - 7,90	ARGILA	0,75 - 7,93	TURFA	2,17 - 4,30
ARGILA	1,03 - 9,48	TURFA	0,00 - 8,00	ARGILA	1,90 - 8,33
AREIA	1,70 - 7,88	AREIA	1,60 - 13,20	TURFA	0,00 - 3,10
ARGILA	11,00 - 28,88	ARGILA	10,03 - 31,12		
		AREIA	0,00 - 16,67		

Fonte: Oliveira et al. (2016)

As cartas e mapas geológicos, geomorfológicos e de águas subterrâneas, bem como o banco de dados de sondagens – onde estão armazenadas as descrições das diversas camadas encontradas,

posição do nível d'água, índice de resistência à penetração ( $N_{SPT}$ ) em função da profundidade e localização da sondagem (GENEVOIS; OLIVEIRA, 2005) – desenvolvidos através do projeto da Carta Geotécnica da Cidade do Recife, colaboram, da mesma maneira, expressivamente com o acervo de informações acerca da disposição dos solos moles na urbe.

As pesquisas publicadas por Oliveira (2001) e Genevois e Oliveira (2005), que fizeram uso da geostatística – ramo da estatística que utiliza conceito de variáveis regionalizadas (que levam em consideração a localização geográfica e a dependência espacial) na avaliação de variabilidade espacial (GREGO; OLIVEIRA; VIEIRA, 2014) – para construção de isolinhas de espessura de solos orgânicos, também exerceram considerável contribuição no fornecimento de indicativos de locais de ocorrência das argilas orgânicas moles e suas prováveis espessuras.

Com base nas observações realizadas acerca das características dos solos da capital pernambucana, Gusmão (2005) afirma que os projetos de fundações são muitas vezes governados pelo critério dos recalques.

Associado a este contexto, a reduzida área da cidade e a elevada quantidade de habitantes que nela residem proporcionaram a execução de obras cada vez mais verticalizadas sobre solos com condições de suporte ineficientes, sobre espessos depósitos de argilas orgânicas.

## **2.2. Tipos de fundações**

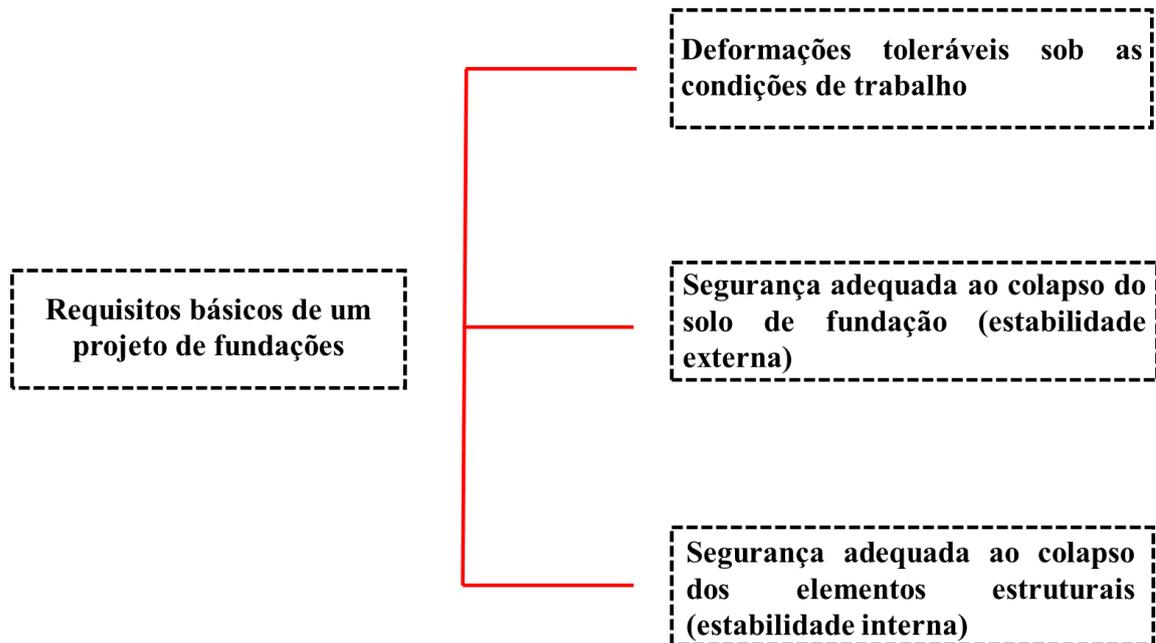
### *2.2.1. Fundações superficiais*

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define fundação superficial - também chamada rasa ou direta – como o elemento de fundação que transmite o carregamento ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base e que tem a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação.

Desta forma, os requisitos de projeto – presentes na Figura 9 – devem ser atendidos até a profundidade máxima especificada em norma para que a fundação seja dita superficial, pois, caso contrário, sua definição será de fundação profunda – Figura 10.

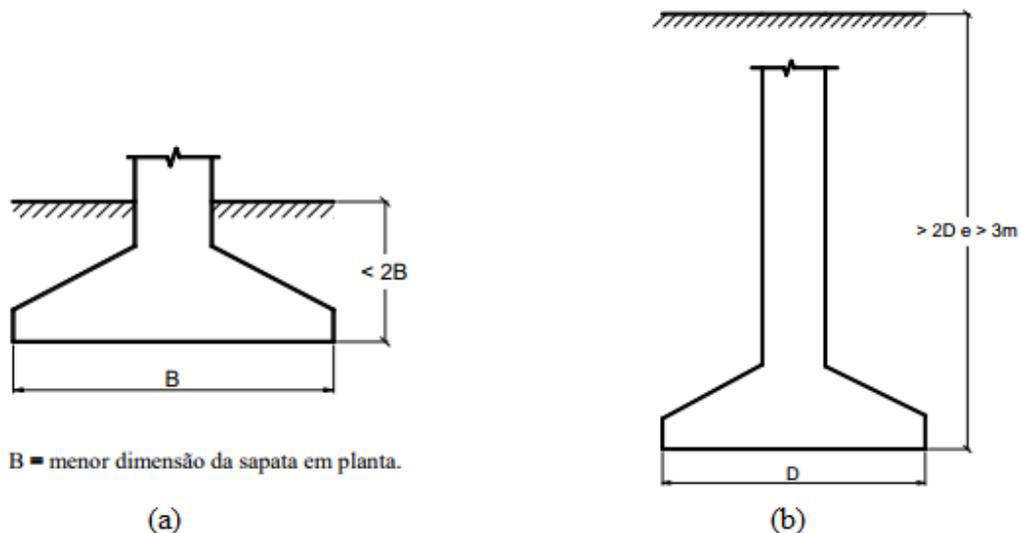
São tipos de fundações superficiais os blocos, os radiers e as sapatas. Associado aos últimos, é comum no nordeste brasileiro a adoção de técnicas de melhoramento de solo com estacas de compactação e, por essa razão, estas também serão discutidas.

Figura 9 – Requisitos básicos dos projetos de fundações



Fonte: Adaptado de Velloso e Lopes (2010)

Figura 10 - Classificação das fundações: (a) fundação superficial; (b) fundação profunda



Fonte: Bastos (2016)

#### a) Blocos de fundação

Compostos por concreto simples, os blocos são elementos de fundação superficial que resistem tanto aos esforços de compressão quanto aos de tração (não armados), o que faz, desta maneira, que sejam caracterizados por possuir alturas relativamente grandes. Podem ser encontrados em forma de troncos de cone, pedestal ou escalonados.

#### b) Radiers

São elementos de fundação direta que abrangem parte ou todos os pilares de uma estrutura, distribuindo os carregamentos da edificação uniformemente pela área de contato (ABNT, 2010). O radier é uma laje de concreto que, por trabalhar à flexão, deve ser armado com armaduras simples ou protendidas. A alternativa é indicada para obras de pequeno porte, apresentando custo relativamente baixo quando comparada a outras soluções de fundações.

#### c) Sapatas

As sapatas são elementos de fundação superficial de concreto armado dimensionados de forma que as tensões de tração neles resultantes sejam resistidas por armadura especialmente disposta para esta finalidade (ABNT, 2010).

Podem ser subdivididas em sapatas isoladas, quando recebem a carga de apenas um pilar; sapatas associadas, quando recebem as cargas de dois ou mais pilares não necessariamente alinhados; e sapatas corridas, que são aquelas sujeitas à ação de cargas de diversos apoios e/ou paredes alinhadas.

Dentre os fatores mais influentes para escolha deste tipo de fundação, podem-se citar o atendimento aos requisitos de projeto nas camadas superficiais do terreno e a presença do lençol freático que, quando se encontra em níveis elevados, próximo à superfície, pode tornar a solução onerosa devido à necessidade de rebaixamento.

#### d) Melhoramento de solos com estacas de compactação

O processo de melhoramento dos solos tem sido bastante empregado em diversas obras ao redor do mundo ante a necessidade cada vez maior de se utilizarem solos de baixa resistência como suporte de fundações de grandes obras (SOARES, 2002).

Existem diversas técnicas para o melhoramento do terreno tanto em superfície quanto em profundidade, cujo objetivo é, equitativamente, assegurar estabilidade à fundação e evitar recalques excessivos que possam trazer danos às edificações.

Dentre as técnicas existentes, serão comentadas as estacas de compactação, que têm sido amplamente utilizadas no nordeste brasileiro. Isto porque, segundo Gusmão (2005), a

implantação da solução de melhoramento da camada superficial através de estacas de compactação pode viabilizar o uso de fundações superficiais e reduzir de forma significativa os custos da fundação.

As estacas de compactação podem ser constituídas por dois tipos de materiais, cuja escolha influencia diretamente no dimensionamento e método de transferência das cargas ao terreno de fundação: as estacas de compactação em areia e brita e aquelas em que há adição de cimento, localmente conhecidas como “estaca de argamassa”.

As estacas de compactação em areia e brita são restritas a solos granulares e visam elevar a compactidade do terreno e reduzir o seu nível de deformabilidade, visto que incrementam a rigidez do terreno melhorado.

O procedimento visa a densificação do solo através de três efeitos: (i) introdução de material compactado no terreno; (ii) deslocamento do material do terreno igual ao volume do tubo introduzido e; (iii) o efeito de vibração decorrente do processo de cravação dinâmica (GUSMÃO, 2005).

“Esta técnica consiste na execução de uma malha quadrangular cobrindo toda a área de projeção da lâmina do prédio, estendendo-se uma ou duas filas de estacas além dos limites da lâmina, visando cobrir regiões influenciadas pelo espraiamento das pressões” (GUSMÃO; GUSMÃO FILHO; PACHECO, 2000).

As estacas de compactação em argamassa, por outro lado, são variantes das constituídas em areia e brita e foram desenvolvidas frente às características geotécnicas da cidade do Recife. Seu funcionamento é, na realidade, semelhante a uma fundação mista, visto que é capaz de transmitir às camadas mais profundas determinada porcentagem da carga transmitida pela superestrutura. Por esta razão, as estacas são executadas apenas na área de projeção das fundações superficiais da lâmina do edifício.

Seu emprego é determinado em função da granulometria do terreno superficial e da presença de camadas argilosas moles, que devem ser ultrapassadas para diminuição das deformações do terreno (GUSMÃO, 2005).

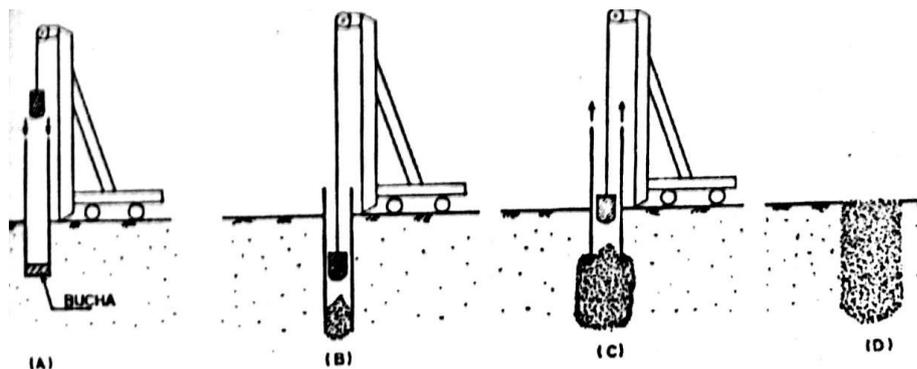
O processo executivo de ambas as estacas de compactação (areia e brita e argamassa) é similar, tais quais o comprimento máximo, de até 8 metros, e os equipamentos que podem ser

empregados: tripés com pilões que caem em queda livre; bate estacas tipo mini Franki; ou martelos vibratórios.

Nos dois primeiros, a metodologia executiva é realizada à percussão, onde um tubo metálico é apoiado em prumo sobre um piquete e, dentro deste tubo, é inserida uma bucha seca. O pilão, então, é içado pelo operador e solto sobre o tubo que, por atrito, adentra no solo até a profundidade especificada no projeto de fundações. Atingida a cota, a bucha é expulsa e o material especificado é inserido até a superfície do terreno à medida em que o tubo é retirado – vide Figura 11.

No último, o tubo é inserido por vibração, não precisando, portanto, da inserção da bucha seca previamente. Após atingida a cota de projeto, insere-se o material desejado até o topo do tubo, que, só em seguida, pode ser retirado do terreno, também por vibração.

Figura 11 - Processo executivo das estacas de compactação com equipamento tipo mini Franki



Fonte: Gusmão Filho e Gusmão (1990)

### 2.2.2. Fundações profundas

Define-se fundação profunda como o elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou pelo fuste (resistência lateral) ou por combinação de ambas, devendo sua base estar assente a uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e, no mínimo, a três metros de profundidade (ABNT, 2010).

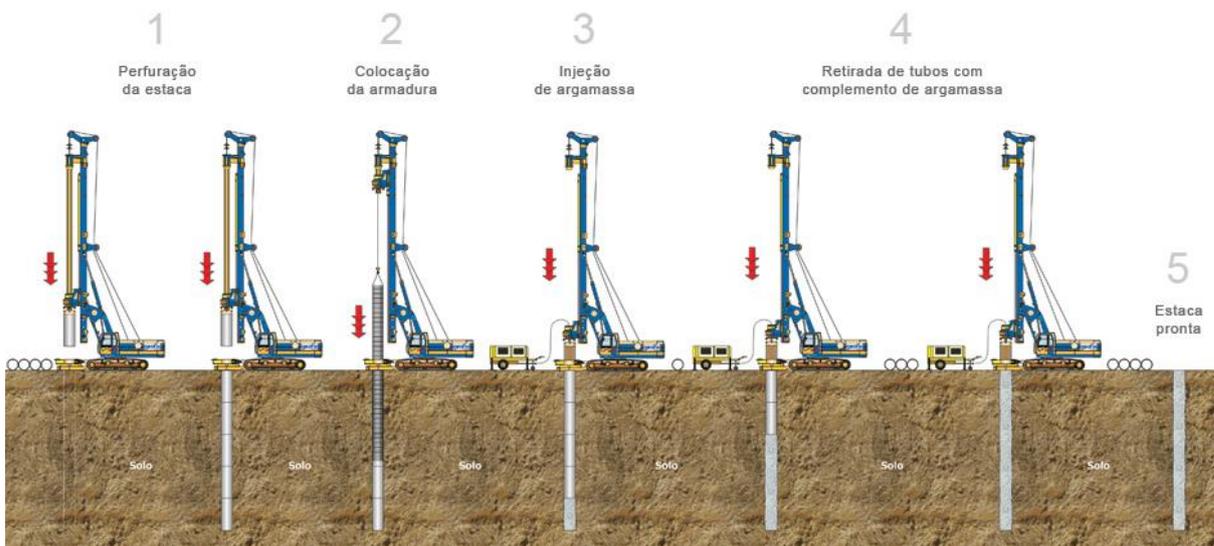
As fundações profundas são recomendadas quando os requisitos de projeto não conseguem ser atendidos nas camadas superficiais dos perfis de solo. Podem ser classificadas em dois tipos: tubulões e estacas, sendo as últimas comentadas brevemente ao decorrer deste trabalho.

As estacas são elementos de fundação profunda que podem ser constituídas em madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado *in loco* ou mistos (formada pela combinação de dois elementos dos materiais mencionados). Dos tipos mais frequentemente encontrados no Recife, citam-se as estacas do tipo raiz, metálica, Franki, pré-moldada de concreto e hélice contínua.

a) Estaca raiz

Estaca moldada *in loco* executada através de perfuração rotativa ou roto-percussiva de tubos de aço rosqueáveis no solo com uso de circulação direta de água injetada ou lama betonítica no seu interior, colocação de armadura em todo o seu comprimento, preenchimento do fuste com argamassa de cimento e areia, adensada com auxílio de pressão (geralmente ar comprimido), e posterior retirada dos tubos – Figura 12.

Figura 12 - Metodologia executiva da estaca raiz



Fonte: Adaptado de GEOFIX (2017)

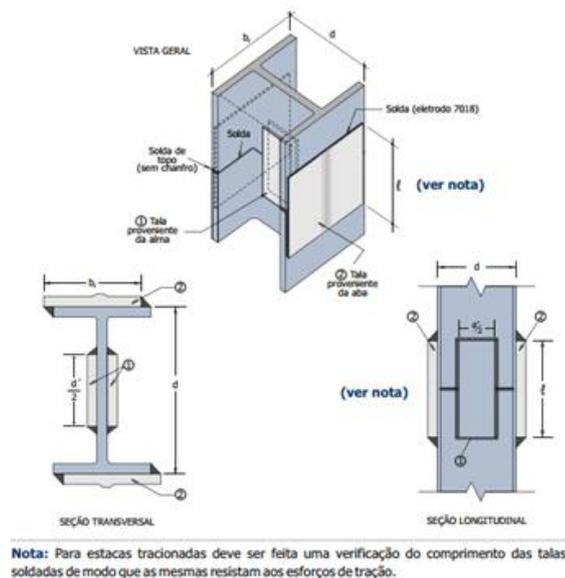
Velloso e Lopes (2010) relatam algumas particularidades que permitem o uso desta solução em casos que os demais tipos de estacas não podem ser empregados, podendo-se citar como exemplos os equipamentos de pequeno porte (perfuratrizes), que permitem a utilização em locais de dificuldade de acesso ou com restrição de pé direito; a provocação de pouca vibração durante sua execução, o que evita eventuais incômodos à vizinhança; e a capacidade de atravessar terrenos de qualquer natureza, inclusive matacões e blocos de concreto.

## b) Estaca metálica

Constitui elemento de fundação pré-fabricado em aço laminado ou soldado (comprimento padrão de doze metros), simples ou múltiplos, tubos de chapa dobrada ou calandrada, tubos com ou sem costura e trilhos – ABNT (2010) – cuja execução é realizada a partir de cravação com equipamento à percussão (do tipo martelo queda livre ou hidráulico) ou vibração (uso de martelos vibratórios).

Capaz de atravessar camadas intermediárias resistentes (com índice de resistência à penetração  $N_{SPT} < 40$  a 50 golpes/30 cm), a estaca metálica suporta elevadas cargas de compressão de até 2,2 MN, porém seu processo executivo produz elevados ruídos e vibrações e a necessidade de emendas entre os elementos – Figura 13 – para que se atinja a cota de projeto pode provocar perda de produtividade. Os trechos que estiverem desenterrados devem receber pintura anticorrosiva ou encamisamento.

Figura 13 – Detalhe de emenda em estaca metálica



Fonte: GERDAU (2008)

## c) Estaca tipo Franki

Moldada *in loco*, a estaca tipo Franki é executada por meio de um martelo de queda livre que crava no terreno um tubo metálico de ponta fechada por bucha seca até a profundidade especificada em projeto.

Após a cravação, a bucha é expulsa e insere-se no fuste a armadura até a base da estaca, seguida de concreto com baixa relação água-cimento, que é compactado através de sucessivos golpes de pilão ao mesmo tempo em que se retira o tubo.

A técnica não é indicada para terrenos que contenham argilas moles saturadas – pois podem comprometer a integridade do fuste – e/ou matacões – devido à elevada vibração que provoca (MAIA, 1998). A solução vem sendo substituída, no decorrer dos últimos anos, por estacas do tipo hélice contínua.

#### d) Estaca pré-moldada de concreto

A estaca pré-moldada de concreto é produzida industrialmente em segmentos de 4,2 a 12 metros que são unidos por emendas em solda ou material colante até que atinjam a profundidade pré-fixada em projeto.

O processo executivo é similar ao da estaca metálica – inclusive quanto às vibrações e aos ruídos – e seu uso é indicado para todos os tipos de terreno que tenham  $N_{SPT} < 20$  a 25 golpes/30 cm, podendo quebrar a valores superiores aos indicados.

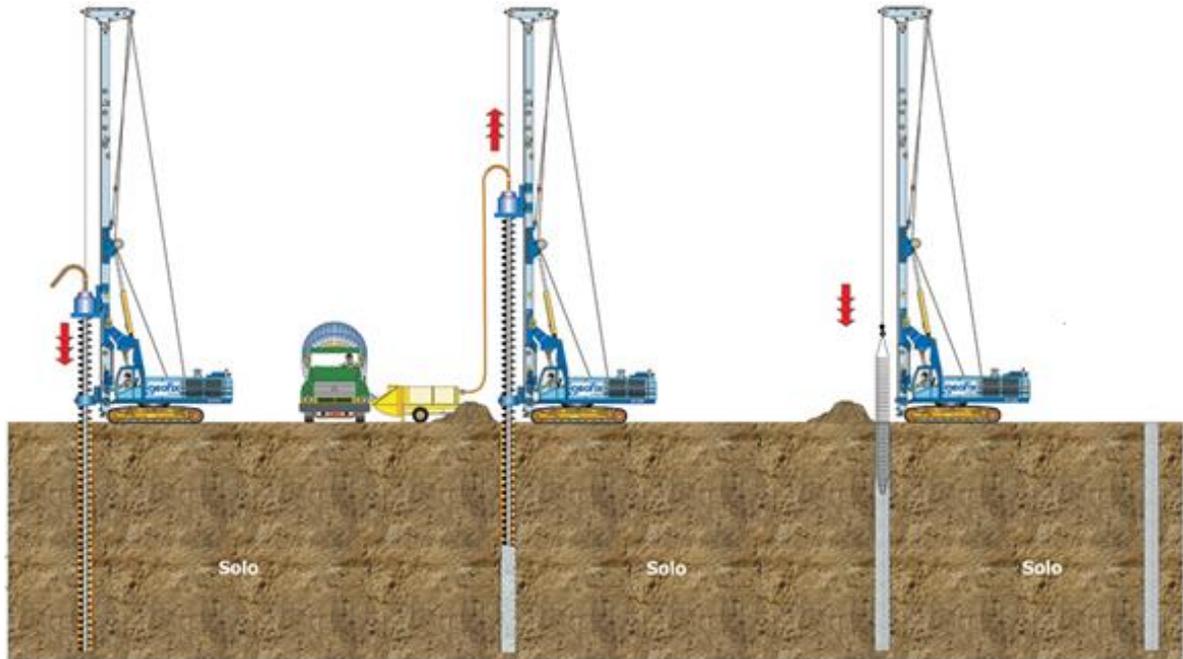
#### e) Estaca hélice contínua

As estacas hélice contínua são executadas *in loco* mediante uso de trado helicoidal que perfura o solo por rotação. Ao atingir a cota de projeto, inicia-se a inserção de concreto auto adensável no interior do furo por meio de mangote instalado no topo do próprio trado à medida que o último é retirado. Após concretagem e retirada total do trado – que carrega para a superfície todo o solo contido entre as suas hastes –, a armadura é inserida – vide Figura 14.

Estas estacas são indicadas para todos os tipos de terreno com  $N_{SPT} < 50$  a 60 golpes/30cm (solos muito resistentes e/ou rochas alteradas), porém têm restrição quanto à presença de camadas de solos moles ( $N_{SPT} \leq 5$  golpes/30cm) com espessuras superiores a 5 metros, que podem comprometer a integridade do fuste (GUSMÃO, 2017).

Apesar da produtividade elevada em relação às demais estacas e da geração de poucos ruído e vibração, a profundidade desta solução é limitada pelo equipamento disponível, que no Recife é de 30 metros.

Figura 14 - Método executivo das estacas tipo hélice contínua



Fonte: Adaptado de GEOFIX (2017)

### 2.3. Prática de Fundações no Recife

A prática atual de fundações do Recife é fortemente direcionada pelas características geológico-geotécnicas do subsolo, ainda que outros fatores influenciem na escolha – Quadro 3 –, e sejam assim encontrados diversos tipos de fundações na cidade (GUSMÃO, 2006).

Em pesquisa realizada por Santos (2011), que analisou a ocorrência de soluções de fundações aplicadas a obras localizadas na Região Metropolitana do Recife (RMR) entre os anos de 2000 e 2010, é possível observar a diversidade de fundações utilizadas, com emprego de fundações tanto superficiais quanto profundas.

O estudo de Santos (2011) corrobora com o desenvolvido por Gusmão (2005), que afirma que os principais tipos de fundações superficiais para a cidade são em formas de radier (Rd) e sapatas, podendo as últimas serem feitas em terreno natural (D) ou em solo melhorado com estacas de areia e brita (A+B) ou argamassadas (Ar). As soluções em terreno melhorado, frequentes no nordeste brasileiro, podem viabilizar o uso de fundações superficiais e reduzir consideravelmente o custo das fundações (GUSMÃO, 2005).

A presença de camadas arenosas superficiais na maior parte da planície do Recife tem permitido a adoção de fundações superficiais, especialmente em prédios de até seis pavimentos

(GUSMÃO FILHO, 1998). Estes depósitos arenosos superficiais são quase sempre de granulometria média a fina, frequentemente siltosas a pouco siltosas, e de compactidade fofa a pouco compacta como regra geral ( $N_{SPT}$  variando de 2 a 10 golpes / 30 cm) (GUSMÃO, 2005).

Quadro 3 -Fatores influentes na escolha das fundações

<b>FATORES INFLUENTES</b>	<b>DADOS NECESSÁRIOS</b>	<b>ONDE OBTER</b>
<b>ESTRUTURA</b>	Tipo Sistema estrutural Material Cargas atuantes	Projeto arquitetônico Projeto estrutural Memorial de cálculo
<b>TERRENO DE FUNDAÇÃO</b>	Estratigrafia Nível d'água Dados geológico-geotécnicos Experiência local	Sondagens de reconhecimento Ensaio de campo e laboratório Mapas geológicos Cartas geotécnicas
<b>CONDIÇÕES LOCAIS E AMBIENTAIS</b>	Topografia Meio ambiente Construções vizinhas	Mapa de riscos geológicos (erosão, deslizamento e inundação)  Vistoria e ação antrópica (vibrações, ruídos, escavações, rebaixamento do nível d'água)
<b>ASPECTOS DE EXECUÇÃO</b>	Tempo e espaço disponível Disponibilidade de equipamentos Viabilidade econômica	Cronograma da obra Projeto do canteiro de obras Cadastro de empresas de fundações Orçamento da obra

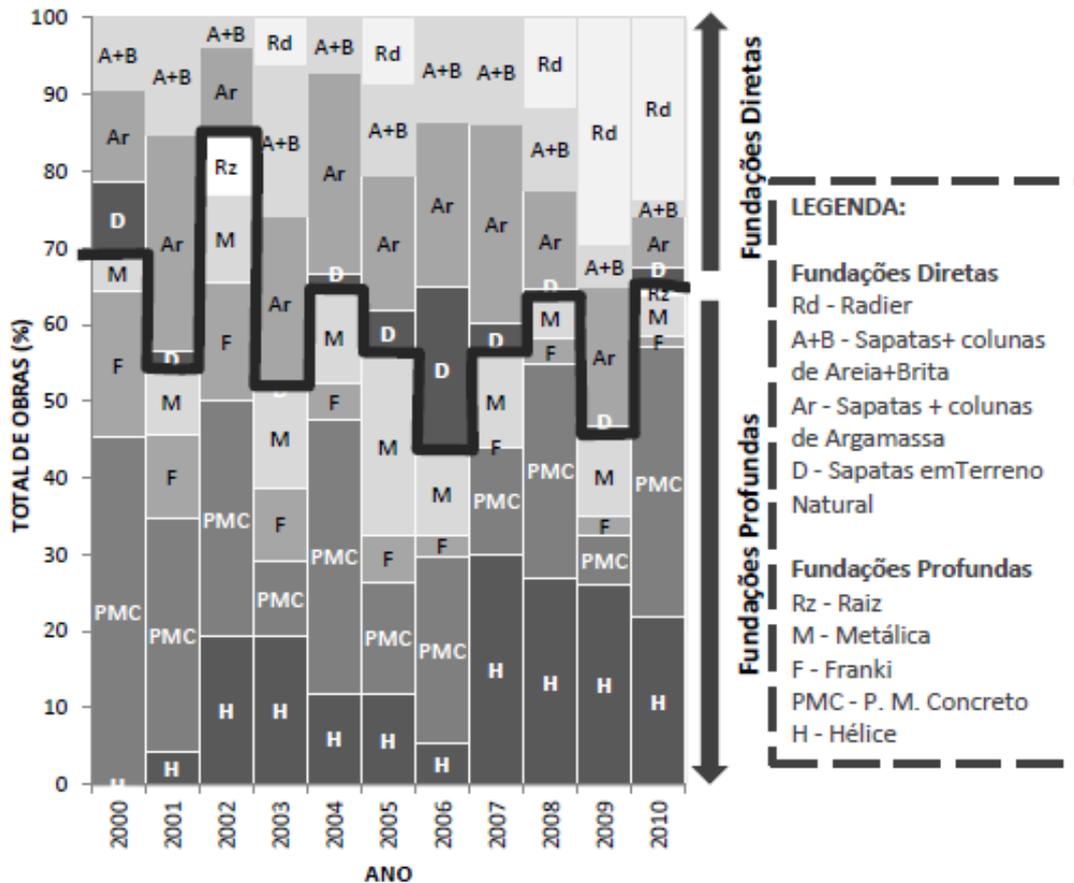
Fonte: Gusmão (2017)

As estacas profundas predominam dentre as soluções de fundações no Recife. Os principais tipos, analisados por Gusmão (2005) e ratificadas pela pesquisa de Santos (2011), são em estacas metálicas (M), estacas tipo Franki (F), estaca raiz (Rz), estacas pré-moldadas de concreto (PMC) e estacas hélice contínua (H).

Na Figura 15 é possível observar que em praticamente todos os anos as fundações profundas foram as soluções mais adotadas para os projetos no Recife, bem como que o uso de fundações superficiais é, na maioria das vezes, precedido de melhoramento do terreno.

Diante de tais análises, a consideração de que as camadas mais superficiais do subsolo do município – no estado natural – provavelmente apresentam condições de resistência e deformabilidade insatisfatórias à implantação de fundações para o porte frequente das obras é levada a acreditar.

Figura 15 - Diagrama de ocorrência para as fundações da Região Metropolitana do Recife



Fonte: Santos (2011) e Oliveira (2013)

## 2.4. Movimento das fundações

A construção de uma obra, seja de qual for o tipo, provoca alterações no estado de tensões inicial do terreno, que, em resposta à mudança, se deforma. As edificações não fogem à regra, tendo como consequência os movimentos das suas fundações, que, como mencionado no Capítulo 1, sofrem influência direta da interação solo-estrutura.

Portanto, para tornar mais clara a temática acerca do desempenho das edificações, é necessária uma descrição sucinta destes movimentos, sendo utilizadas neste trabalho as definições adotadas pela NBR 6122/10 (ABNT, 2010) e explicadas por Gusmão (1990).

#### 2.4.1. Recalque absoluto ( $S$ )

Refere-se ao deslocamento vertical para baixo de um ponto discreto da fundação, conforme ilustrado na Figura 16 (a). Apesar de o movimento ser descendente, atribui-se a este a sinalização positiva. Ao valor de maior magnitude em relação aos demais pontos discretos, denomina-se recalque absoluto máximo ( $S_{\text{máx}}$ ).

#### 2.4.2. Recalque diferencial ( $\delta$ )

Indica o movimento relativo entre dois pontos discretos quaisquer, sendo obtido pela diferença entre os seus recalques absolutos – Figura 16 (a) –. Ao recalque diferencial máximo, a sigla  $\delta_{\text{máx}}$  é designada.

#### 2.4.3. Rotação ( $\theta$ )

Descreve a declividade, ou seja, a mudança de gradiente de uma reta que une dois pontos discretos quaisquer da fundação ou do terreno, conforme observado na Figura 16 (a).

#### 2.4.4. Inclinação ( $\omega$ )

Relativo à rotação do corpo rígido da estrutura, ou de bem definida parte dela, ou à mudança de gradiente entre dois pontos extremos da fundação, Figura 16 (b).

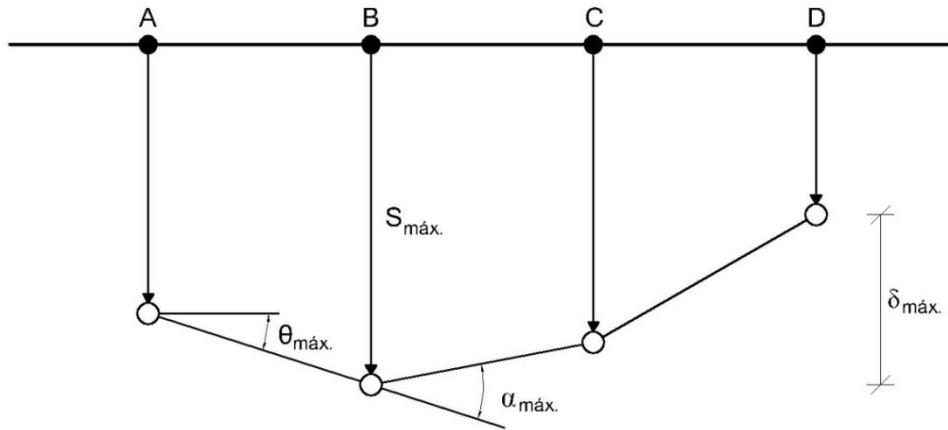
#### 2.4.5. Razão de deflexão ( $\Delta/L$ )

Definida como a razão entre a deflexão relativa ( $\Delta$ ) e a distância ( $L$ ) entre os dois pontos de referência, normalmente os extremos.

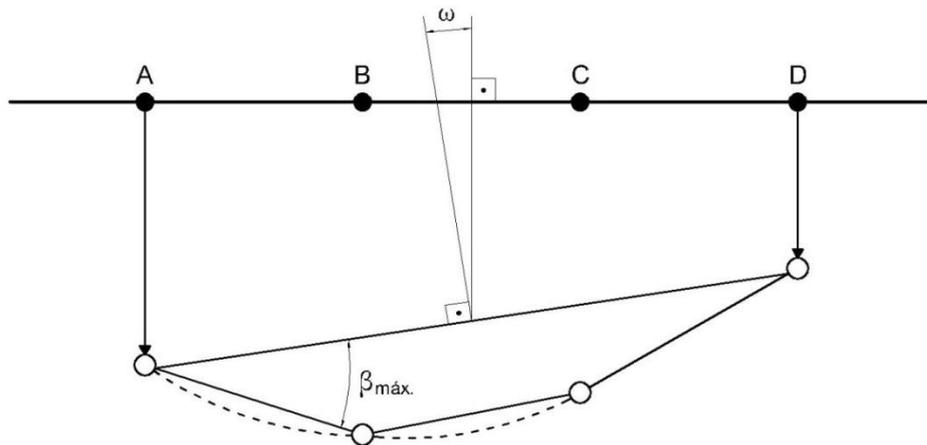
#### 2.4.6. Rotação relativa ou distorção angular ( $\beta$ )

Descreve a rotação de uma reta que une dois diferentes pontos de uma edificação, descontada a inclinação da mesma. Caso a última seja nula, o valor da distorção angular coincide com o da rotação ( $\theta$ ). O maior valor deste movimento é representado por  $\beta_{\text{máx}}$ , como ilustrado na Figura 16 (b).

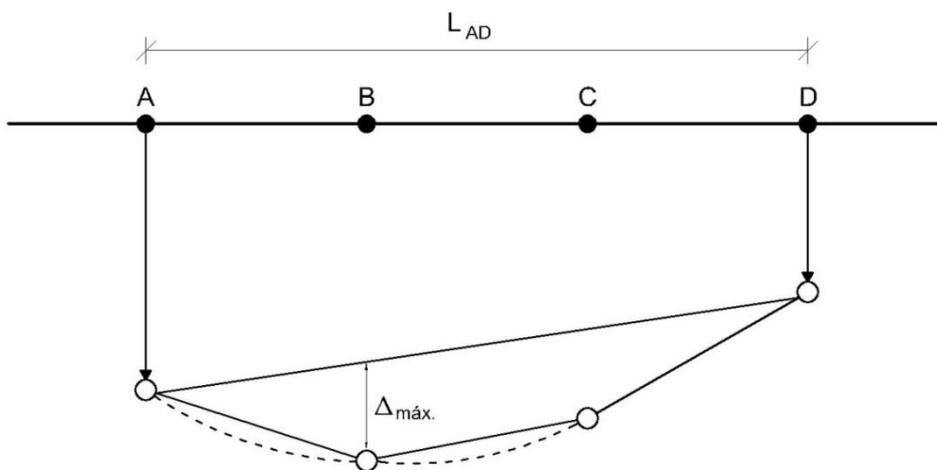
Figura 16 - Definições dos movimentos de fundações: (a) recalque absoluto, recalque diferencial, deformação angular e rotação; (b) inclinação e distorção angular; (c) deflexão relativa



(a)



(b)



(c)

### 2.4.7. Deflexão relativa ( $\Delta$ )

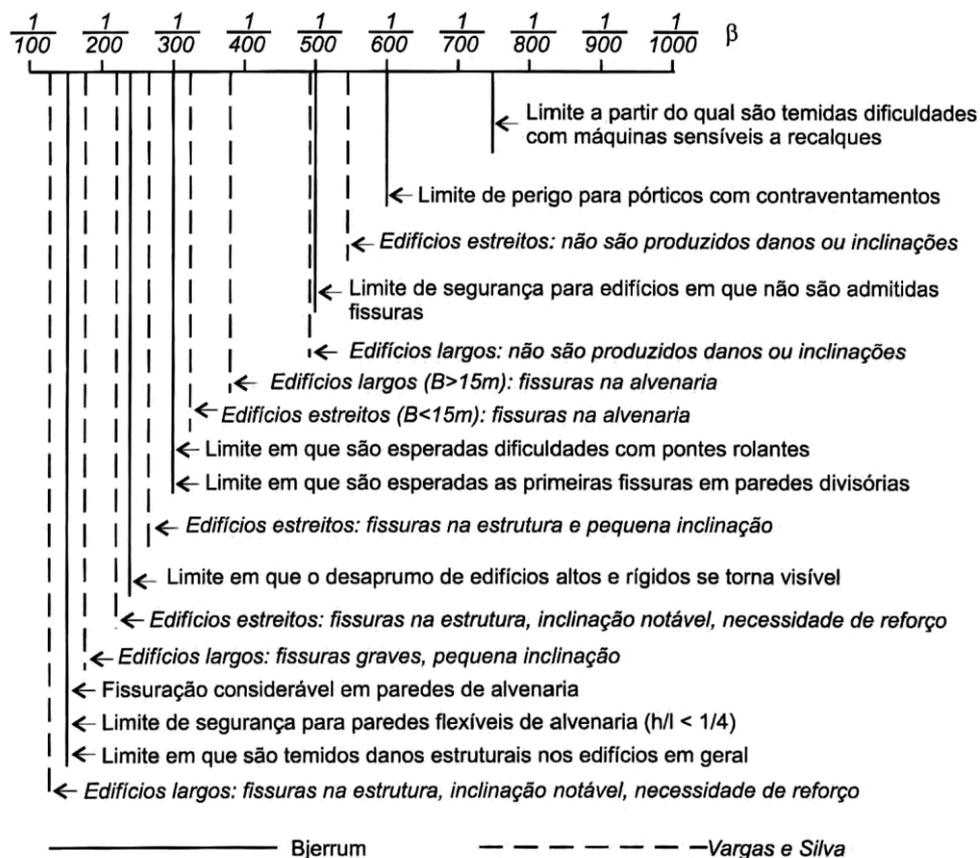
Refere-se ao máximo deslocamento vertical em relação a uma reta que une dois pontos de referência, em geral os extremos, de uma edificação, vide Figura 16 (c).

Como outrora mencionado na Figura 9, um dos requisitos de projeto para dimensionamento das fundações se refere às deformações, que não devem conduzir o surgimento de danos às estruturas.

Por esta razão, autores diversos quantificaram as magnitudes das deformações máximas admissíveis que garantissem a ausência de danos às obras, conforme suas necessidades, como ilustrado na Figura 17 e nas Tabelas 1, 2 e 3.

A NBR 15575-2 (ABNT, 2013), que discerne sobre o desempenho de edificações habitacionais, indica valores limites para distorções angulares devidas aos recalques, conforme apresentado no Quadro 4.

Figura 17 – Distorções angulares e danos associados



Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Tabela 1 - Valores limites da rotação relativa ou distorção angular para edifícios estruturados e paredes portantes armadas

	<b>Skempton e MacDonald (1956)</b>	<b>Meyerhof (1956)</b>	<b>Polshin e Tokar (1957)</b>	<b>Bjerrum (1963)</b>
Danos estruturais	1/150	1/250	1/200	1/150
Fissuras em paredes e divisórias	1/300 (porém recomendado 1/500)	1/500	1/500 (0,7/1000 a 1/1000 em painéis extremos)	1/500

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Tabela 2 - Valores limites da relação de deflexão  $\frac{\Delta}{L}$  para ocorrência de fissuras visíveis em paredes portantes não armadas

<b>Configuração</b>	<b>Meyerhof (1956)</b>	<b>Polshin e Tokar (1957)</b>	<b>Bjerrum (1963)</b>
Côncava para cima	1/2500	L/H<3: 1/3500 a 1/2500 L/H<5: 1/2000 a 1/1500	L/H=1: 1/2500 L/H=5: 1/1250
Convexa para cima	-	-	L/H=1: 1/5000 L/H=5: 1/2500

Fonte: Velloso e Lopes (2010)

Tabela 3 – Critérios para avaliação de recalque e distorção angular tolerável limite e intolerável

<b>Estatística</b>	<b>Valores Médios</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Faixa</b>
Recalque intolerável observado (mm)	399	323	76 a 722
Recalque tolerável limite (mm)	129	72	57 a 201
Distorção angular intolerável observada	0,0119 (1/84)	0,0138 (1/72)	0 a 0,0257 (1/39)
Distorção angular tolerável limite (1/667) a (1/222)	0,0030 (1/133) 18,77	0,0015 (1/667) 6,44	0,0015 a 0,0045 1,00

Fonte: Zhang e NG (2005)

Quadro 4 -Deslocamentos limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral

Razão da limitação	Elemento	Deslocamento-limite	Tipo de deslocamento
Visual / insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	L/250 ou H/300	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros, etc.)	L/800	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso, etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros, etc.)	L/600	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e / ou acabamentos rígidos	L/500 <sup>1</sup>	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e / ou acabamentos flexíveis	L/400 ou H/400 <sup>1</sup>	
<p>H é a altura do elemento estrutural  L é o vão teórico do elemento estrutural  <sup>1</sup> Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a <math>H_{total} / 500</math> ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites.  NOTA: Não podem ser aceitas falhas, a menos daquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.</p>			

Fonte: ABNT (2013)

Segundo Velloso e Lopes (2010), a fixação de recalques absolutos limites é mais difícil do que a dos recalques diferenciais limites. Porém, quando o projetista julga não ser necessária uma análise mais profunda, pode-se seguir as orientações do *Institution of Structural Engineers*, que recomenda adotar um limite de recalque absoluto de 25 mm para sapatas em areias e de 50 mm para radiers em areias. Skempton e MacDonald (1956 apud Velloso e Lopes, 2010) sugerem 40 mm para sapatas isoladas e 40 a 65 mm para radiers, partindo da fixação de um limite igual a 1/500.

Para sapatas sobre argilas, Skempton e MacDonald (1956 apud Velloso e Lopes, 2010) chegaram em um valor de recalque absoluto limite de 65 mm e, para radiers, até 100mm. A conclusão do *Institution of Structural Engineers*, no entanto, é que estes valores são razoáveis como "limites de rotina", entretanto, valores maiores podem ser aceitos.

Em edifícios super altos (com mais de 300 metros de altura), Poulos (2016) tem sugerido a verificação dos valores de recalques médios dos prédios por unidade de pressão média aplicada pela construção.

## 2.5. Monitoramento de recalques

Como mencionado no Capítulo 1, os projetos de edificações no Brasil são usualmente elaborados sob a suposição de que o edifício seja formado por partes, sendo desprezados os efeitos da ISE. Diante deste contexto, para que seja possível dimensionar os elementos da estrutura, os projetistas acabam admitindo hipóteses simplificadoras, que podem não representar o comportamento real das edificações, provocando nestas uma série de consequências, conforme observado no Quadro 5.

Quadro 5 – Efeitos da interação solo-estrutura em edifícios

HIPÓTESE	CONSEQUÊNCIAS
Apoios são considerados indeslocáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redistribuição de cargas e esforços nos elementos estruturais, especialmente vigas e pilares.</li> <li>- Alívio de carga nos pilares mais carregados e sobrecarga nos pilares menos carregados.</li> <li>- Pode haver danos nos elementos estruturais.</li> </ul>
Apoios podem recalcar de maneira independente uns dos outros	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A ligação entre os elementos estruturais confere à estrutura uma rigidez, que restringe os recalques diferenciais.</li> <li>- A deformada de recalques medida é mais suave que a estimada convencionalmente.</li> <li>- Há uma tendência de uniformização dos recalques.</li> </ul>
O carregamento do prédio só ocorre ao final da sua construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À medida que a estrutura vai sendo construída, vai havendo um aumento do seu carregamento, e dos recalques absolutos.</li> <li>- Há, no entanto, um aumento da rigidez da estrutura, que faz com que haja uma tendência de uniformização dos recalques.</li> <li>- Há uma altura limite, correspondente aos cinco primeiros pavimentos, em que praticamente não há mais aumento da rigidez para fins de uniformização dos recalques.</li> </ul>

Fonte: Gusmão (2006)

Há mais de seis décadas, diversos métodos que consideram a análise da ISE vêm sendo desenvolvidos por vários autores na tentativa de sanar esse problema, tendo como fatores de extremo impulso o advento de técnicas numéricas e a criação e difusão dos computadores.

Conforme Velloso e Lopes (2010), existem dois modelos principais para representar o solo numa análise de interação solo-estrutura: o primeiro, baseado na Hipótese de Winkler; o segundo, admitindo-se o meio contínuo.

Pela Hipótese de Winkler, o solo é considerado como um conjunto de molas lineares e independentes entre si, sendo consideradas as deformações ocorridas na região das fundações (ANTONIAZZI, 2011). Desta forma, as pressões de contato são diretamente proporcionais aos recalques dos apoios, como observado na Equação [1].

$$P_i = k_v \cdot S_i \quad [1]$$

Onde:

- $k_v$  é o coeficiente de reação vertical – também denominado módulo de reação vertical ou coeficiente de mola;
- $P_i$  é a pressão de contato média aplicada na base do apoio  $i$ ;
- $S_i$  é deslocamento vertical para baixo (recalque) no apoio  $i$ .

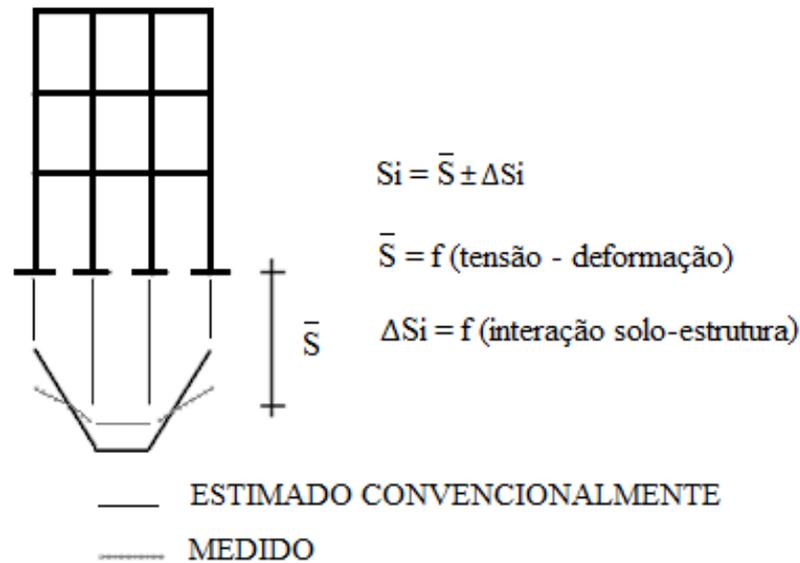
O meio contínuo pode ser elástico, onde existem algumas soluções para vigas e placas pela Teoria da Elasticidade; ou elastoplástico, que requer formulações numéricas (VELLOSO, LOPES, 2010).

Atualmente, segundo Bahia (2015), a consideração de formulações numéricas junto a ferramentas computacionais baseadas nos Métodos dos Elementos Finitos (MEF), nos Métodos de Elementos de Contorno (MEC) ou nos métodos híbridos mostra-se satisfatória para a avaliação do desempenho das fundações tornando o resultado obtido mais próximo ao real.

Esses métodos, no entanto, apesar de mais precisos, não são amplamente difundidos no Brasil, ora pelo ensino nas universidades, que continua sendo baseado exclusivamente nos cálculos tradicionais, ora pelo investimento em softwares e na capacitação dos profissionais para utilizá-los pelas empresas e ora pela simples resistência à mudança pelos projetistas.

Gusmão (1994) afirma que o desempenho de uma edificação qualquer pode ser analisado a partir da associação de dois diferentes modelos: um que represente o valor médio dos recalques (tensão-deformação do terreno) e outro que represente a sua distribuição (interação solo-estrutura), conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Modelos para estimativa de recalques de edificações



Fonte: Gusmão (1994)

De forma geral, a interação solo-estrutura suaviza a deformada de recalques em relação ao que convencionalmente é calculado – os recalques absolutos e diferenciais são menores que os estimados –, no entanto, para ambos os modelos o valor do recalque médio permanece o mesmo.

A partir desta observação, Gusmão, Gusmão Filho e Maia (2000) chegaram à conclusão que é possível admitir que o recalque médio é função apenas do carregamento total da estrutura e das propriedades de deformação do terreno e, conseqüentemente, a diferença entre valores dos recalques médios estimado e medido pode ser associada à validade do modelo tensão-deformação adotado.

Diante disto, a medição de recalques torna-se uma importante ferramenta não apenas à compreensão do comportamento do edifício, mas também à retroanálise dos parâmetros utilizados em projetos.

O monitoramento de recalques, previsto na NBR 6122/10 (ABNT, 2010), permite averiguar o desempenho das edificações, por ter embutido nos seus resultados os efeitos causados pela interação solo-estrutura. A técnica, segundo Savaris (2008), tem a finalidade de investigar o comportamento das fundações com o aumento progressivo das cargas dos pilares, constituindo uma importante ferramenta à compreensão do comportamento do solo e ao desenvolvimento de novas metodologias de estimativa de recalques.

A prática, no entanto, não é frequente nas cidades brasileiras, tendo estado, em geral, associada a obras com desempenho insatisfatório, com a ocorrência de patologias e necessidade de reforço das fundações (SAVARIS; HALLAKI; MAIA, 2010). O que frequentemente se costuma fazer no país, na verdade, é analisar apenas o desempenho das partes dos edifícios e não o sistema como um todo, como observa Gusmão (2006) e é ilustrado no Quadro 6.

Quadro 6 – Monitoramento do desempenho das partes da edificação

<b>PARTE</b>	<b>MONITORAMENTO/ENSAIOS</b>
Superestrutura	- Controle dos materiais (alvenarias, concreto, aço, etc.) - Controle dos processos construtivos (dimensões, prumos, etc.)
Infraestrutura	- Ensaio de placa - Provas de carga em estacas - Controles de execução (negas, repique elástico, etc.)
Terreno de Fundação	- Ensaaios de laboratório - Ensaaios de campo

Fonte: Gusmão (2006)

Albuquerque e Gusmão (2006) enfocam que um aspecto relevante a ser considerado é que ninguém “compra” as partes de uma edificação, mas o seu todo, que na prática significa o seu desempenho e, por esta razão, é fundamental que também se faça o monitoramento do desempenho da edificação, ou seja, medição de cargas nos apoios e movimentos da fundação.

Danziger, Danziger e Crispel (2000) enfatizam que é importante disseminar no meio técnico a ideia de que a medição de recalques deve ser encarada como um controle de qualidade das fundações e como uma forma de verificar o mecanismo da interação solo-estrutura ao longo do tempo. Gusmão (2006) segue a mesma linha de raciocínio, afirmando que algumas estratégias devem ser definidas para conscientização da necessidade de monitoramento de recalques, sendo estas:

- O monitoramento deve ser encarado como um controle tecnológico da obra, a exemplo de tantos outros, como controle da resistência do concreto;
- O monitoramento permite um melhor entendimento do comportamento de uma edificação, e uma retroanálise dos parâmetros dos solos, o que tem conduzido a projetos mais arrojados (e nem por isso menos seguros);

- O monitoramento permite identificar com mais segurança as causas de eventuais patologias que possam surgir nos prédios, onde normalmente a fundação é colocada em suspeita (neste caso, quem tem exigido o monitoramento são as empresas executoras de fundações).

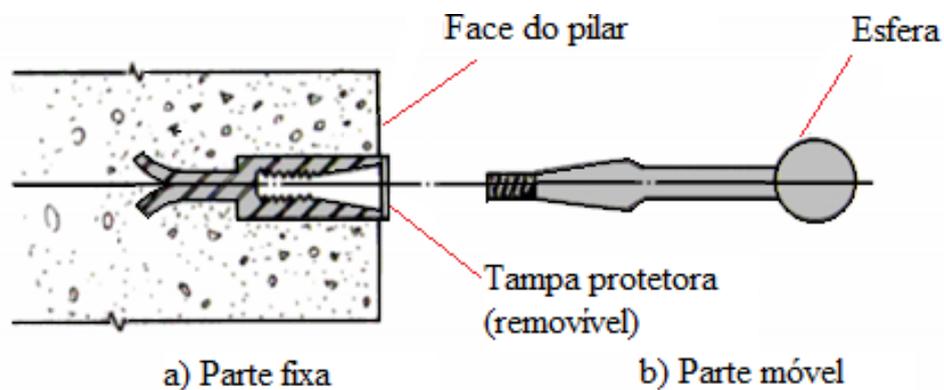
No que se refere aos sistemas empregados para a medição dos recalques, podem-se utilizar dois diferentes tipos, ambos baseados em nivelamento: o primeiro, e mais utilizado, é feito com o emprego de níveis óticos; o segundo, menos usual, com níveis d'água. Neste trabalho será descrito o sistema de níveis óticos, constituído por pinos de monitoramento, referência de nível (RN), nível ótico e mira.

### 2.5.1. Pinos de monitoramento

São dispositivos fabricados geralmente em aço inoxidável que funcionam com base no sistema tipo macho e fêmea – Figura 19. A fixação do elemento fêmea com material colante no ponto a ser monitorado – sendo este comumente a face de um pilar – constitui uma das primeiras etapas para o monitoramento dos recalques.

O pino macho é móvel, sendo inserido à fêmea a cada medição de recalques, podendo ser introduzido por rosca ou simples encaixe, tendo o último diâmetro maior que o primeiro. O elemento macho deve possuir na sua extremidade uma base com formato esférico, a fim de que a mira possa nele apoiar-se para realização das leituras, conforme descrito mais detalhadamente adiante.

Figura 19 - Detalhes dos pinos de monitoramento de recalque



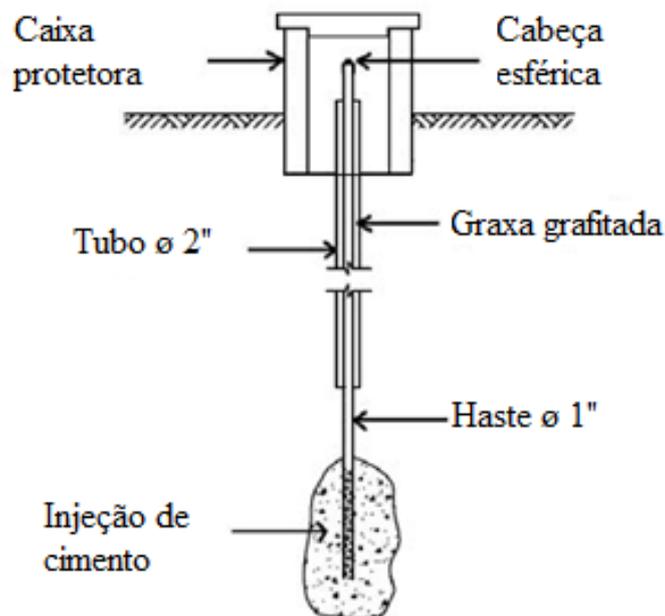
Fonte: Alonso (1991 apud SAVARIS, 2008, p.11)

### 2.5.2. Referência de nível (RN)

Ponto fixo ao terreno da obra ou locais vizinhos de forma que não sofra deslocamentos provenientes da própria construção ou fatores adjacentes. Também representa uma das primeiras etapas para o monitoramento dos recalques.

Os RNs podem ser superficiais ou profundos (bench-mark), sendo os últimos os mais utilizados, apesar do elevado custo em comparação com os primeiros – Figura 20.

Figura 20 - Elementos constituintes da bench-mark



Fonte: Salomão e Faggion (2005 apud PETROBRAS, 2008)

### 2.5.3. Nível ótico

Equipamento utilizado em nivelamentos geométricos cuja finalidade nas medições de recalque é a verificação dos desníveis entre o RN e o ponto monitorado na obra (que possui os pinos de monitoramento).

### 2.5.4. Mira

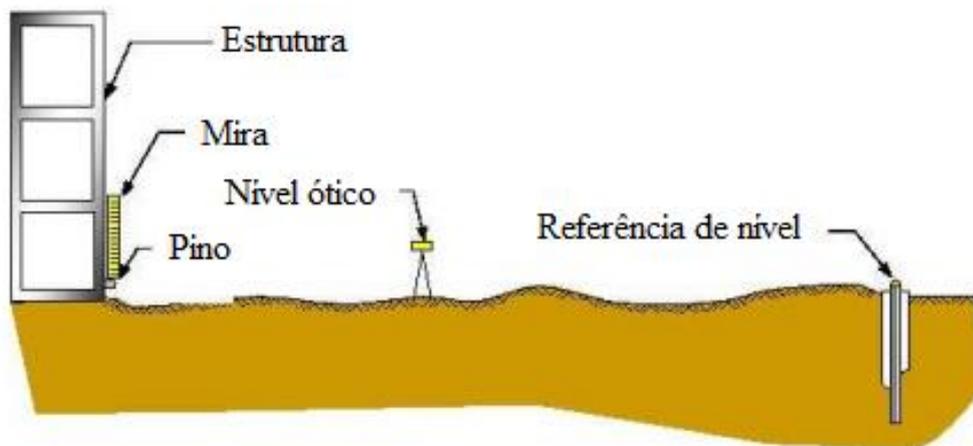
Instrumento graduado que, para finalidade abordada, deve ser constituído em chapa de invar para diminuir os efeitos da variação térmica.

A utilização da mira durante as leituras de recalque se dá a partir da sua colocação sobre a extremidade esférica do pino de monitoramento macho a fim de elevar a cota do ponto observado e compará-la à cota do RN com o auxílio do nível ótico – Figura 21.

Em cada leitura de recalque, a cota do ponto é analisada e da diferença entre a cota da primeira leitura e a cota de uma leitura subsequente tem-se o valor do recalque absoluto à data de realização da última. Desta forma, conforme as medições vão sendo realizadas, a evolução da magnitude destes recalques pode ser acompanhada.

De acordo com Gusmão (2006), a quantidade de pontos a serem monitorados durante a medição de recalques, bem como a frequência de monitoramento (número de leituras), não seguem nenhuma regra, porém, como o custo dos pinos e das medições é relativamente baixo, é recomendável que todos os pilares da estrutura principal do prédio sejam instrumentados.

Figura 21 – Medida de recalque com nivelamento ótico



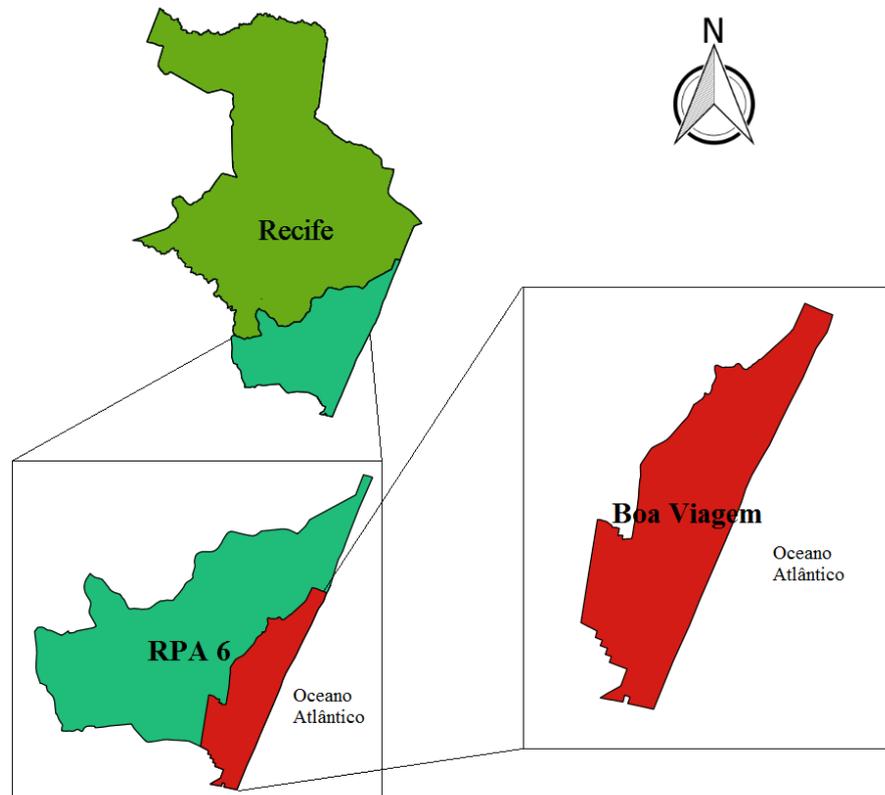
Fonte: Oliveira Júnior (2005 apud RUSSO NETO, 2010)

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

Localizado na RPA 6 - Zona Sul da cidade do Recife – Figura 22 –, o bairro de Boa Viagem delimita-se com os bairros do Pina, Imbiribeira, Ibura e Jordão, pertencentes à mesma urbe, e com o bairro de Piedade, integrante do município de Jaboatão dos Guararapes. A leste, é banhado pelo Oceano Atlântico possuindo uma orla de aproximadamente sete quilômetros de extensão, um dos principais atrativos para sua ocupação.

Figura 22 – Localização do bairro de Boa Viagem



Fonte: Autora

Com área territorial de 753 hectares, correspondente a cerca de 3,45% do território da cidade do Recife, Boa Viagem é um dos bairros mais populosos – 122.922 habitantes segundo dados do último censo realizado em 2010 (IBGE, 2018) – e um dos pontos turísticos mais requisitados do município, se destacando pelo seu forte poder aquisitivo. Por esta razão, consta com a presença de importantes infraestruturas urbanas e uma oferta de diversos serviços para comércio, saúde, turismo e lazer.

A ocupação urbana começou na década de 1940, com casas militares, e desenvolveu-se rapidamente durante a segunda metade do século XX (ARAÚJO, 2007). A especulação imobiliária no bairro, principalmente próximo à praia, acelerou a verticalização e aumentou o custo de vida da população local, tendo este processo de verticalização se intensificado a partir da década de 1980 (GONÇALVES et al., 2013; MAGAROTTO et al., 2016).

Pelo contexto que o local está inserido, o investimento em habitações de alto padrão foi inevitável, fazendo com que atualmente contenha edificações de grande porte, com prédios que possuem elevados índices de esbeltez.

Todos os elementos mencionados foram cruciais na escolha do bairro como local a ser estudado, principalmente no que se refere ao quantitativo de edifícios e consequente densidade de dados a serem investigados.

Para atingir os objetivos propostos na pesquisa, os procedimentos metodológicos foram organizados de maneira sistemática em quatro etapas principais, como pode ser observado na Figura 23. Adiante, a fim de facilitar a compreensão acerca dos processos adotados no trabalho, estas etapas serão minuciosamente detalhadas.

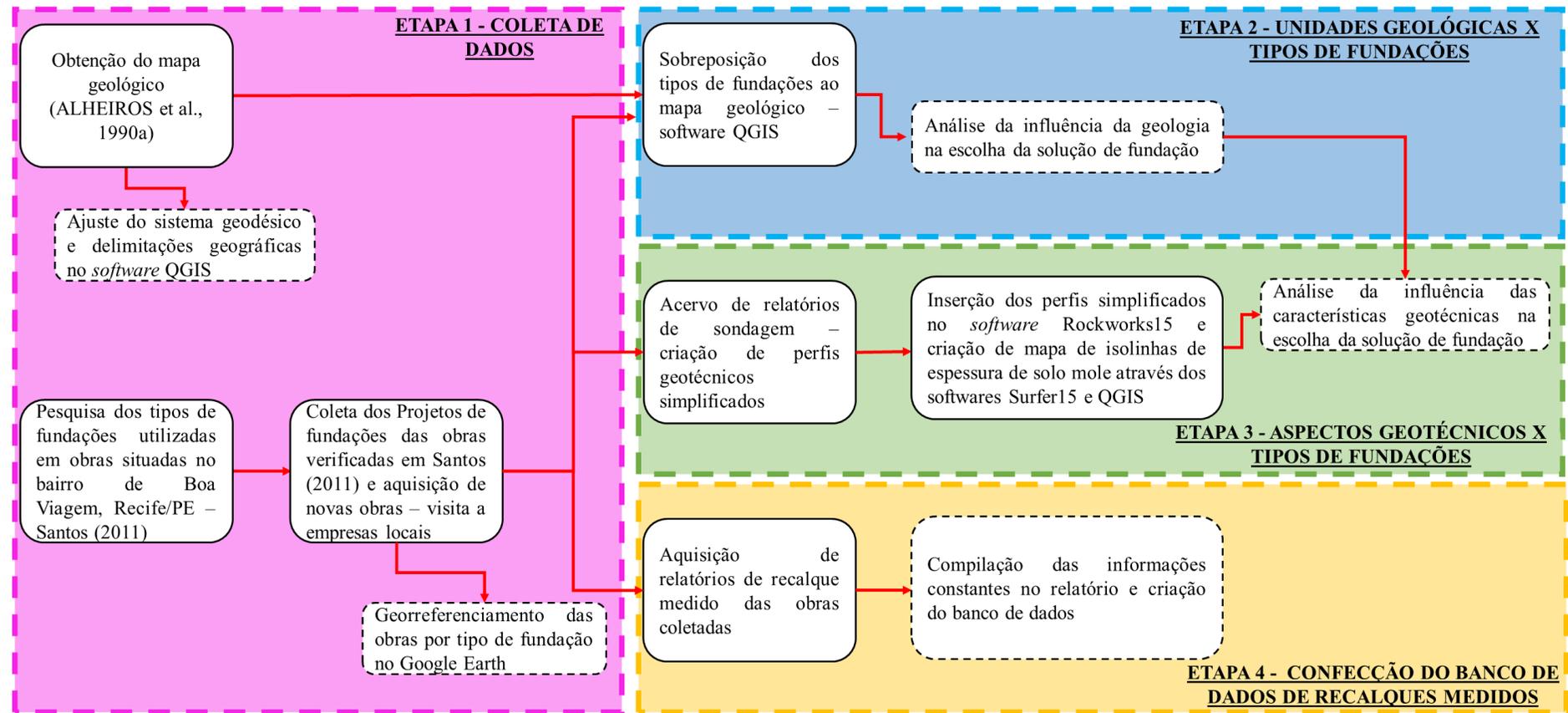
### **3.2. Etapa 1 - Coleta de dados**

Foram identificadas, inicialmente, as soluções típicas de fundações utilizadas no bairro de Boa Viagem a partir de consulta à base de dados da pesquisa desenvolvida por Santos (2011), que analisou a prática de fundações de obras situadas na Região Metropolitana do Recife entre os anos 2000 e 2010.

A partir da identificação das obras analisadas pelo autor, realizaram-se visitas técnicas a empresas locais especialistas em geotecnia a fim de coletar os projetos de fundações de cada obra e, dessa forma, verificar informações relevantes acerca dos edifícios analisados, tais quais o sistema estrutural, o número de pavimentos e aspectos intrínsecos à solução de fundação empregada em cada construção, como, por exemplo, os relatórios de sondagem.

Em consequência das visitas, dados de novas obras, projetadas entre 1998 e 2014, foram obtidos, compondo, assim, o quantitativo final analisado nesta pesquisa. Em posse de todas as obras, estas foram discriminadas por tipo de fundação e georreferenciadas no Google Earth através da inserção das suas coordenadas geográficas no programa.

Figura 23 - Síntese da metodologia empregada para elaboração da pesquisa



Fonte: Autora

Concomitantemente, foi coletado em literatura o trabalho realizado por Alheiros et al. (1990a), um clássico no que diz respeito aos estudos geológicos elaborados na cidade do Recife. Desenvolvido em escala 1:20.000, o mapa geológico criado pelos autores continua sendo o que fornece maior nível de detalhes acerca da disposição das unidades geológicas na cidade do Recife.

Para que este estudo pudesse ser elaborado, a versão digital do mapa de Alheiros et al. (1990a) foi solicitada através do envio de e-mails aos autores que, muito solícitos, disponibilizaram o arquivo. A versão foi enviada em formato .dwg – compatível com os programas da Autodesk, assim como o AutoCad –, georreferenciada pelo Sistema Geodésico de Referenciamento (SGR) Córrego Alegre e cartografada planialtimetricamente a partir da Carta de Nucleação Centro elaborada pela Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM) em 1987.

Considerando o ano da elaboração do mapa, bem como o SGR e a base cartográfica sobre o qual foi desenvolvido, buscou-se verificar se os dados do arquivo enviado eram compatíveis com os mapas atualizados da cidade do Recife. Para tal, foram pesquisados, a princípio, arquivos de formato shapefile – ou, simplesmente, shape – e TIF dos mapas de composição territorial, elevação e hidrografia do município em sites de órgãos públicos como o do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – projeto TOPODATA –, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Prefeitura do Recife.

Os arquivos ora mencionados foram, então, inseridos no *software* livre QGIS, que permite a sobreposição de camadas de dados vetoriais (de formato shapefile) e também do tipo raster (formato TIF). O mapa geológico foi convertido para shape através de um módulo de extensão (plugin) adicionado ao próprio QGIS e, assim, sobreposto aos demais, tendo os seus SGR convertidos para o SIRGAS 2000 (mais atual utilizado no Brasil à época desta pesquisa) por ferramenta presente no próprio programa. A projeção adotada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM).

A sobreposição permitiu observar que os limites geográficos entre os mapas não coincidiam, bem como as unidades geológicas não se encontravam precisamente nas cotas que deveriam estar de acordo com a literatura. Por este motivo, o mapa geológico precisou sofrer ajustes, sendo estes elaborados com base nas delimitações de relevo (presentes no mapa de elevação), limite municipal e recursos hídricos.

Após ajustes no mapa, pôde-se extrair, com auxílio do *software* empregado, o mapa geológico do bairro de Boa Viagem – região em estudo –, sendo verificadas, desta forma, as unidades geológicas nele presentes e suas respectivas localizações.

### **3.3. Etapa 2 - Unidades geológicas x tipos de fundações**

Em posse do mapa geológico de Boa Viagem e do arquivo com as obras georreferenciadas, foi feita a sobreposição entre estes utilizando o *software* QGIS, sendo, então, analisados os percentuais das soluções de fundações para cada unidade geológica presente no bairro, possibilitando, desta forma, a análise da influência da geologia na prática de fundações da área de estudo.

### **3.4. Etapa 3 - Aspectos geotécnicos x tipos de fundações**

Nesta etapa, direcionada à análise geotécnica, foram compilados, inicialmente, os relatórios de sondagem coletados nos projetos de fundações, conforme mencionado no item 3.2. O acervo de relatórios visa confeccionar um mapa tridimensional que apresente características do subsolo de Boa Vigem – tais quais estratigrafia e consistência / compacidade –, bem como criar um mapa de isolinhas de solos moles do bairro.

A geração dos mapas foi idealizada de forma que possa servir ao entendimento das soluções de fundações utilizadas no local, como também, de alguma forma, contribuir à concepção de novos projetos de infraestrutura na fase de anteprojeto, não substituindo, em nenhuma hipótese, a elaboração de campanhas de prospecção geotécnica.

Em cada um dos relatórios, foram verificadas as características individuais dos furos neles descritas e realizadas, então, novas divisões das camadas do terreno em termos de granulometria, a princípio, e resistência, posteriormente.

A divisão por granulometria foi fundamentada com base no agrupamento das camadas adjacentes que possuísem a mesma classificação dos materiais – similarmente às pesquisas desenvolvidas por Ferreira, Amorim Júnior e Coutinho (1986), Oliveira (2015) e Oliveira et al. (2016) – admitindo-se camadas de aterros e agrupamentos de argilas com siltes argilosos e areias com siltes arenosos.

Após isto, estas camadas, com exceção dos aterros, foram novamente organizadas em função do  $N_{SPT}$ , utilizando, para tal, os critérios de estado de compactidade ou consistência estabelecidos pela NBR 6484 (ABNT, 2001) – conforme Quadro 2.

Para efeito de simplificação, foram associados nesta separação os materiais de compactidade fofa a pouco compacta ( $N_{SPT} \leq 8$  golpes / 30 cm), os medianamente compactos ( $N_{SPT}$  de 9 a 18 golpes / 30 cm) e os compactos a muito compactos ( $N_{SPT} \geq 19$  golpes / 30 cm). Da mesma forma, foram unidos aqueles de consistência mole a muito mole ( $N_{SPT} \leq 5$  golpes / 30 cm) – comumente denotados como solos moles –, média a rija ( $N_{SPT}$  de 6 a 19 golpes / 30 cm) e dura ( $N_{SPT} > 19$  golpes / 30 cm).

Em casos de ocorrência de turfa, essas foram classificadas como argilas muito moles a moles; quando verificadas areias concrecionadas, designou-se a classificação de areias compactas a muito compactas. Desta forma, os materiais foram reorganizados em 7 (sete) categorias distintas, como pode ser observado no Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação final dos materiais admitindo critérios de granulometria e consistência/compactidade

<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO <math>N_{SPT}</math> (GOLPES / 30 cm)</b>
Aterros	Indiferente
Areias e siltes arenosos fofos a pouco compactos	$\leq 8$
Areias e siltes arenosos medianamente compactos	9 a 18
Areias e siltes arenosos compactos a muito compactos	$\geq 19$
Argilas e siltes argilosos muito moles a moles	$\leq 5$
Argilas e siltes argilosos médios a rijos	6 a 19
Argilas e siltes argilosos duros	$> 19$

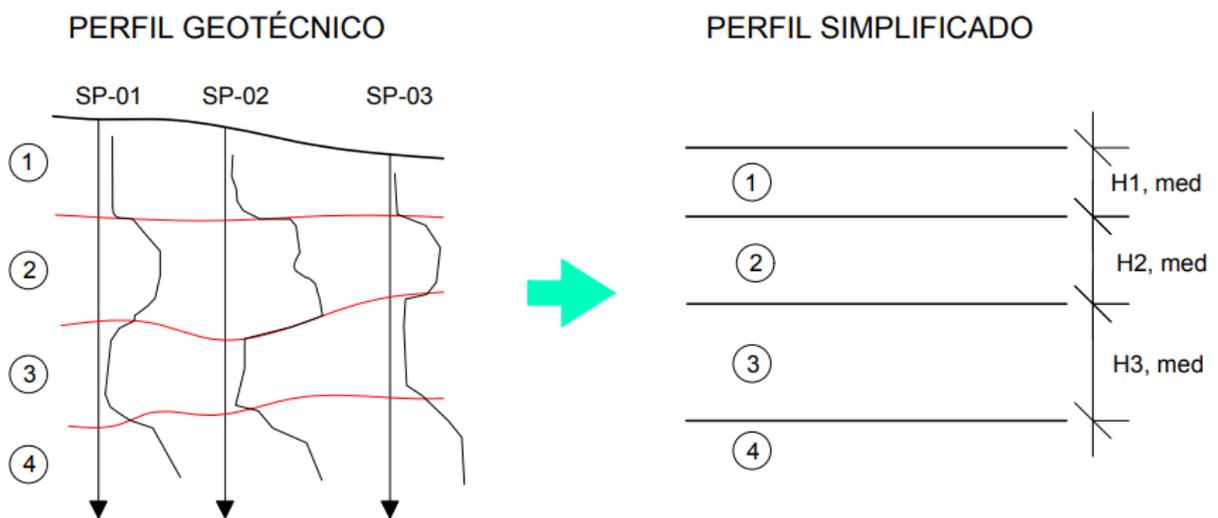
Fonte: Autora

Com a divisão final das camadas, os furos de sondagem de cada obra foram manualmente desenhados lado a lado, formando perfis geotécnicos. Constatada a homogeneidade entre as camadas em cada um destes furos – frisando que nem todas precisavam necessariamente se apresentar em ambos os furos, mas sim que possuíssem comportamentos relativamente parecidos em termos de disposição e classificação dos seus materiais – foi feita, então, uma média das espessuras de cada uma, idealizando, assim, perfis simplificados – Figura 24.

Após constituição dos perfis simplificados, estes foram inseridos na plataforma do *software* Rockworks15. Esta ferramenta permite, dentre outras utilidades, a criação bi e tridimensional de mapas estratigráficos, bem como de perfis geotécnicos entre dois ou mais pontos quaisquer que estejam dentro da malha de dados georreferenciados através de interpolação entre as informações inseridas.

Para o correto funcionamento do programa, é necessária a inserção dos dados de elevação, classificação dos materiais – conforme Quadro 7 –, espessuras das camadas e coordenadas geográficas de cada obra em que foi criado o perfil simplificado.

Figura 24 - Criação dos perfis simplificados



Fonte: Adaptado de Gusmão (2017)

A partir dos perfis simplificados, também foram elaborados mapas de isolinhas de solo mole na área de estudo em questão. Para tal, foram agrupados os perfis das obras que possuíam argilas e siltes argilosos muito mole a moles e verificadas as respectivas espessuras destes materiais entre as profundidades de 0 a 10 m, 10 a 20 m, 20 a 30 m e 30 a 40 m. Ou seja, entre cada uma destas faixas de profundidades analisadas, poderiam ser computados até 10 metros de espessura de solos moles.

Estes dados foram, então, inseridos no *software* Surfer15 juntamente com as coordenadas das suas respectivas obras, sendo geradas isolinhas de espessura destes materiais ao longo das faixas de profundidade mencionadas através de extrapolação realizada pelo próprio programa, que

funciona com base nas ferramentas da geoestatística. Após confecção das isolinhas, estas foram sobrepostas aos mapas gerados pelo *software* QGIS, confeccionados de acordo com o item 3.3.

Assim, com base nos mapas gerados, foi identificada a influência das características geotécnicas na escolha das soluções de fundações empregadas em Boa Viagem.

### 3.5. Etapa 4 – Confecção do banco de dados de recalques medidos

Nesta etapa, foram adquiridos relatórios de recalques medidos de algumas das obras estudadas por meio da solicitação dos arquivos a uma empresa local especializada neste serviço.

Mediante contato com os integrantes da instituição, foi cedido um CD-R contendo relatórios que apresentam os dados dos pilares analisados em cada obra – quantidade e identificação de acordo com o projeto de fundações –, suas cotas verificadas em cada medição, número de dias entre as leituras, valor de recalque absoluto para cada pilar e, em algumas situações, o carregamento do edifício à data da medição, estimado conforme exposto na Tabela 4.

Tabela 4 – Distribuição das cargas na estrutura

<b>TIPO</b>	<b>CARREGAMENTO PARCIAL (%)*</b>
Estrutura de concreto armado	40
Alvenarias	20
Revestimento externo	7,5
Revestimento interno	7,5
Pisos	10
Sobrecargas	15
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

\*Em relação ao carregamento total

Fonte: Gusmão, Gusmão Filho e Maia (2000)

Em posse dos relatórios de recalques medidos, foram compilados os valores de recalque mínimo ( $S_{\text{mín}}$ ), recalque máximo ( $S_{\text{máx}}$ ) e recalque médio ( $S_{\text{méd}}$ ) de todas as obras para cada leitura nelas realizadas; o número de dias entre as medições, bem como o ano que estas foram realizadas; o carregamento estimado do edifício à data de cada leitura; e informações adicionais julgadas relevantes com o intuito de formar um banco de dados. Um exemplo parcial de relatório

disponibilizado pela empresa é ilustrado na Figura 25 como forma de auxílio à compreensão de algumas informações coletadas.

Como mencionado no item 2.4, a definição de recalque absoluto engloba todos movimentos para baixo de pontos discretos provocados por alterações no estado inicial de tensões no terreno de fundação, sendo representados com sinalização positiva.

Desta forma, compreende-se recalque mínimo de uma medição de recalques o menor valor positivo de deslocamento de um ponto discreto; da mesma maneira, denomina-se recalque máximo o valor positivo de maior magnitude em relação aos demais pontos discretos; e a recalque médio, a média aritmética entre os recalques absolutos em uma leitura.

Figura 25 - Exemplo de relatório de recalques medidos

PROGRAMA PARA ACOMPANHAR RECALQUES - VERSAO ACRIV  
ACOMPANHAMENTO DE RECALQUES PARA O [REDACTED]

NUMERO DE DIAS DE UMA LEITURA PARA OUTRA : 29

NOME	COT.L1 (m)	COT.L2 (m)	REC (mm)	VELOC. (MIC/DIA)	X	Y	PINO
P1	5.27280	5.27270	0.10	3	100.00	150.00	1
P2	5.27179	5.27174	0.05	2	200.00	250.00	2
P3	5.23950	5.23952	-0.02	-1	300.00	350.00	3
P4	5.30767	5.30757	0.10	3	400.00	450.00	4
P5	5.25087	5.25062	0.25	9	500.00	550.00	5
P6	5.28278	5.28237	0.41	14	600.00	650.00	6
P7	5.27506	5.27530	-0.24	-8	700.00	750.00	7
P8	5.12688	5.12653	0.35	12	800.00	850.00	8
P9	5.22667	5.22643	0.24	8	900.00	950.00	9
P10	5.29987	5.29920	0.67	23	1000.00	1050.00	10
P11	5.30073	5.30029	0.44	15	1100.00	1150.00	11
P12	5.21858	5.21820	0.38	13	1200.00	1250.00	12
P13	5.28111	5.28088	0.23	8	1300.00	1350.00	13
P14	5.30271	5.30245	0.26	9	1400.00	1450.00	14
P15	5.33541	5.33529	0.12	4	1500.00	1550.00	15

$$S_{\text{méd}} = (0,10+0,05+0,10+0,25+0,41+0,35+0,24+0,67+0,44+0,38+0,23+0,26+0,12) / 13 = 0,28 \text{ mm}$$

Fonte: Adaptado de um relatório técnico analisado

O desenvolvimento do banco de dados de recalques medidos além de contribuir ao objetivo geral desta pesquisa, também tem como finalidade dar subsídio a pesquisas futuras acerca do desempenho de edificações, prática que, como outrora mencionada, ainda possui escassez de execução – e consequentemente de estudos – na maioria das obras realizadas no Brasil.

A compilação do banco de dados foi concebida a partir da associação entre os dados obtidos nos relatórios de recalques medidos e nos projetos arquitetônico e de fundações.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Etapa 1 - Coleta de dados

Foram coletados, no total, dados dos tipos de fundações de 161 obras, das quais 142 foram obtidas no estudo desenvolvido por Santos (2011) e 19 a partir das visitas realizadas às empresas, como pode ser observado na Figura 26.

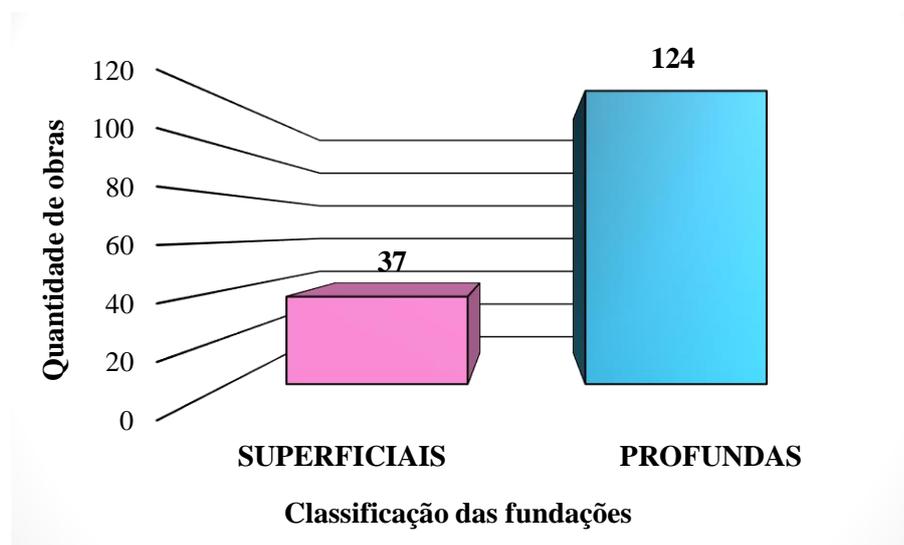
Figura 26 - Quantitativo de obras analisadas na pesquisa



Fonte: Autora

Nestas obras, observou-se que há a predominância de soluções em fundações profundas, representando 77,0% (124 ocorrências) em relação ao total analisado. As fundações superficiais, por sua vez, foram adotadas em 37 obras – o equivalente a 23,0% –, conforme Figura 27.

Figura 27 - Quantidade de fundações por classificação

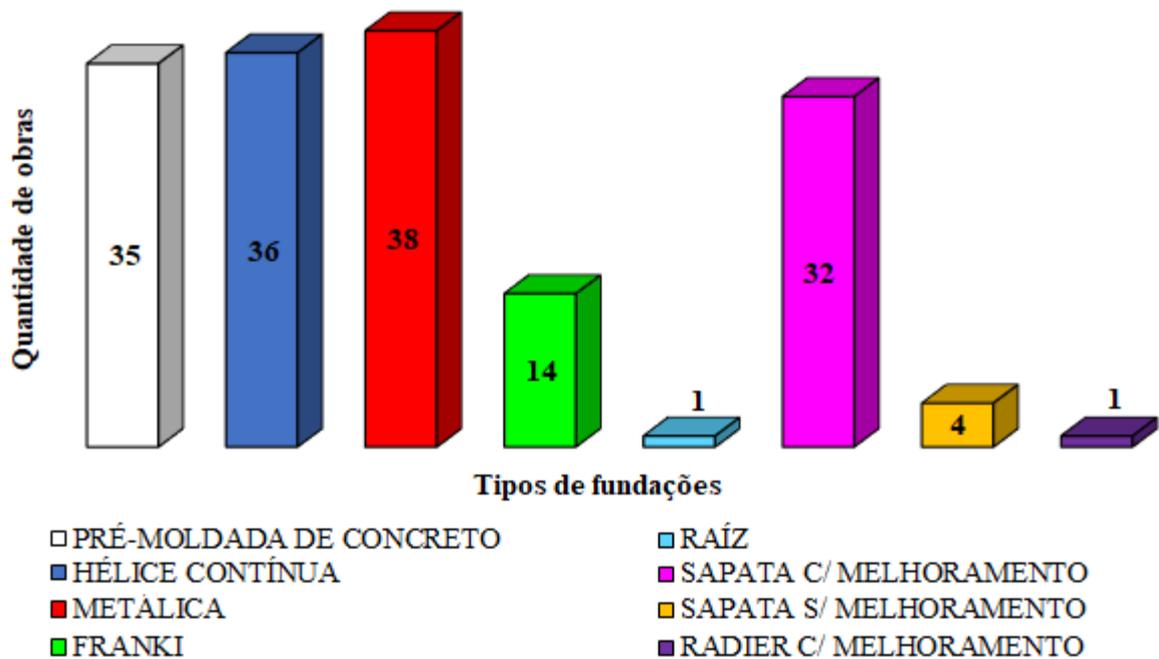


Fonte: Autora

O número de ocorrências de cada tipo de fundação é apresentado na Figura 28. Perante análise, uma observação relevante pode ser comentada: além das soluções típicas mais frequentes de fundações serem classificadas como profundas, dentre as superficiais empregadas, aproximadamente 87 % corresponde às sapatas com melhoramento prévio do terreno com estacas de compactação.

Frente a este contexto, fica evidente que a maior parte do subsolo do local estudado possui camadas superficiais com sedimentos de compacidade ou consistência insuficientes, em estado natural, à implantação das obras.

Figura 28 - Tipos de fundações adotados nas obras localizadas em Boa Viagem

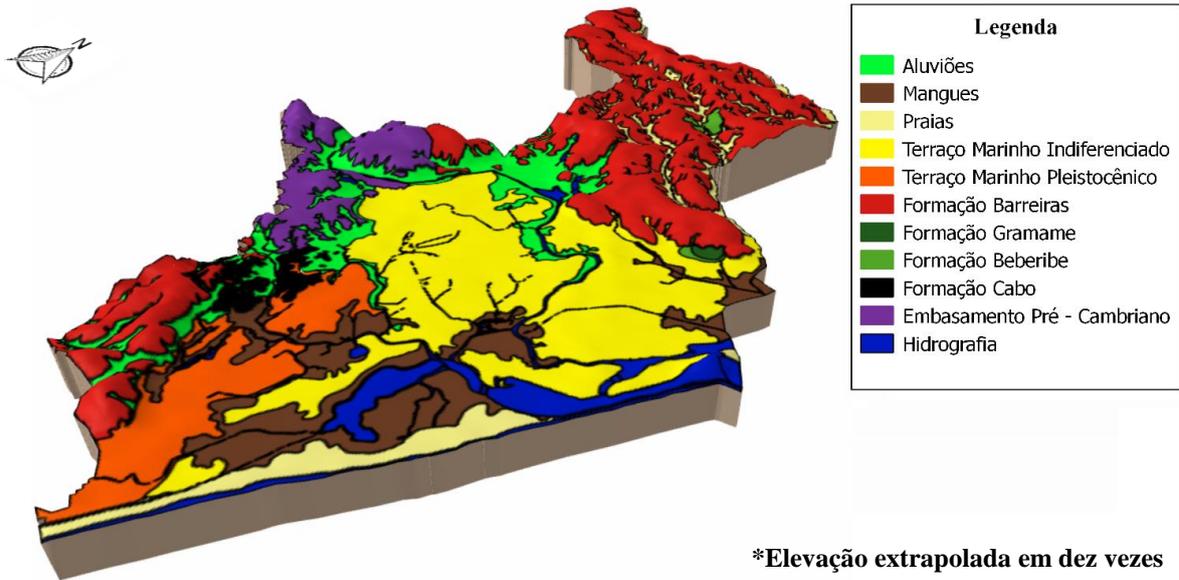


Fonte: Autora

Em 109 das 161 obras analisadas foram localizados os projetos de fundações e seus respectivos relatórios de sondagem.

Em relação ao mapa adaptado de Alheiros et al. (1990a), o resultado pode ser verificado no Anexo 2. Baseado no trabalho desenvolvido pelos autores, foi elaborado um mapa tridimensional que associa as unidades geológicas ao relevo da cidade do Recife, como pode ser observado na Figura 29. Neste mapa, a elevação foi extrapolada em dez vezes afim de facilitar sua visualização.

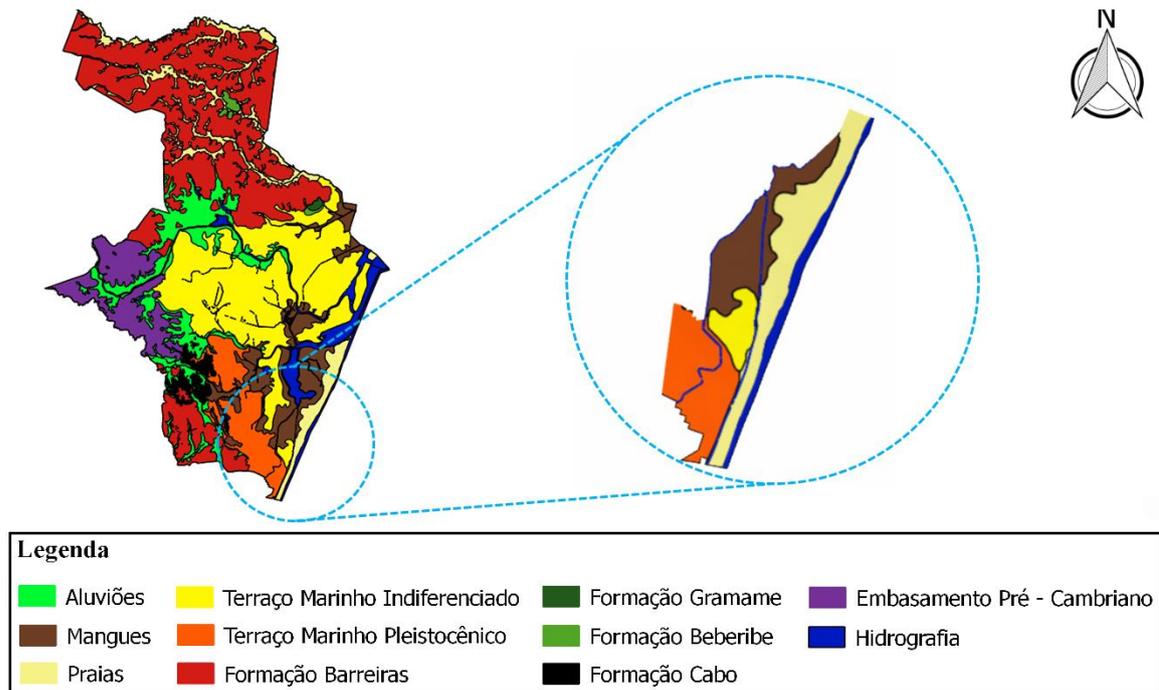
Figura 29 – Mapa geológico do Recife e sua associação ao relevo



Fonte: Adaptado de Alheiros et al. (1990a)

Do ponto de vista geológico, o bairro de Boa Viagem está inserido em uma área que possui depósitos sedimentares de Terraços Marinheiros Indiferenciados, Praias e Terraços Marinheiros Pleistocênicos, além de Mangues, que se desenvolvem entorno dos trechos hídricos que recortam a região - Figura 30.

Figura 30 – Mapa geológico de Boa Viagem



Fonte: Autora – baseado em Alheiros et al. (1990a)

Da área territorial do local em estudo, cerca de 35% corresponde à unidade geológica das Praias, que se estendem ao longo de toda a linha da costa. À medida em que se adentra o continente, na direção noroeste, ficam localizadas as regiões dos Mangues, que compreendem, aproximadamente, 27% do território de Boa Viagem.

Os Terraços Marinheiros Pleistocênicos surgem a sul e sudoeste, abrangendo uma área de 219 ha (29%). Por sua vez, os Terraços Marinheiros Indiferenciados estão situados entre as demais unidades, possuindo cerca de 71 ha (9%).

Nota-se, assim, a complexidade geológica do Recife e, em particular, do bairro em estudo, que apresenta 04 unidades geológicas de diferentes características em apenas 753 ha.

#### **4.2. Etapa 2 - Unidades geológicas x tipos de fundações**

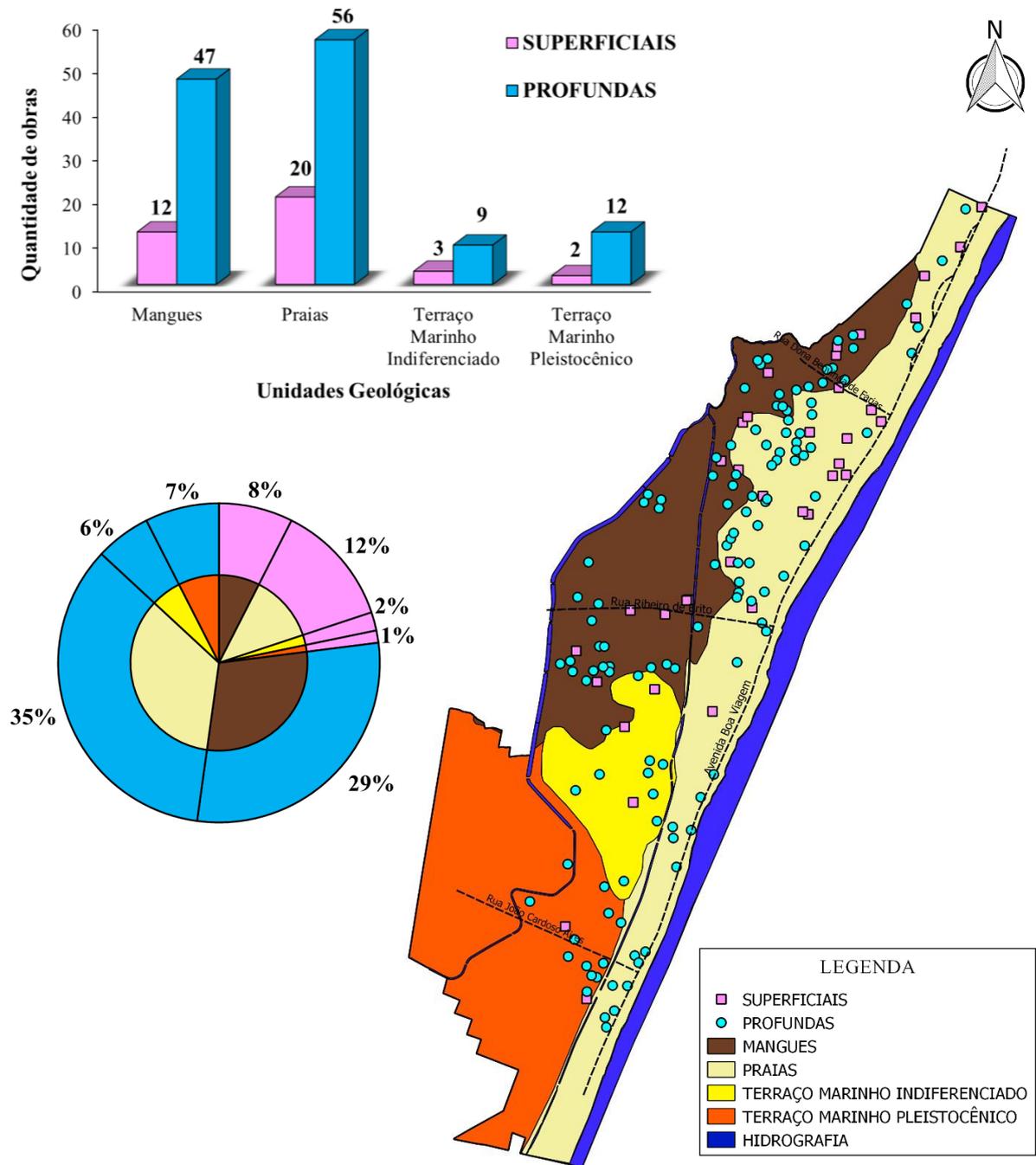
A sobreposição e o quantitativo das obras analisadas por classificação das fundações em relação às unidades geológicas presentes no bairro de Boa Viagem são apresentados na Figura 31. Como pode ser observado, a maior parte das fundações superficiais está assente sobre a unidade geológica das Praias nas proximidades do litoral – 20 ocorrências de um total de 161 obras.

Excluindo-se os outros fatores influentes na escolha das fundações, tal fato pode ser explicado devido à predominância de sedimentos arenosos, característicos desta unidade, nas camadas iniciais do terreno, fazendo com que as condições de resistência e deformabilidade do último possibilitem a implantação deste tipo de solução em algumas obras.

Um dado interessante a ser discutido é a posição dos Mangues, que representa a segunda unidade geológica com maior número de fundações superficiais – 12 ocorrências (8% do total das obras analisadas). Esta observação serve para reiterar que apesar de o terreno de fundação ser, muitas vezes, o principal fator na escolha das fundações na cidade do Recife, onde está situado o bairro em estudo, outros fatores assim como sistema estrutural, cargas atuantes, viabilidade econômica, etc., conforme ilustrado no Quadro 3, também exercem influência na definição da alternativa de fundação mais indicada para cada obra.

Além disto, convém salientar que as delimitações entre as unidades geológicas podem sofrer alteração à medida que se constatarem mais dados e refina-se, assim, o mapa elaborado por Alheiros et al. (1990a), que apresenta escala com detalhes representativos a nível municipal e não de um único bairro.

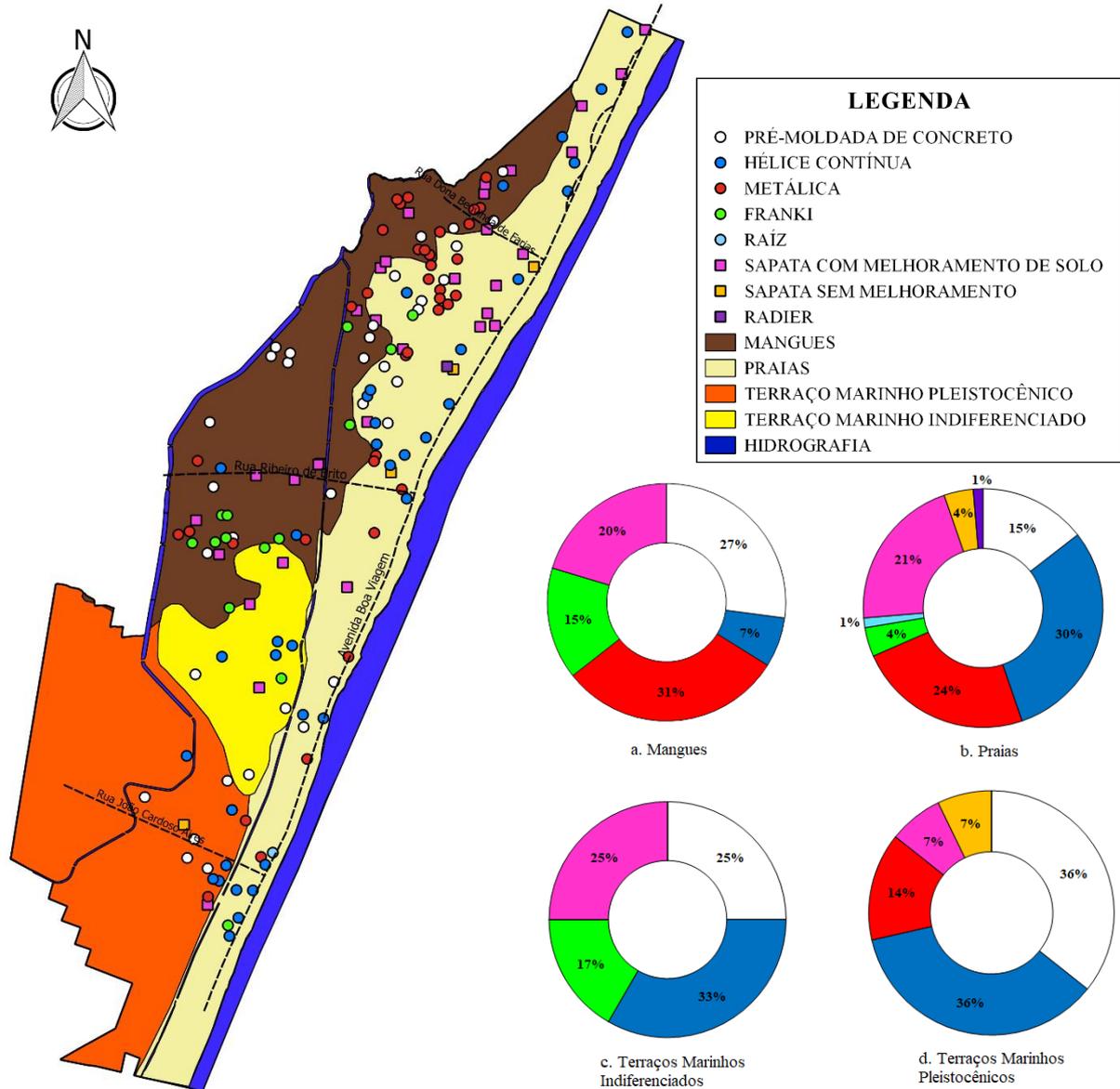
Figura 31 - Classificação das fundações x unidades geológicas



Fonte: Autora

Em relação aos tipos de fundações presentes no bairro analisado, podem ser encontradas fundações profundas dos tipos pré-moldada de concreto, hélice contínua, metálica, Franki e raiz. Quanto às superficiais, verifica-se a adoção de radier com melhoramento e sapatas, que podem ser, ou não, precedidas de melhoramento de solo com estacas de compactação. A disposição e o quantitativo dos tipos de fundações sobre as unidades geológicas são ilustrados na Figura 32.

Figura 32 - Tipos de fundações x unidades geológicas



UNIDADE GEOLÓGICAS / TIPO DE FUNDAÇÃO	MANGUES	PRAIAS	TERRAÇO MARINHO INDIFERENCIADO	TERRAÇO MARINHO PLEISTOCÊNICO	TOTAL
PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO	16	11	3	5	35
HÉLICE CONTÍNUA	4	23	4	5	36
ESTACA METÁLICA	18	18	0	2	38
FRANKI	9	3	2	0	14
RAÍZ	0	1	0	0	1
SAPATA C/ MELHORAMENTO	12	16	3	1	32
SAPATA S/ MELHORAMENTO	0	3	0	1	4
RADIER C/ MELHORAMENTO	0	1	0	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>76</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>161</b>

Fonte: Autora

As fundações mais empregadas nos Mangues são as estacas pré-moldadas de concreto (16 ocorrências) e as metálicas (18 ocorrências), que juntas representam 58% dos tipos verificados – Figura 32 (a). Dentre os tipos de soluções empregadas em Boa Viagem, estas são as que permitem o uso na presença de espessas camadas de solo mole.

Além destes tipos de fundações, também são encontradas 04 obras em estacas hélice contínua (7%), 09 em Franki (15%) e 12 em sapatas com melhoramento de solo (20%), soluções estas cuja presença de espessas camadas de solos moles, por sua vez, inviabiliza suas adoções. Neste sentido, a análise geotécnica adquire fundamental relevância para verificar o porquê de ser constatada a presença destas fundações na unidade geológica referida.

Nas Praias, a diversidade das fundações é maior do que em qualquer outra unidade geológica presente em Boa Viagem, podendo ser verificadas 11 soluções em estacas pré-moldadas de concreto (15%), 23 em hélice contínua (30%), 18 em estacas metálicas (24%), 03 em Franki (4%), 01 em raiz (1%), 16 em sapatas com melhoramento, 03 em sapatas sem melhoramento (21% e 4%, respectivamente) e 01 em radier com melhoramento (1%) – Figura 32 (b).

Nesta unidade, quão mais próximas as obras estão em relação à linha da costa, mais incidentes são as soluções em estacas do tipo hélice contínua e em fundações superficiais (inclusive sapatas sem melhoramento e radier com melhoramento), o que indica a preponderância de camadas granulares até, pelo menos, 30 metros de profundidade (alcance do maior equipamento em hélice contínua no Recife) e baixa incidência de camadas argilosas moles.

À medida que se adentra o continente e se aproximam os limites das regiões em Mangues, às proximidades dos corpos hídricos, preponderam as fundações cravadas dos tipos metálica e pré-moldada de concreto na unidade em questão.

Nos Terrenos Marinhos Indiferenciados foram observados 12 edifícios, sendo 03 construídos sobre estacas pré-moldadas de concreto (25%), 4 sobre estacas hélices contínuas (33%), 02 sobre Franki (17%) e 03 sobre sapatas com melhoramento (25%) – Figura 32 (c).

Este nível de terraço é caracterizado pela composição de areias medianamente compactas (Alheiros et al., 1990a), o que justifica a utilização das três últimas fundações citadas. No entanto, vale salientar que a própria definição desta unidade geológica relata a possibilidade de ocorrência de espessas camadas de argilas moles, depositadas devido ao caráter meandrante dos rios que alterou suas características de sedimentação marinha.

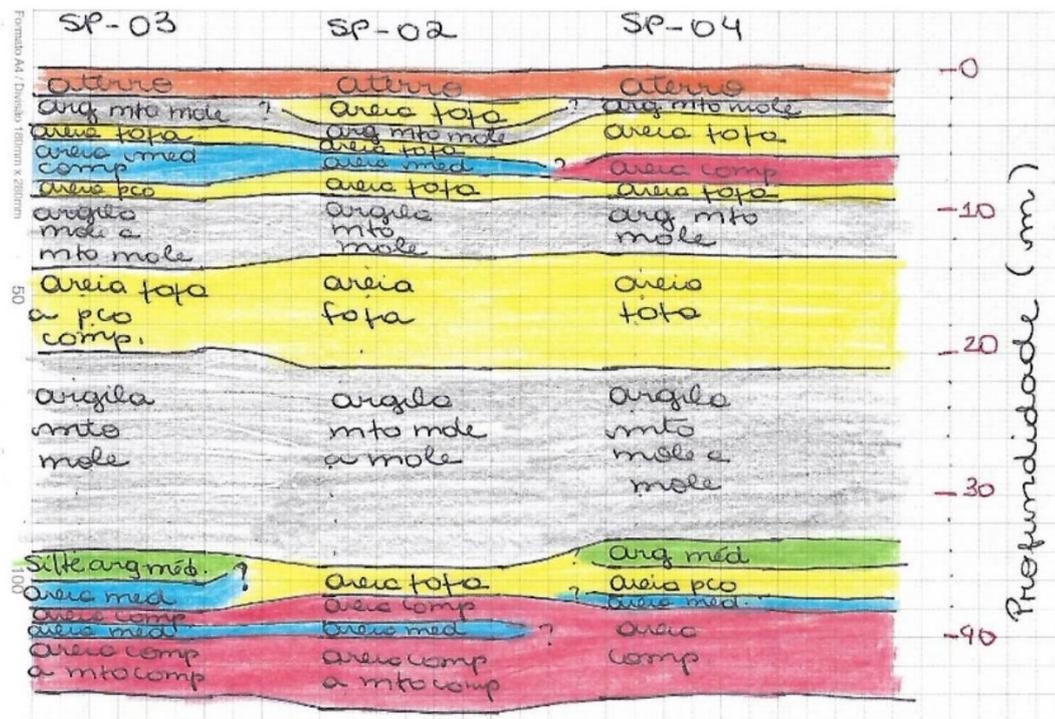
Em relação aos Terraços Marinheiros Pleistocênicos – Figura 32 (d) –, dois tipos de fundações são os mais representativos: as estacas pré-moldadas de concreto (05 ocorrências) e as hélices contínuas (05 ocorrências), sendo as últimas indicadoras da predominância de solos arenosos e de camadas poucos espessas de solos moles. Além destas soluções, também foi observada 01 obra em sapatas sem melhoramento, 01 em sapatas com melhoramento e 02 em estacas metálicas, sendo estas localizadas às margens de um canal fluvial.

Diante da diversidade de fundações verificada nas unidades geológicas presentes no bairro de Boa Viagem, constatou-se que, apesar de influente, a geologia não é um fator decisivo na escolha do tipo de fundação empregado nas obras situadas na região em estudo.

### 4.3. Etapa 3 - Aspectos geotécnicos x tipos de fundações

A análise geotécnica contou com relatórios de sondagens de 109 obras, como mencionado no item 4.1. A Figura 33 apresenta um exemplo de perfil geotécnico de solo de uma destas obras com a finalidade de ilustrar a forma a qual os perfis foram elaborados.

Figura 33 – Exemplo de um perfil geotécnico elaborado manualmente para desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Autora

Dos perfis simplificados obtidos, foram constatados, de acordo com a classificação de Oliveira et al. (2016), 52 perfis do tipo IA (47,1%), 12 do tipo IB-1 (11%), 12 do tipo IB-2 (11%), 01 do tipo IIA (0,9%), 01 do tipo IIB-2 (0,9%), 26 do tipo III (23,9%) e 05 (5,2%) não se enquadraram em nenhuma das classificações. A distribuição por unidade geológica pode ser constatada na Tabela 5. A presença de solos moles foi constatada em 60 destes perfis, ou seja, em mais de cinquenta por cento das edificações estudadas.

Tabela 5 – Perfis típicos encontrados segundo classificação de Oliveira et al. (2016)

<b>CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS</b>	<b>PRAIAS</b>	<b>MANGUES</b>	<b>TERRAÇO PLEISTOCÊNICO</b>	<b>TERRAÇO INDIFERENCIADO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>IA</b>	28	17	6	1	<b>52</b>
<b>IB-1</b>	7	5	0	0	<b>12</b>
<b>IB-2</b>	5	7	0	0	<b>12</b>
<b>IIA</b>	0	1	0	0	<b>1</b>
<b>IIB-2</b>	0	1	0	0	<b>1</b>
<b>III</b>	12	3	3	8	<b>26</b>
<b>NÃO SE APLICA</b>	3	2	0	0	<b>5</b>
<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>36</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>109</b>

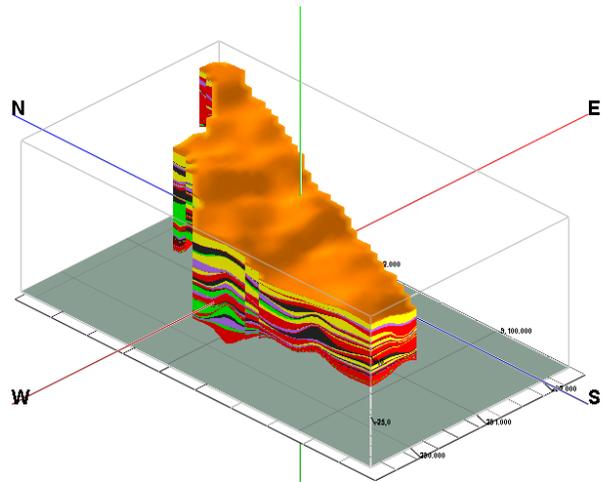
Fonte: Autora

O mapa tridimensional do bairro de Boa Viagem pode ser observado na Figura 34. Verifica-se que na região em estudo existem camadas superficiais de aterro que possuem espessuras de até 4 metros. Posteriormente, há a ocorrência de uma camada de areia / silte arenoso de compactidade fofa a pouco compacta, o que ratifica a pesquisa elaborada por Gusmão Filho (1998), que constatou a presença deste tipo de material na maior parte das camadas superficiais do subsolo da planície recifense.

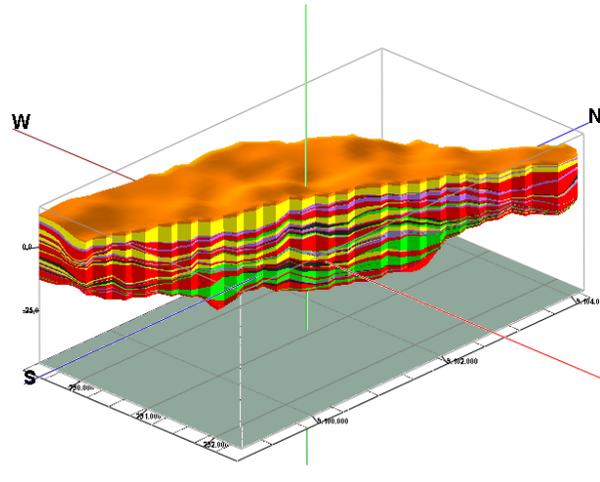
Na direção leste, ao longo da linha da costa litorânea – Figura 34 b –, preponderam camadas arenosas / silto arenosas que se intercalam entre compactidades fofas a pouco compactas e compactas a muito compactas, podendo ser encontradas lentes de argilas / siltes argilosos muito moles a moles de até 3 metros de espessura, no máximo.

Apenas em profundidade – a partir dos 20 a 25 metros – são encontradas argilas / siltes argilosos com espessuras maiores, porém estas camadas, em grande maioria, apresentam consistência média a rija devido ao pré-adensamento resultante das regressões marinhas e do próprio efeito de embutimento.

Figura 34 – Mapas tridimensionais do subsolo de Boa Viagem



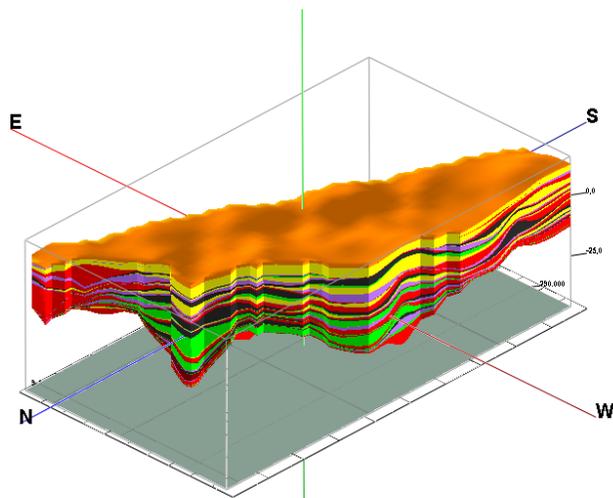
a.



b.



\*Extrapolação vertical de trinta vezes



c.

**LEGENDA**

-  Aterro
-  Areias e siltes arenosos fofos a pouco compactos
-  Areias e siltes arenosos medianamente compactos
-  Areias e siltes arenosos compactos a muito compactos
-  Argilas e siltes argilosos muito moles a moles
-  Argilas e siltes argilosos médios a rijos
-  Argilas e siltes argilosos duros

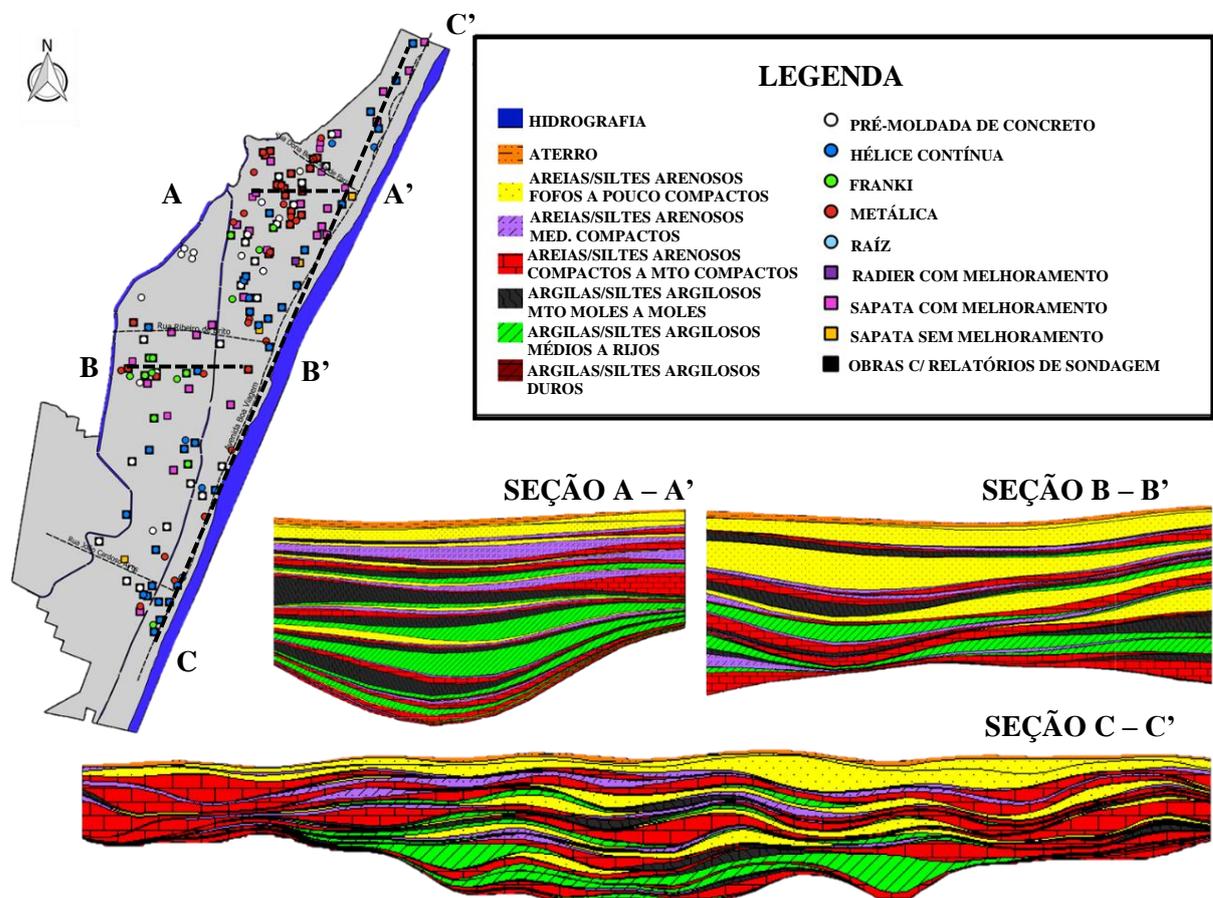
Fonte: Autora

À medida que se adentra o continente, na direção noroeste – Figura 34 c –, as camadas de areias / siltes arenosos compactos a muito compactos reduzem bruscamente de espessura, dando lugar a sucessivas deposições de areias fofas e argilas moles, que podem alcançar espessuras de até 25 metros. Em profundidade, surgem espessas camadas de argilas / siltes argilosos que também apresentam consistência média a rija.

Na direção sudoeste, por sua vez – Figura 34 a – há, da mesma forma, a intercalação entre areias / siltes arenosos de compacidade fofas a pouco compactas e compactas a muito compactas. Nesta região, no entanto, existem argilas / siltes argilosos muito moles a moles de até 8 metros de espessura que surgem antes dos 10 metros de profundidade.

Os 3 perfis geotécnicos que são ilustrados na Figura 35 foram gerados a partir do software Rockworks15 e reiteram a discussão realizada através da análise do mapa tridimensional do subsolo de Boa Viagem. A Seção C – C', que consta na imagem, corta praticamente toda a Avenida Boa Viagem, uma das principais avenidas da cidade do Recife.

Figura 35 – Perfis geotécnicos gerados no *software* Rockworks15



Fonte: Autora

\*Sem escala definida

No que se refere às isolinhas de espessura de solos moles, são apresentados nas Figuras 36, 37, 38 e 39, respectivamente, os mapas relativos às profundidades entre 0 e 10 metros, entre 10 e 20 metros; entre 20 e 30 metros e entre 30 e 40 metros.

Observa-se que na unidade geológica dos Mangues predominam pequenas espessuras de solo mole (de até 3 metros) entre 0 e 10 metros de profundidade. Entre 10 e 20 metros de profundidade, também há a predominância de camadas pouco espessas. Porém, nas proximidades do bairro do Pina, ao noroeste, surgem regiões onde estas camadas possuem espessuras de até 8 metros.

Entre os 20 e os 30 metros de profundidade, surgem as camadas mais espessas deste material (até 10 metros), com maior ocorrência, da mesma forma, nas proximidades do bairro do Pina. Entre os 30 e 40 metros, por sua vez, as espessuras voltam a diminuir.

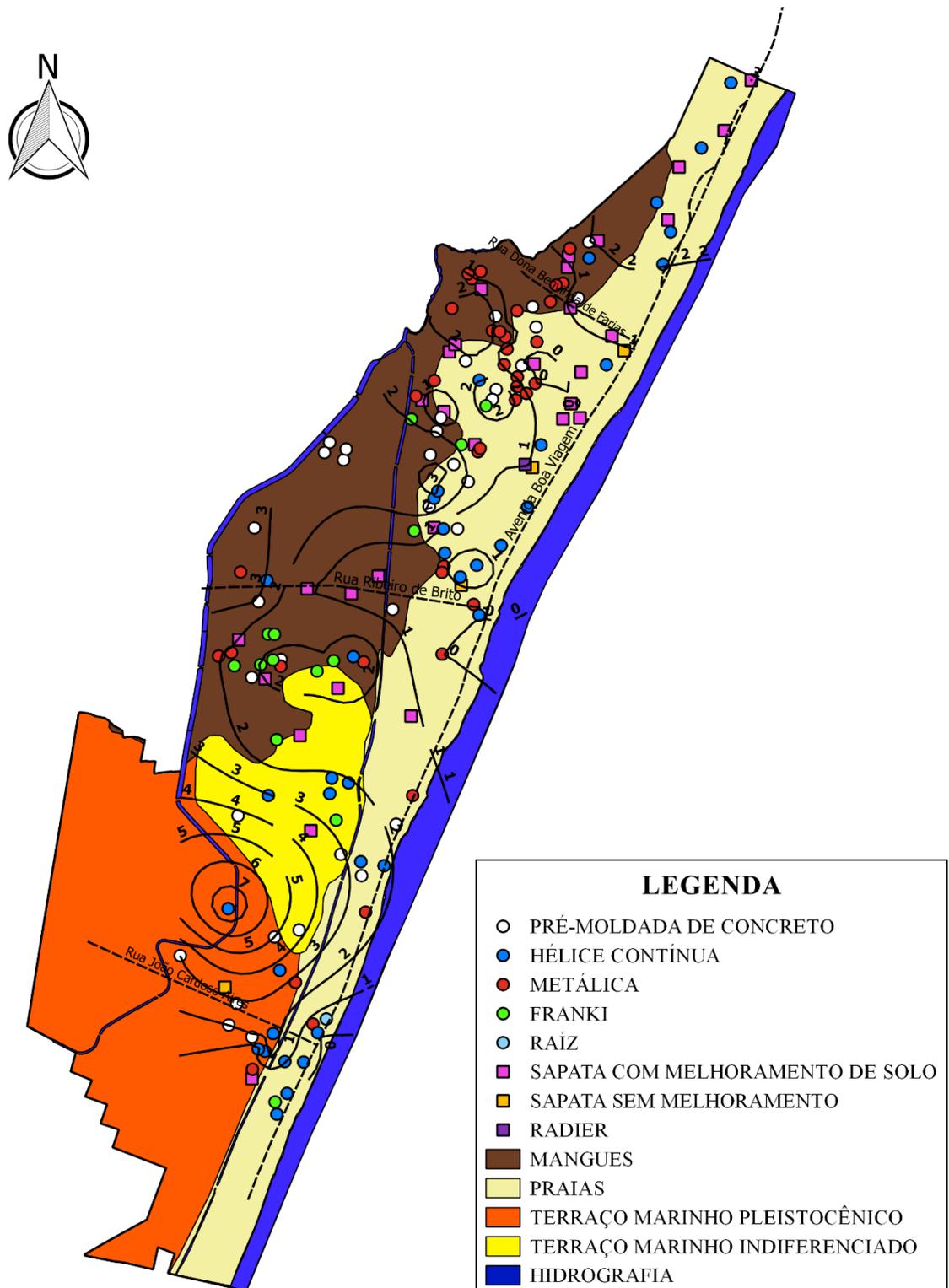
Comparando-se as soluções típicas de fundações empregadas às características geotécnicas do terreno, observa-se que a solução escolhida é função da espessura dos solos moles e da profundidade em que estes estão presentes, frisando, é claro, que outros fatores também podem influenciar na decisão da melhor alternativa.

Na maioria das vezes, estas variáveis inviabilizaram a adoção de fundações tipo hélice contínua e tipo Franki – devido à probabilidade de estrangulamento do fuste – e também superficiais, mesmo com melhoramento, seja pela capacidade de suporte insuficiente do terreno, seja pelo limite de profundidade que os equipamentos de melhoramento são capazes de alcançar ou mesmo pela elevada magnitude de recalques que a adoção desta solução conduziria se fosse empregada.

As soluções em sapatas com melhoramento foram viabilizadas quando os solos moles entre os 10 primeiros metros de profundidade – que, como mencionado, possuem até 3 metros de espessura – surgiram antes dos 5 ou 8 metros de profundidade, comprimento limite das estacas de compactação em argamassa, que atravessam este material.

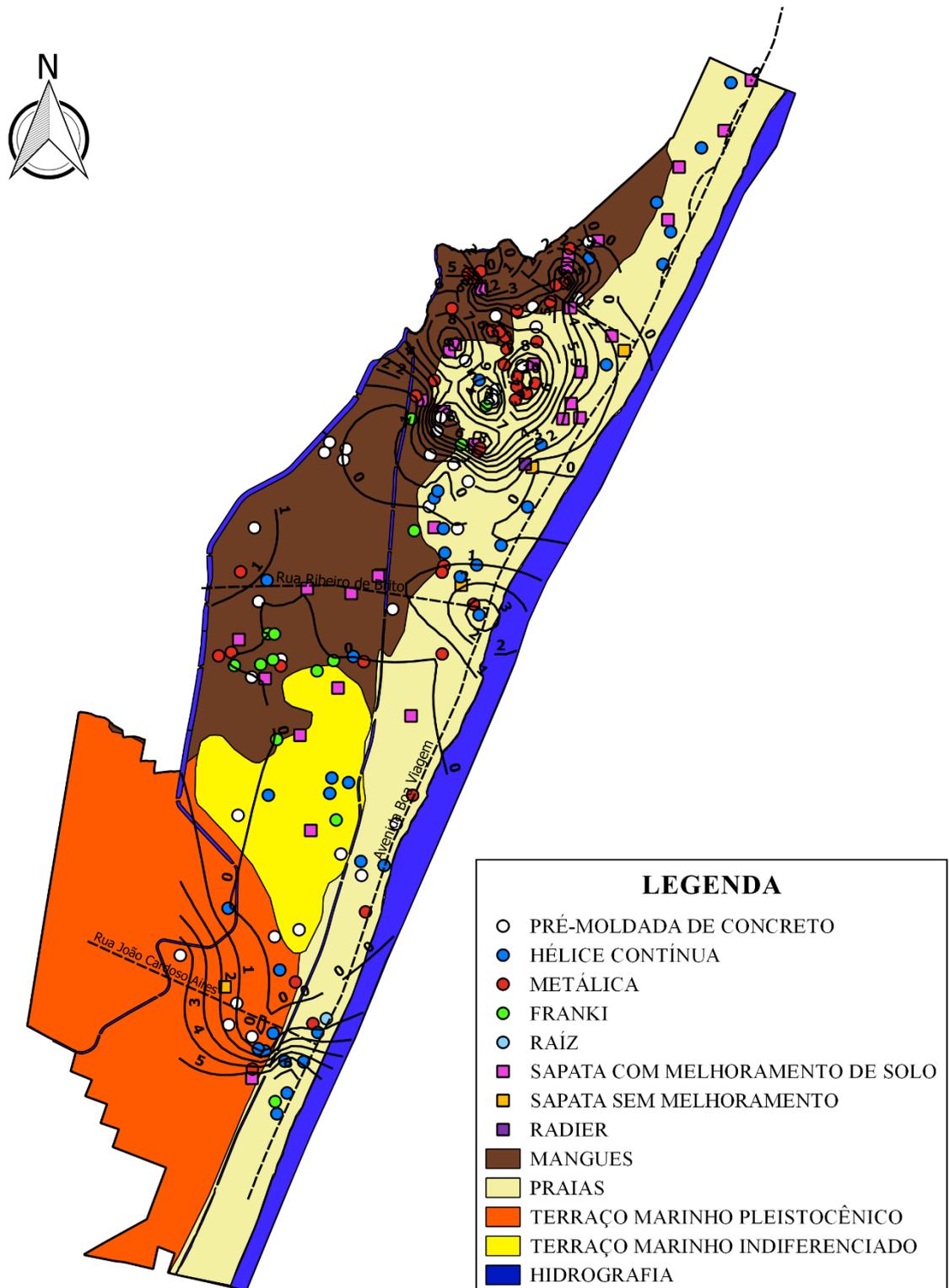
Além disto, também era necessário que as cargas transmitidas ao longo do bulbo de tensões dos elementos de fundação não provocassem deslocamentos inadmissíveis – perante os valores estabelecidos nas normas e recomendados em literatura – às camadas de solos moles que surgissem entre os 10 e 20 metros de profundidade. Para tal, a solução só poderia ser empregada em casos que as camadas de solos moles estivessem abaixo do bulbo de tensões e/ou outros fatores, assim como o carregamento imposto pela superestrutura, permitissem a sua adoção.

Figura 36 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 0 e 10 metros de profundidade



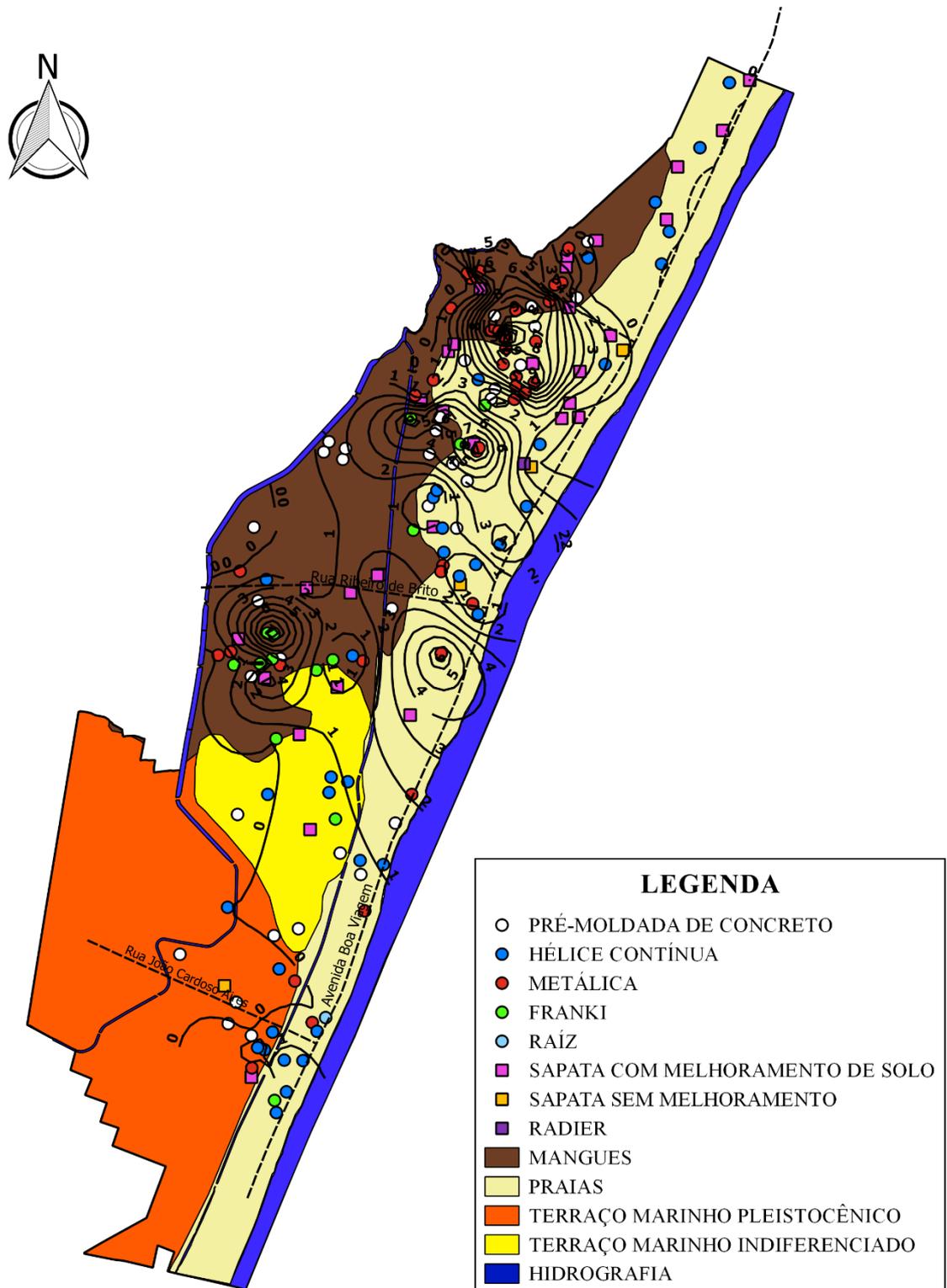
Fonte: Autora

Figura 37 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 10 e 20 metros de profundidade



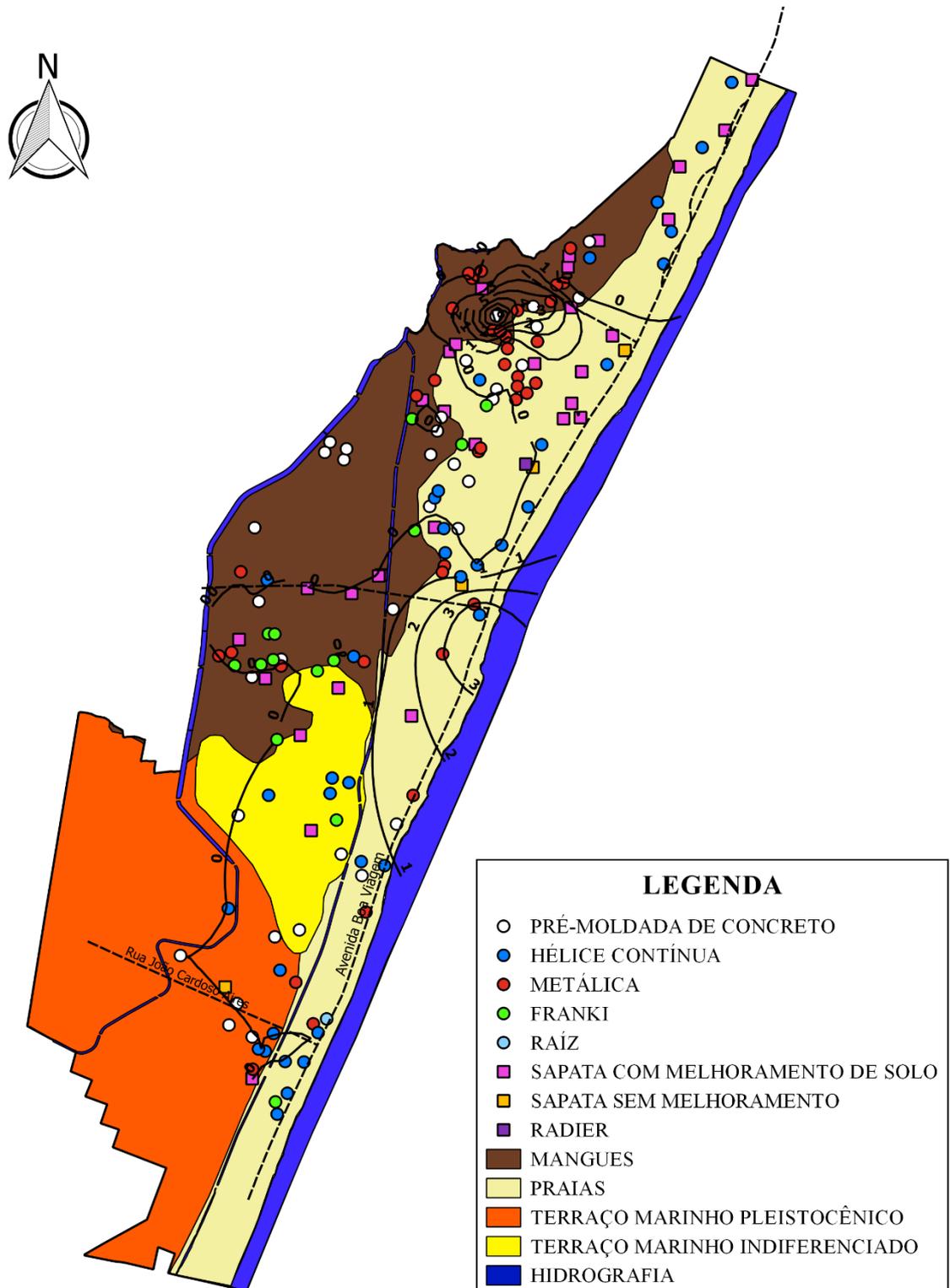
Fonte: Autora

Figura 38 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 20 e 30 metros de profundidade



Fonte: Autora

Figura 39 – Isolinhas de espessura de solo mole entre 30 e 40 metros de profundidade

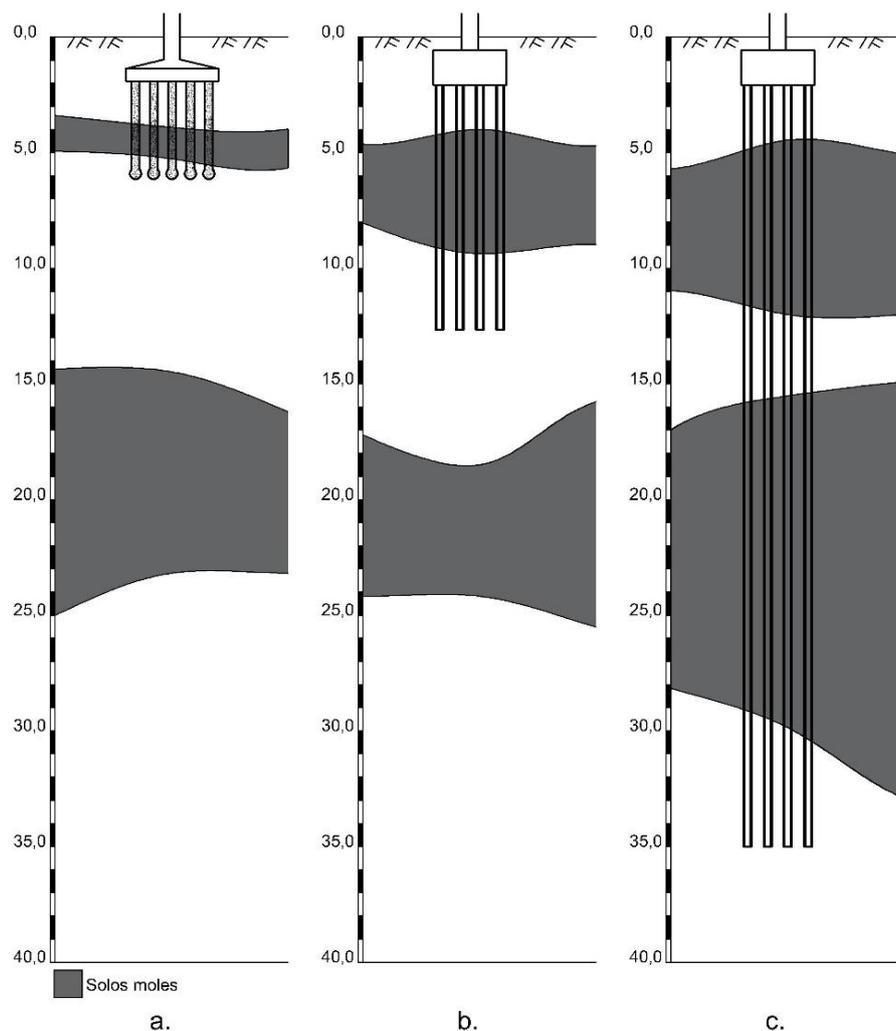


Fonte: Autora

A dominância de fundações profundas (dos tipos metálicas e pré-moldadas de concreto) é justificada devido à presença de regiões, localizadas nas proximidades do bairro do Pina, ao noroeste, em que há espessas camadas de solos moles entre os 0 e 20 metros de profundidade.

Dependendo do porte do edifício, são adotadas, nos Mangues, estacas metálicas e pré-moldadas de concreto com carga reduzida entre 10 e 20 metros de profundidade ou, em prédios maiores, soluções com estacas metálicas atravessando a camada pré-adensada, com comprimentos típicos entre 35 e 42 metros – Figura 40.

Figura 40 – Influência da espessura e profundidade dos solos moles na escolha das fundações presentes nos edifícios na região dos Mangues, no bairro de Boa Viagem: (a) sapatas com melhoramento prévio com estacas de argamassa; (b) estacas pré-moldadas de concreto ou metálicas com carga reduzida; (c) estacas metálicas alcançando a camada impenetrável



Fonte: Autora

A adoção de estacas com carga reduzida pode ser esclarecida porque, segundo Gusmão (2005), os recalques provenientes das camadas de solos moles presentes dos 20 aos 40 metros de profundidade possuem pequena magnitude, mesmo que as camadas contenham maior espessura, porque, como o efeito de embutimento está diretamente relacionado à magnitude dos recalques, as camadas de solos moles assentes a partir dos 20 metros de profundidade tendem a se comportar como pré-adensadas.

Na maioria da extensão da unidade geológica das Praias, praticamente não foi constatado solo mole. À direção noroeste, no entanto, este comportamento é diferente: até os 10 metros de profundidade, praticamente também não há. Daí então, camadas deste material começam a aparecer à medida que se afasta da Avenida Boa Viagem, aumentando de espessura conforme se aproxima da fronteira com a região dos Mangues.

Devido ao elevado custo do terreno, previsível devido à ascensão por edificações próximas ao mar, os prédios localizados na região das Praias são naturalmente altos e de elevado padrão, o que resulta na incidência de fundações profundas, embora o terreno contenha, na sua maioria, camadas predominantemente arenosas / silto arenosas, e baixa ocorrência de solos argilosos / silto argilosos muito moles a moles.

Por este motivo, a elevada adoção de soluções em estacas tipo hélice contínua é esclarecida, tendo estes elementos de fundação profunda comprimentos típicos que variam de 16 a 24 metros. Este fato justifica, também, a viabilidade em alguns prédios – que chegam, inclusive, a ter mais de 30 pavimentos – de fundações superficiais até mesmo sem melhoramento prévio do terreno.

Na direção noroeste, onde o comportamento do subsolo da unidade geológica das Praias é completamente distinto, havendo a ocorrência de espessas camadas de solo mole, que, como mencionado no item 4.3, podem alcançar até 25 metros de espessura, a utilização de estacas metálicas é predominante.

O cone do Aeroporto internacional do Recife, localizado sobre os Terraços Marinhos Pleistocênicos, faz com que existam poucas informações de prédios nesta unidade geológica, havendo apenas dados de edifícios até as imediações da Rua Visconde de Jequitinhonha, nas proximidades do Parque Dona Lindu.

Nestes Terraços, observa-se a existência de camadas de solos moles de até 8 metros de espessura nas profundidades de 0 a 10 metros, nas proximidades do Terraço Marinho

indiferenciado. Dos 10 aos 20 metros de profundidade, há espessuras de até 5 metros na direção sul. Após os 20 metros, não há ocorrência deste tipo de material.

Por esta razão, há maior ocorrência de estacas tipo hélice contínua e pré-moldada de concreto, que possuem comprimentos típicos entre 16 e 24 metros.

Nos Terraços Marinhos Indiferenciados, que se apresentam na transição entre as demais unidades geológicas, ocorrem camadas de solos moles de até 5 metros de espessura nos 10 primeiros metros de profundidade. A partir desta profundidade, não há ocorrência deste tipo de material nas sondagens estudadas.

Devido à pequena espessura deste material, tal qual sua baixa ocorrência, as soluções típicas de fundações empregadas são as estacas tipo hélice contínua, com comprimento variando entre 16 e 24 metros, e fundações superficiais em sapatas com melhoramento prévio do terreno com estacas de compactação. No Quadro 8, é apresentado um resumo da análise realizada.

Os resultados observados permitem afirmar que a geotecnia, além de ser um fator influente, é decisiva na escolha dos tipos de fundações na região em estudo, pois é notável que o emprego das soluções está intrinsecamente relacionado à presença, profundidade e espessura de solos moles.

#### **4.4. Etapa 4 - Confeção do banco de dados de recalques medidos**

No que concerne ao banco de dados de recalques medidos, foram obtidos dados de 19 obras, cuja compilação das informações encontra-se na Tabela 6.

Em cada uma das obras constantes nesta compilação, foram realizadas, em média, 9 leituras de recalques, tendo sido observados, portanto, aproximadamente 171 relatórios similares ao presente na Figura 25.

A compilação das informações é de extrema valia visto que consta com informações relevantes que podem subsidiar o desenvolvimento de novos estudos acerca do desempenho das fundações de edifícios, constituindo uma importante ferramenta à formulação de novas metodologias de estimativas de recalques.

Quadro 8 – Síntese da análise das unidades geológicas x tipos de fundações

UNIDADE GEOLÓGICA / PROF. (m)	SOLOS MOLES				SOLUÇÕES TÍPICAS DE FUNDAÇÕES
	0 - 10 m	10 - 20 m	20 a 30 m	30 a 40 m	
MANGUES	Pequenas espessuras (de até 3 metros) na maioria da área em que está compreendida.	Predominância de camadas pouco espessas, porém, existe a ocorrência de regiões com até 8 metros de espessura na região noroeste, à divisa com o bairro do Pina	Espessas camadas de solos moles sobretudo nas proximidades do Pina, região noroeste.	Camadas pouco espessas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sapatas com melhoramento em estacas de compactação de concreto simples (estacas de argamassa) de 5 a 8 metros de comprimento nos trechos de menor espessura de solo mole e / ou onde o porte do edifício é pequeno;</li> <li>* Fundações cravadas (dos tipos pré-moldada de concreto ou metálica) com carga reduzida entre 10 e 20 metros de profundidade;</li> <li>* Estacas metálicas com comprimentos típicos entre 35 a 42 metros que atravessam camada de solo mole pré-adensada.</li> </ul>
PRAIAS	Camadas de até 2 metros de espessura.	Praticamente inexistente na maior parte da área que está compreendida. À medida que se aproxima da fronteira com os Mangues, no entanto, prevalecem camadas de espessura acentuada.			<ul style="list-style-type: none"> <li>* Prevalência de fundações profundas em estacas do tipo hélice contínua (comprimento entre 16 e 24 metros) e viabilidade de fundações superficiais (inclusive sem melhoramento do terreno) devido à presença de camadas granulares e pouca ocorrência de solos moles na maioria da área que a unidade abrange.</li> <li>* Na direção noroeste, onde há a ocorrência de camadas de solo mole de até 25 metros de espessura, predominam as estacas metálicas.</li> </ul>

Continua...

Fonte: Autora

Quadro 8 – Síntese da análise das unidades geológicas x tipos de fundações

Continua...

UNIDADE GEOLÓGICA / PROF. (m)	SOLOS MOLES				SOLUÇÕES TÍPICAS DE FUNDAÇÕES
	0 - 10 m	10 - 20 m	20 a 30 m	30 a 40 m	
TERRAÇOS MARINHOS INDIFERENCIA- DOS	Camadas de até 5 metros de espessura	Praticamente não há ocorrência			* Estacas do tipo hélice contínua com comprimento varian- do entre 16 e 24 metros; * Fundações superficiais em sapatas com melhoramento em estacas de compactação.
TERRAÇOS MARINHOS PLEISTOCÊ- NICOS	Camadas de até 8 metros de espessura	Camadas de até 5 metros de espessura	Praticamente não há ocorrência		* Estacas dos tipos hélice contínua e pré-moldada de concreto, ambas com comprimento variando entre 16 e 24 metros;

Fonte: Autora

Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos

OBRA	SISTEMA ESTRUTURAL	FUNDAÇÃO DA LÂMINA (TIPO)	Nº DE PAVIMENTOS TOTAL	MEDIÇÃO (Nº)	Smín (mm)	Smáx (mm)	Sméd (mm)	Nº DIAS A PARTIR DA 1ª LEITURA	ANO DA MEDIÇÃO	OBS	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (Tf)	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (%)	UNIDADE GEOLÓGICA
1	Concreto Armado	Sapatas isoladas e conjulgadas com melhoramento (areia e brita)	22	1	x	x	x	0	2010	Instalação dos Pinos	757,78	9,47	MANGUES
				2	2,65	4,56	3,63	110	2010	x	1284,28	16,05	
				3	4,93	7,47	6,34	148	2010	x	1681,78	21,01	
				4	5,78	10,44	8,51	211	2010	x	2119,66	26,49	
				5	7,62	13,69	10,57	259	2010	x	2574,08	32,16	
				6	10,11	16,56	14,17	308	2011	x	3199,35	39,98	
				7	13,29	22,14	19,14	432	2011	x	3892,17	48,64	
				8	18,60	30,51	26,51	582	2011	x	4963,70	62,02	
				9	22,23	36,57	31,68	700	2012	x	5343,79	66,78	
				10	25,12	40,33	35,37	819	2012	x	F	F	
				11	30,21	43,75	37,64	919	2012	x	5856,41	73,19	
				12	28,57	44,38	38,24	1009	2013	x	F	F	
				13	31,03	46,36	40,44	1099	2013	x	F	F	
				14	31,43	47,58	41,68	1197	2013	x	F	F	
				15	32,96	48,69	43,33	1288	2013	x	F	F	
				16	33,80	49,52	43,58	1400	2014	x	F	F	
				17	35,05	50,87	44,84	1582	2014	x	F	F	
2	Concreto Armado	Sapatas c/ melhoramento (argamassa)	19	1	x	x	x	0	2002	Instalação dos Pinos	212,60	2,11	PRAIAS
				2	1,00	4,50	2,45	64	2002	x	1535,56	15,24	
				3	2,50	5,50	3,80	123	2003	x	2746,67	27,26	
				4	1,00	15,00	9,31	217	2003	x	5667,75	56,25	
3	Concreto Armado	Estacas Metálicas	31	1	x	x	x	0	2015	Instalação dos Pinos	F	F	MANGUES
				2	0,31	1,64	1,13	34	2015	x	F	F	
				3	0,74	2,52	1,62	61	2015	x	F	F	
				4	2,05	5,05	3,57	111	2015	x	F	F	
				5	2,10	5,62	4,05	128	2015	x	F	F	
				6	2,00	6,57	4,12	153	2015	x	F	F	
				7	3,64	8,95	6,15	209	2015	x	F	F	
				8	4,16	10,59	7,24	267	2016	x	F	F	
				9	5,02	12,19	13,32	307	2016	x	F	F	

\*Onde "F" são as informações que não foram informadas nos relatórios de medição de recalques e "x" são representações que indicam a inexistência de informações nas células da tabela.

Continua...

Fonte: Autora

Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos

Continuação...

OBRA	SISTEMA ESTRUTURAL	FUNDAÇÃO DA LÂMINA (TIPO)	Nº DE PAVIMENTOS TOTAL	MEDIÇÃO (Nº)	Smín (mm)	Smáx (mm)	Sméd (mm)	Nº DIAS A PARTIR DA 1ª LEITURA	ANO DA MEDIÇÃO	OBS	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (Tf)	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (%)	UNIDADE GEOLÓGICA
4	Concreto Armado	Pré - moldada de concreto centrifugado	30	1	x	x	x	0	2014	Instalação dos Pinos	F	F	MANGUES
				2	0,02	0,60	0,41	49	2014	x	F	F	
				3	0,80	2,56	1,73	82	2014	x	F	F	
				4	2,01	5,21	3,89	163	2014	x	F	F	
				5	1,69	6,37	4,17	232	2015	x	F	F	
				6	0,82	7,64	4,45	273	2015	x	F	F	
				7	3,75	10,40	7,28	310	2015	x	F	F	
				8	5,05	11,89	8,84	334	2015	x	F	F	
				9	5,90	14,46	10,05	379	2015	x	F	F	
				10	5,57	15,36	10,13	420	2015	x	F	F	
				11	7,76	16,83	12,10	510	2015	x	F	F	
5	Concreto Armado	Pré-moldada de concreto	36	1	x	x	x	0	2003	Instalação dos Pinos	276,29	3,33	PRAIAS
				2	0,50	2,50	1,40	84	2003	x	1165,73	14,05	
				3	2,00	6,50	3,25	157	2003	x	2581,20	31,11	
				4	2,00	7,00	5,17	233	2003	x	3488,06	42,04	
				5	5,00	14,00	8,10	331	2004	x	4520,21	54,48	
				6	5,00	15,00	9,90	468	2004	x	6937,95	83,62	
6	Concreto Armado	Franki e Hélice Contínua	29	1	x	x	x	0	2010	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	0,31	2,80	1,54	42	2011	x	F	F	
				3	0,62	2,92	1,85	68	2011	x	F	F	
				4	1,71	4,47	3,12	99	2011	x	F	F	
				5	2,36	5,32	3,90	132	2011	x	F	F	
				6	1,54	6,84	4,96	162	2011	x	F	F	
				7	3,55	8,13	6,03	188	2011	x	F	F	
				8	2,59	9,02	6,15	223	2011	x	F	F	
				9	4,85	10,27	7,77	254	2011	x	F	F	
				10	5,39	11,52	8,57	279	2011	x	F	F	
				11	5,14	13,05	9,18	310	2011	x	F	F	
				12	6,20	13,53	10,56	351	2011	x	F	F	
				13	6,11	14,83	10,87	383	2011	x	F	F	
				14	8,05	17,33	12,96	475	2012	x	F	F	
				15	9,18	19,07	15,02	567	2012	x	F	F	
				16	9,88	20,31	16,00	677	2012	x	F	F	

\*Onde "F" são as informações que não foram informadas nos relatórios de medição de recalques e "x" são representações que indicam a inexistência de informações nas células da tabela.

Continua...

Fonte: Autora

Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos

Continuação...

OBRA	SISTEMA ESTRUTURAL	FUNDAÇÃO DA LÂMINA (TIPO)	Nº DE PAVIMENTOS TOTAL	MEDIÇÃO (Nº)	Smín (mm)	Smáx (mm)	Sméd (mm)	Nº DIAS A PARTIR DA 1ª LEITURA	ANO DA MEDIÇÃO	OBS	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (Tf)	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (%)	UNIDADE GEOLÓGICA
7	Concreto Armado	Hélice Contínua	29	1	x	x	x	0	2010	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	0,02	1,34	0,83	37	2011	x	F	F	
				3	0,34	1,50	1,05	63	2011	x	F	F	
				4	0,92	2,83	1,91	94	2011	x	F	F	
				5	1,45	3,36	2,50	127	2011	x	F	F	
				6	2,48	4,66	3,50	157	2011	x	F	F	
				7	2,33	4,81	3,69	183	2011	x	F	F	
				8	3,24	6,07	4,77	218	2011	x	F	F	
				9	3,56	6,46	5,08	249	2011	x	F	F	
				10	4,01	7,01	5,55	274	2011	x	F	F	
				11	4,23	7,78	5,96	305	2011	x	F	F	
				12	5,27	9,35	7,46	346	2011	x	F	F	
				13	5,90	10,31	8,31	378	2011	x	F	F	
				14	6,25	11,79	9,47	470	2012	x	F	F	
				15	7,46	13,66	10,94	562	2012	x	F	F	
				16	8,09	14,13	11,47	672	2012	x	F	F	
8	Concreto Armado	Hélice Contínua e Pré-moldadas	20	1	x	x	x	0	2011	Instalação dos Pinos	F	F	TERRAÇO PLEISTOCÊNICO
				2	0,41	3,19	1,7	178	2012	x	F	F	
				3	0,22	3,32	1,54	294	2012	x	F	F	
				4	0,07	2,46	1,21	343	2012	x	F	F	
				5	0,89	3,95	2,70	501	2013	x	F	F	
				6	2,50	6,84	4,70	609	2013	x	F	F	
9	Concreto Armado	Estacas Metálicas	33	1	x	x	x	0	2013	Instalação dos Pinos	695,00	4,310	MANGUES
				2	0,60	2,22	1,36	89	2013	x	2040,77	12,657	
				3	0,09	1,63	0,79	127	2013	x	3297,21	20,451	
				4	0,72	4,47	2,32	176	2013	x	4803,84	29,801	
				5	3,08	7,33	5,75	239	2014	x	F	F	
				6	4,47	9,83	7,81	292	2014	x	F	F	
				7	5,39	11,23	9,42	362	2014	x	F	F	
				8	6,17	12,61	10,39	435	2014	x	F	F	
				9	5,45	13,35	10,61	624	2015	x	F	F	
				10	6,43	15,26	11,85	793	2015	x	F	F	

\*Onde “F” são as informações que não foram informadas nos relatórios de medição de recalques e “x” são representações que indicam a inexistência de informações nas células da tabela.

Continua...

Fonte: Autora

Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos

Continuação...

OBRA	SISTEMA ESTRUTURAL	FUNDAÇÃO DA LÂMINA (TIPO)	Nº DE PAVIMENTOS TOTAL	MEDIÇÃO (Nº)	Smín (mm)	Smáx (mm)	Sméd (mm)	Nº DIAS A PARTIR DA 1ª LEITURA	ANO DA MEDIÇÃO	OBS	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (Tf)	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (%)	UNIDADE GEOLÓGICA
10	Concreto Armado	Sapatas com melhoramento	20	1	x	x	x	0	2008	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	0,61	2,52	1,26	49	2008	x	F	F	
				3	0,85	3,98	2,40	93	2008	x	F	F	
				4	0,90	5,10	2,81	120	2008	x	F	F	
				5	0,01	6,71	4,05	162	2008	x	2614,04	33,46	
				6	2,64	10,02	5,27	210	2008	x	3326,01	42,59	
				7	2,84	14,94	9,05	324	2009	x	3829,79	49,04	
				8	2,95	15,84	9,62	442	2009	x	4580,05	58,64	
				9	5,44	19,70	12,88	533	2009	x	5302,14	67,88	
				10	6,26	21,88	14,97	630	2009	x	5634,20	72,14	
				11	6,18	22,69	14,81	758	2010	x	5887,23	75,38	
				12	4,40	22,51	14,81	850	2010	x	6025,91	77,15	
				13	5,95	20,00	15,21	940	2010	x	6639,00	85,00	
				14	3,82	22,46	14,84	1177	2011	x	6639,00	85,00	
11	Concreto Armado	Estacas Metálicas	39	1	x	x	x	0	2015	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	0,07	2,47	1,00	59	2015	x	F	F	
				3	1,80	4,59	2,71	121	2015	x	F	F	
				4	1,75	4,42	3,04	184	2015	x	F	F	
				5	3,32	6,24	4,62	242	2015	x	F	F	
				6	4,50	7,76	6,12	304	2016	x	F	F	
				7	4,89	9,07	6,98	364	2016	x	F	F	
12	Concreto Armado	Estacas Metálicas	39	1	x	x	x	0	2015	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	0,85	2,05	1,36	60	2015	x	F	F	
				3	1,50	4,17	3,01	133	2015	x	F	F	
				4	2,43	4,81	3,72	195	2016	x	F	F	
				5	3,05	6,75	5,04	255	2016	x	F	F	
13	Concreto Armado	Pré-moldada de concreto	38	1	x	x	x	0	2006	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	0,10	1,30	0,63	64	2006	x	3109,68	17,31	
				3	0,40	3,10	1,95	124	2006	x	4361,53	24,28	
				4	1,60	4,65	3,43	183	2006	x	5259,50	29,28	
				5	1,85	6,35	4,47	252	2007	x	6338,47	35,28	
				6	3,67	8,56	6,5	329	2007	x	7460,28	41,19	
				7	4,52	10,61	7,87	377	2007	x	8550,49	47,60	
				8	7,22	14,34	11,01	503	2007	x	10115,72	56,31	
				9	9,94	18,36	14,66	742	2008	x	13043,02	72,61	

\*Onde "F" são as informações que não foram informadas nos relatórios de medição de recalques e "x" são representações que indicam a inexistência de informações nas células da tabela.

Continua...

Fonte: Autora

Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos

Continuação...

OBRA	SISTEMA ESTRUTURAL	FUNDAÇÃO DA LÂMINA (TIPO)	Nº DE PAVIMENTOS TOTAL	MEDIÇÃO (Nº)	Smín (mm)	Smáx (mm)	Sméd (mm)	Nº DIAS A PARTIR DA 1ª LEITURA	ANO DA MEDIÇÃO	OBS	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (Tf)	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (%)	UNIDADE GEOLÓGICA
14	Concreto Armado	Sapatas isoladas com melhoramento (argamassa)	33	1	x	x	x	0	2011	Instalação dos Pinos	F	F	PRAIAS
				2	x	x	x	70	2011	x	F	F	
				3	3,07	5,22	4,06	124	2011	x	F	F	
				4	6,18	9,13	7,47	175	2011	x	F	F	
				5	7,73	11,28	9,32	222	2011	x	F	F	
				6	13,13	17,19	14,94	288	2011	x	F	F	
				7	15,90	21,52	18,73	405	2012	x	F	F	
				8	17,35	24,03	21	477	2012	x	F	F	
				9	20,41	25,48	23,27	595	2012	x	F	F	
				10	21,67	24,22	23,31	688	2013	x	F	F	
				11	24,00	26,31	25,32	880	2013	x	F	F	
15	Concreto Armado	Estacas tipo Franki	30	1	x	x	x	0	2009	Instalação dos Pinos	1746,95	10,46	MANGUES
				2	1,36	3,16	2,21	38	2009	x	2787,28	16,68	
				3	3,13	4,83	3,88	71	2009	x	3755,65	22,47	
				4	3,69	6,95	5,03	106	2009	x	4697,73	28,10	
				5	5,09	10,6	7,85	148	2010	x	6012,88	35,97	
				6	8,31	14,67	11,23	185	2010	x	7535,04	45,08	
				7	10,47	19,91	15,6	240	2010	x	8976,72	53,70	
				8	14,78	26,09	20,66	367	2010	x	10154,21	60,75	
				9	17,84	29,87	24,15	533	2011	x	14208,00	85,00	
				10	26,27	29,43	28,16	730	2011	x	14208,00	85,00	
16	Concreto Armado	Estacas metálicas	29	1	x	x	x	0	2015	Instalação dos Pinos	1070,00	8,57	MANGUES
				2	0,16	0,93	0,61	35	2015	x	1650,00	13,22	
				3	2,9	4,18	3,52	72	2015	x	2675,91	21,43	
				4	2,36	3,84	3,04	100	2015	x	3778,91	30,26	
				5	2,43	4,35	3,7	135	2015	x	4804,94	38,48	
				6	F	F	F	F	F	x	F	F	
				7	F	F	F	F	F	x	F	F	
				8	4,06	7,26	5,98	302	2016	x	F	F	
17	Concreto Armado	Sapatas com melhoramento	26	1	x	x	x	0	2005	Instalação dos Pinos	440,40	6,15	MANGUES
				2	1,00	9,50	5,07	36	2005	x	1303,30	18,20	
				3	1,50	9,50	6,10	75	2005	x	2363,13	33,00	
				4	3,00	14,00	9,30	183	2005	x	4776,39	66,70	

\*Onde "F" são as informações que não foram informadas nos relatórios de medição de recalques e "x" são representações que indicam a inexistência de informações nas células da tabela.

Continua...

Fonte: Autora

Tabela 6 – Banco de dados de recalques medidos

Continuação...

FUNDAÇÃO DA LÂMINA (TIPO)	Nº DE PAVIMENTOS TOTAL	MEDIÇÃO (Nº)	Smín (mm)	Smáx (mm)	Sméd (mm)	Nº DIAS A PARTIR DA 1ª LEITURA	ANO DA MEDIÇÃO	OBS	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (Tf)	CARREGAMENTO TOTAL NA DATA DA MEDIÇÃO (%)	UNIDADE GEOLÓGICA
Pré-moldada de concreto	26	1	x	x	x	0	2000	Instalação dos Pinos	22,85	5,41	PRAIAS
		2	0,50	3,50	1,04	34	2000	x	66,28	15,69	
		3	4,00	8,00	5,38	121	2000	x	134,21	31,77	
		4	9,00	14,50	11,47	345	2001	x	238,64	56,49	
		5	14,50	24,00	18,56	486	2001	x	310,50	73,50	
		6	19,50	32,00	25,05	615	2001	x	337,96	80,00	
Sapatas isoladas com melhoramento (areia e brita)	29	1	x	x	x	0	2013	Instalação dos Pinos	F	F	MANGUES
		2	0,98	2,27	1,63	27	2013	x	F	F	
		3	0,09	2,98	1,72	55	2013	x	F	F	
		4	2,30	6,56	4,69	100	2013	x	F	F	
		5	3,73	8,53	6,36	129	2013	x	F	F	
		6	5,22	11,75	8,95	206	2013	x	F	F	
		7	7,04	15,42	11,85	281	2014	x	F	F	
		8	9,91	19,42	15,37	328	2014	x	F	F	
		9	9,94	20,62	16,23	353	2014	x	F	F	
		10	11,40	24,02	18,30	381	2014	x	F	F	
		11	14,17	26,61	21,55	414	2014	x	F	F	
		12	15,19	29,87	24,27	472	2014	x	F	F	
		13	14,41	29,99	24,49	507	2014	x	F	F	
		14	16,30	31,97	26,06	532	2014	x	F	F	
		15	17,50	33,57	27,65	563	2014	x	F	F	
		16	17,99	34,10	28,43	587	2014	x	F	F	
		17	19,54	36,25	29,94	631	2015	x	F	F	
		18	20,63	37,89	32,21	660	2015	x	F	F	
		19	22,67	40,18	33,91	702	2015	x	F	F	
		20	23,39	41,79	35,59	729	2015	x	F	F	
		21	24,83	42,71	36,78	748	2015	x	F	F	
		22	26,22	45,83	40,05	783	2015	x	F	F	
		23	36,06	47,98	41,73	812	2015	x	F	F	
		24	31,12	53,59	47,50	890	2015	x	F	F	

\*Onde "F" são as informações que não foram informadas nos relatórios de medição de recalques e "x" são representações que indicam a inexistência de informações nas células da tabela.

Fonte: Auto

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. Principais conclusões

- Do ponto de vista geológico, o bairro de Boa Viagem está inserido em uma área que possui depósitos sedimentares de Terraços Marinheiros Indiferenciados, Praias, Terraços Marinheiros Pleistocênicos e Mangues, que se desenvolvem entorno dos trechos hídricos que recortam a região.
- Na área analisada, há a predominância de fundações profundas e, nas superficiais existentes, existe uma tendência de serem executadas técnicas de melhoramento do solo com estacas de compactação a fim de aumentar a compacidade do terreno.
- A diversidade de fundações sobre as unidades geológicas presentes permite afirmar que, apesar de influente, a geologia não é um fator decisivo na escolha dos tipos de fundações adotadas;
- O subsolo do local em estudo é bastante heterogêneo, porém, como regra geral, as camadas superficiais são compostas por uma camada de aterro, que possui espessura de até 4 metros, seguida por uma camada de areia / silte arenoso de compacidade fofa a pouco compacta.
- Às proximidades do litoral, há a predominância de camadas arenosas, que se intercalam entre compacidades fofas/pouco compactas e compactas/muito compactas. À medida que se adentra o continente, na direção noroeste, a composição é modificada, dando lugar a sucessivas deposições de argilas moles, que podem alcançar espessuras de até 25 metros.
- Frente à associação entre as fundações existentes e as áreas onde há a presença de solos moles, cujos resultados foram obtidos na análise geotécnica, pode-se constatar que a prática de fundações é fortemente relacionada às características geotécnicas do local em estudo.
- Deve-se frisar, no entanto, que outros fatores, não analisados na pesquisa, também influenciam a escolha dos tipos de fundações utilizadas nas obras e que os mapas confeccionados não excluem a necessidade de prospecção geotécnica nestas, pois constituem apenas expectativas dos materiais presentes e que cada construção tem suas próprias peculiaridades.

- A formação do banco de dados de obras com medições de recalque é uma iniciativa ao desenvolvimento de novos estudos acerca do desempenho das fundações de edifícios e constitui uma importante ferramenta à compreensão dos parâmetros dos solos e formulação de novas metodologias de estimativas de recalque.

## **5.2. Sugestões para pesquisas futuras**

- Empregar metodologias similares, principalmente quanto à confecção de mapas, que possam contribuir, da mesma forma que esta pesquisa foi planejada, ao maior entendimento das características do subsolo e sua relação com a escolha das fundações das obras em outras localidades;
- Incrementar o banco de dados e assim difundir resultados que possam dar suporte ao desenvolvimento de novas metodologias de análise de recalques;
- Rever os limites geológicos do Recife afim de refinar o trabalho desenvolvido por Alheiros et al. (1990a).

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-2:** Edificações habitacionais – desempenho. Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6122:** Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6484:** Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- ALHEIROS, Margareth Mascarenhas. **Riscos de escorregamentos na região metropolitana do Recife.** 1998. 135 p. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.
- ALHEIROS, M. M. et al. **Carta geotécnica da cidade do Recife: Subárea Geologia/Geologia de Engenharia – relatório final.** 1990a. Relatório - Convênio FINEP-FNDCT/LSI-UFPE, 1990a.
- ALHEIROS, M. M. et al. **Carta geotécnica da cidade do Recife: Subárea Geotecnia - relatório final.** 1990b. Relatório - Convênio FINEP-FNDCT/LSI-UFPE, 1990b.
- ALBUQUERQUE, R. C. B. L.; GUSMÃO, A. D. Considerações sobre a relevância da interação solo-estrutura em recalques: caso de um prédio na cidade do Recife. In: SIMPÓSIO DE ENGENHEIROS GEOTÉCNICOS JOVENS, Nova Friburgo, **Anais...** Nova Friburgo, 2006.
- AMORIM JUNIOR, W.M. **Contribuição ao estudo das argilas orgânicas de Pernambuco.** 1975. Dissertação (mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1975.
- ANTONIAZZI, Juliana Pippi. **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais.** 2011. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- AOKI, N. Modelo simples de transferência de carga de estaca vertical sujeita a carga axial de compressão. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE FUNDAÇÕES, Recife, **Anais...** Recife, 1987.
- ARAÚJO, R. C. B. **As praias e os dias: história social das praias do Recife e Olinda.** Fundação de Cultura Cidade do Recife, Recife, 2007.
- BAHIA, Gabriela Athayde Duboc Bahia. **Avaliação do desempenho de fundações em edificação no DF com a utilização de técnicas de interação solo-estrutura.** 2015, 245 p. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- BAHIA, G. A. et al. Avaliação do desempenho de fundações em edifício do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2016.

BASTOS, P. S. dos S. **Sapatas de fundação**. 2016, 123 p. Apostila – Universidade Estadual Paulista, Campos de Bauru, 2016.

BELLO, M.I.M. **Estudo de ruptura em aterros sobre solos moles: aterro do galpão localizado na BR 101 – PE**. 2004, Dissertação (mestrado) – UFPE, Recife, 2004.

CADETE, A.N.M. **Avaliação da resistência não drenada de uma argila orgânica mole do bairro de Chão de Estrelas em Recife-PE**. 2016, Dissertação (mestrado) – UFPE, Recife, 2016.

CARVALHO, J.B.Q. **Algumas propriedades físicas- químicas e de engenharia de uma argila orgânica do Recife**. 1975, Dissertação (mestrado) –UFPB, Campina Grande, 1975.

CARVALHO, C. **Ciência e meio ambiente**. Caderno: Cidades. Jornal do comércio. Recife, 18/03/2012. Disponível em: <http://jconlinedigital.ne10.uol.com.br/assinantes/restrito/>. Acesso em 03 06 2012.

CORDEIRO, José Carlos; CORDEIRO, Adriana Tenório. **Cidade do Recife - ano 2000: REGIÕES POLÍTICO-ADMINISTRATIVAS (RPA)**, 2000. Disponível em: <<http://users.nlink.com.br/~inicordeiro/infurbanas/2000mapadorecifeAdriana.htm>>. Acesso em: 15 maio. 2017.

COUTINHO, R. Q.; BELLO, M. I. M. C.; PEREIRA, A. C. Geotechnical investigation on the Recife soft clays by dilatometer tests. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE FLAT DILATOMETER, 2. 2006. Washington, **Anais...** Washington, 2006.

COUTINHO, R.Q.; FERREIRA, S. R. M. Argilas Orgânicas Moles do Recife - Estudos de Compressibilidade. In: SIMPÓSIO DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DAS BAIXADAS LITORÂNEAS BRASILEIRAS, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, 1988.

COUTINHO, R.Q.; OLIVEIRA, J.T.M.; OLIVEIRA, A.T.J. Geotécnical properties of the Recife soft clays. **Solos e Rochas**. V 23, No 3: 177-203, 2000.

COUTINHO, Roberto Quental; OLIVEIRA, J. T. R. ; SANTOS, L. M. . Database of in Situ Test Results From Recife Soft Clays. **Asce Geotechnical Special Publication, Denver-Colorado**, n.97, p. 142-154, 2000.

CUNHA, H. L. R. et al. Controle de recalque durante a execução de edifícios no Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2014, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2014.

DANZIGER, B. R.; DANZIGER, F. A. B.; CRISPEL, F. A. A. A medida de recalques desde o início da construção como indicador da interação solo x estrutura. In: SIMPÓSIO SOBRE ISE, 2000, São Carlos, **Anais...** São Carlos: USP, 2000. CD ROM.

DANZIGER et al Estudo de Caso de Obra com Análise da Interação Solo Estrutura. **Engenharia Civil UM**, Braga, v.23, p. 43 – 54, 2005.

DIAS, Marianna Silva. **Análise do comportamento de edifícios apoiados em fundação direta no bairro da Ponta da Praia na cidade de Santos.** 2010, 145 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

FERREIRA, S. R. M.; AMORIM JÚNIOR, W. M.; COUTINHO, R. Q. Argila Orgânica Mole do Recife - Banco de Dados. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES - ABMS, 1986, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: ABMS, 1986.

FERREIRA, Silvio Romero de Melo. **Compressibilidade de uma Argila Orgânica do Recife.** 1982. Dissertação (mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1982.

FERREIRA, S. R. M.; COUTINHO, R. Q. Banco de dados de solos orgânicos moles do Recife. In: Simpósio sobre aplicações de microcomputadores em geotecnia, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, 1988a.

FERREIRA, S. R. M.; COUTINHO, R. Q. Quantificação do efeito de amolgamento nas características de compressibilidade de argila mole – Rio de Janeiro e Recife. In: SIMPÓSIO DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS DAS BAIXADAS LITORÂNEAS BRASILEIRAS, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro, 1988b.

GENEVOIS, B.; COUTINHO, R.Q.; FERREIRA, S. Desenvolvimento do Banco de Dados Geotécnicos da Cidade do Recife. In: IX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador, 1990.

GENEVOIS, B.; OLIVEIRA, G. M. P. Aplicação de geoestatística. **Geotecnia no Nordeste.** Gusmão, A. D., Gusmão Filho, J. A., Oliveira, J. T. R., Maia, G. B. (Orgs). Editora Universitária da UFPE, Recife, 2005.

GEOFIX. Serviços. Disponível em: <http://www.geofix.com.br/servico-ehc.php>. Acesso em: 12 dez. 2017.

GERDAU. **Estacas metálicas GERDAU – Coletânea do uso do aço.** 2008. Relatório técnico. Perfil Aço Minas, 3º ed., 2008.

GONÇALVES, Juliane Cristina. **Avaliação da influência dos recalques das fundações na Variação de cargas dos pilares de um edifício.** 2004, 126 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

GONÇALVES, J. C. et al. The influence of the foundation settlements on the columns loads of a building. **Soilsand Rocks**, São Paulo, v.30, n.3, p. 149 – 159, 2007.

GONÇALVES, R. M. et al. Urbanização costeira e sombreamento na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, Santiago, v. 54, p. 241 – 255, 2013.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. ; VIEIRA, S. R. . Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Bernardi, Alberto Carlos de Campos; Naime, João de Mendonça; Resende, Álvaro Vilela de.; Bassoi, Luis Henrique; Inamasu, Ricardo Yassushi.. (Orgs.). Embrapa, Brasília, DF, 2014, v. 1, 2 ed. p. 74-83.

GUSMÃO, A. D. Aspectos relevantes da interação solo-estrutura em edificações. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 17, n. 1, p 47 – 55, 1994.

GUSMÃO, Alexandre Duarte. **Estudo da interação solo-estrutura e sua influência em recalques de edificações**. 1990, 165 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

GUSMÃO, Alexandre Duarte – Notas de aula da disciplina de Fundações. Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco, Recife, 2017.

GUSMÃO, A. D. Desempenho de fundações de edifícios. In: COBRAMSEG, 2006. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2006.

GUSMÃO, A. D. Prática de Fundações no Recife. **Geotecnia no Nordeste**. Gusmão, A. D., Gusmão Filho, J. A., Oliveira, J. T. R., Maia, G. B. (Orgs). Editora Universitária da UFPE, Recife, 2005.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; MAIA, G. B. Interação solo-estrutura em um edifício com fundação em terreno melhorado. In: SIMPÓSIO SOBRE ISE, 2000, São Carlos: Anais... São Carlos: USP, 2000. CD ROM.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; PACHECO, J. L. Interação solo-estrutura em um edifício com fundação em terreno melhorado. In: SIMPÓSIO SOBRE ISE, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2000. CD ROM.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Fundações do conhecimento geológico à prática de engenharia**. Ed. Universitária da UFPE, Recife, 1998.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Contribuição à prática de fundações: a experiência do Recife**. 1995, 251 p. Tese para concurso público para Professor Titular - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1995.

GUSMÃO FILHO, J.A.; GUSMÃO, A.D. Contribuição ao estudo do melhoramento de terrenos arenosos. In: 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador, 1990.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatísticas: Censo 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=downloads>. Acesso em: 02 mai. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas populacionais para os municípios e para unidades da federação brasileiros em 01.07.2016. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa\\_dou.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm). Acesso em: 14 nov. 2016.

LUCENA, A. E. F. L.; BEZERRA, L. R.L.; GUSMÃO, A. D. Monitoramento de recalques de edifícios sobre fundações diretas desde o início da construção e avaliação da interação solo-estrutura. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 215 – 229, set – dez, 2004.

MAGAROTTO, M. G. et al. Vertical growth in a coastal city: an analysis of Boa Viagem (Recife, Brazil). **Journal of Coastal Conservation (Springer Science & Business Media B.V.)**, v. 20, p. 31 – 42, 2016.

MAIA, C. M.M. Estacas tipo Franki. **Fundações: teoria e prática**. Hachich, V. et al. Ed. Pini, São Paulo, 1998.

MAIA, P. C. A.; BARROS, R. A.; JUNIRO, F. F. A. Avaliação da interação solo-estrutura através da monitoração de recalques. **Revista Luso-Brasileira de Geotécnica**, Lisboa, n.121, p. 53 – 70, mar. 2011.

MENDES, R. S. Interação solo-estrutura e sua influência na análise estrutural de edifícios em concreto armado. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, v.1, n.10, dez. 2015. Disponível em: <HTTPS://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=robson-dos-santos-mendes-0613116.pdf>. Acesso em: 21 set. 2016.

OLIVEIRA, A.T.J. **Uso de um equipamento eletrônico de palheta em argilas do Recife**. 2000. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

OLIVEIRA, G. M. P. **Estudos geoestatísticos aplicados às argilas orgânicas de três subáreas da região sul do Recife**. 2001. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2001.

OLIVEIRA, J.T.R. **A Influência da Qualidade da Amostra no Comportamento Tensão-Deformação – Resistência de Argilas Moles**. 2002. Tese (doutorado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

OLIVEIRA, J.T.R. **Ensaio de Piezocone em um depósito de Argila Mole na Cidade do Recife**. 1991. Dissertação (mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

OLIVEIRA, M. S. **Solos da planície do Recife – uma visão panorâmica**. 2015, 91 p. Projeto final de curso (TCC). Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife, 2015.

OLIVEIRA, M. S. et al. Identificação e classificação de perfis típicos na planície do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18., 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2016.

OLIVEIRA, Pedro Eugênio Silva de. **Análise de provas de carga e confiabilidade para edifício comercial na região metropolitana do Recife**. 2013, 165 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

OLIVEIRA JÚNIOR, Rômulo Fontoura. **Desempenho de um edifício de múltiplos andares**. 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2010.

PARAMONOV, V.N.; SHASHKIN, C. G.; VASENIN, V.A. Overall regularities of soil-structure interaction. In: 16 th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING, 2005, Osaka – Japão. **Anais...** Osaka: Milpress Science Publishers, 2005.

POULOS, H. G. Tall buildings foundations: design methods and applications. **Innovative Infrastructure Solutions**, Australia, 2016.

PULIKANTI, S.; PRADEFP, K. R. SSI Analysis of framed structures supported on pile foundations: a review. **Frontier in Geotechnical Engineering**, Terre Haute – Estados Unidos. v.3, n.1, p. 10 – 16 mar. 2014.

RECIFE. Recife para sempre: informações. Disponível em: <http://www.turismonorecife.com.br/pt-br/informacoes-importantes/clima-e-temperatura>. Acesso em: 06 ago. 2017.

ROCHA, F.M.A. **Compressibilidade de uma Argila Orgânica Mole do Bairro de Chão de Estrelas em Recife-PE**. 2016, Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.

SALOMÃO, T. S.; FAGGION, P.L. Monitoramento de recalques sofridos no edifício The Royal Plaza. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2008, Recife: **Anais...** Recife: SIMGEO, 2008.

SANTOS, R.A.M. **Análise dos tipos de Fundações na Região Metropolitana do Recife de 2000 a 2010**. 2011, Projeto Final de Curso (TCC). Escola Politécnica de Pernambuco (UPE), Recife, 2011.

SAVARIS, Gustavo. **Monitoração de recalques de um edifício e avaliação da interação solo-estrutura**. 2008, 177 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

SAVARIS, G. HALLAK, P. H.; MAIA, P. C. A. Influence of foundation settlements in load redistribution on columns in a monitoring construction – case study. **Revista de estruturas e materiais**, Campinas, v.3, n.3, p. 346 – 356, set. 2010.

SAVARIS, G.; HALLAK, P. H.; MAIA, P. C. A. Understanding the mechanism of static soil-structure interaction – a case study. **Soils and Rocks**, São Paulo, v.34, n.3, p. 195 – 206, 2011.

SOARES, V.B. **Propriedades de Resistência de uma argila orgânica do Recife**, 1975, 64 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1975.

SOARES, W. C. **Estacas de compactação para melhoria de solo**. 2002, 133p. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SOUZA, J. L.; CORRÊA, A. C. B; SILVA, O. G. Compartimentação geomorfológica da planície do Recife, Pernambuco, Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, Recife, v. 34, n. 1, p. 147 – 168, mar. 2017.

TEIXEIRA, Dílson Corrêa Lima. **Características Geotécnicas dos Depósitos de Argila Mole do Recife a Influência da Matéria Orgânica**. 1972, Dissertação (Mestrado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1972.

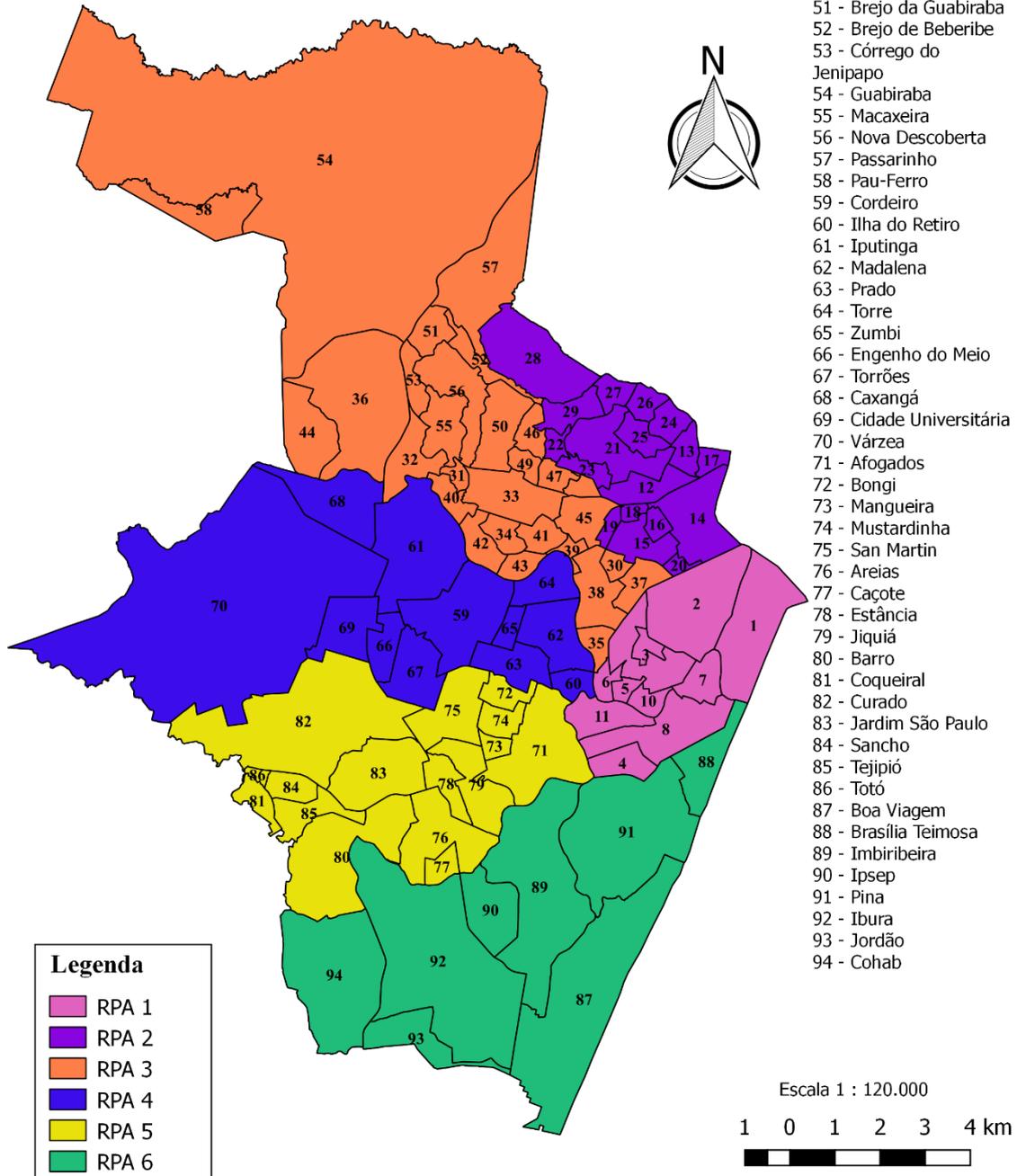
VELLOSO, D.A; LOPES, F.R. **Fundações**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

ZHANG, L.; NG, A. M. Y. Probabilistic limiting tolerable displacements for serviceability limit state design of foundations. **Géotechnique** **55**, n. 2, p. 151 – 161, 2005.

**ANEXOS**

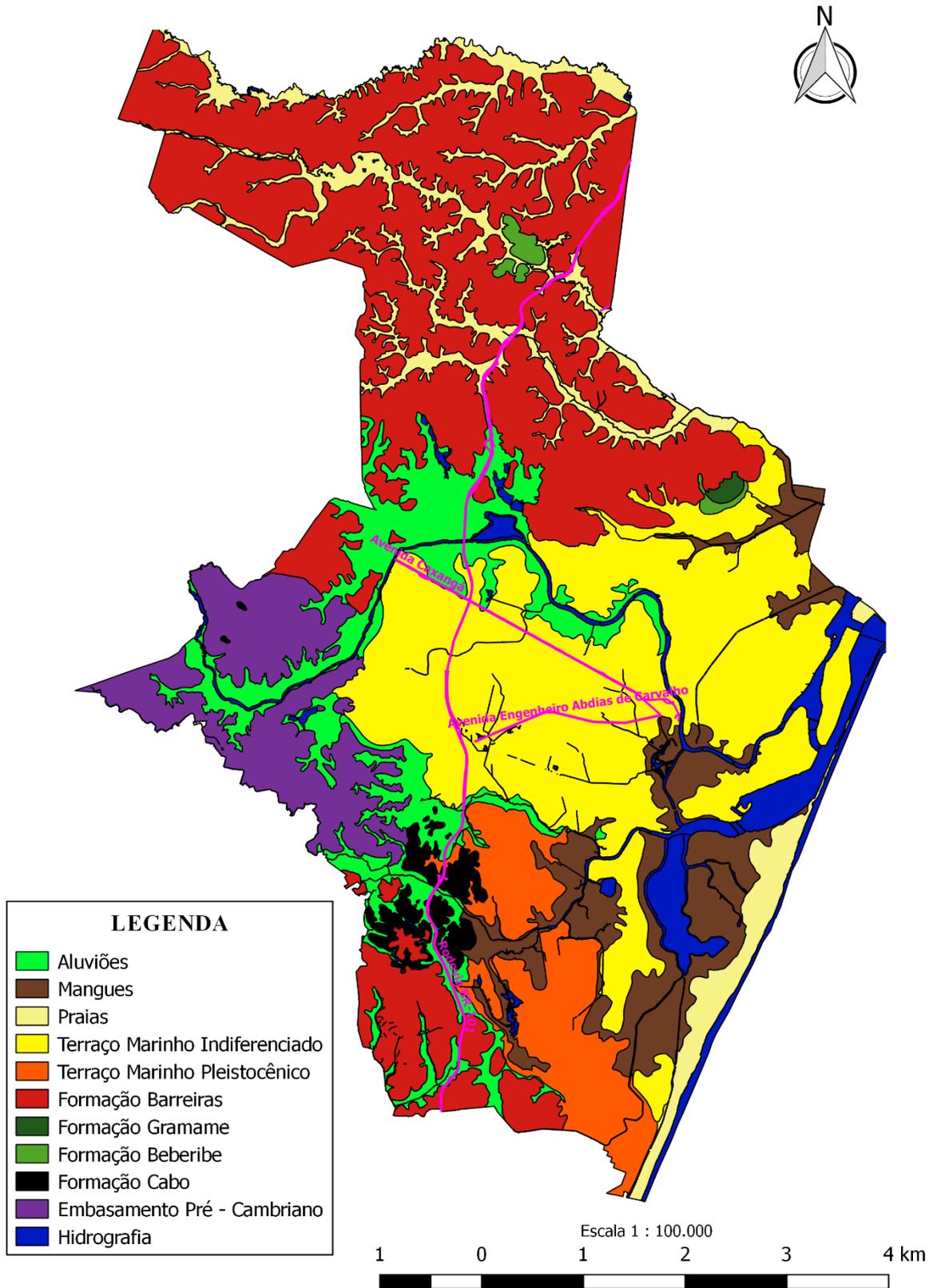
## ANEXO 1 – BAIRROS E REGIÕES POLÍTICO-ADMINISTRATIVAS DA CIDADE DO RECIFE

- |                      |                         |                           |                    |                           |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 - Bairro do Recife | 11 - Ilha Joana Bezerra | 21 - Água Fria            | 31 - Alto do Mandu | 41 - Parnamirim           |
| 2 - Santo Amaro      | 12 - Arruda             | 22 - Alto Santa Teresinha | 32 - Apipucos      | 42 - Poço                 |
| 3 - Boa Vista        | 13 - Campina do Barreto | 23 - Bomba do Hemetério   | 33 - Casa Amarela  | 43 - Santana              |
| 4 - Cabanga          | 14 - Campo Grande       | 24 - Cajueiro             | 34 - Casa Forte    | 44 - Sítio dos Pintos     |
| 5 - Ilha do Leite    | 15 - Encruzilhada       | 25 - Fundão               | 35 - Derby         | 45 - Tamarineira          |
| 6 - Paissandu        | 16 - Hipódromo          | 26 - Porto da Madeira     | 36 - Dois Irmãos   | 46 - Alto José Bonifácio  |
| 7 - Santo Antônio    | 17 - Peixinhos          | 27 - Beberibe             | 37 - Espinheiro    | 47 - Alto José do Pinho   |
| 8 - São José         | 18 - Ponto de Parada    | 28 - Dois Unidos          | 38 - Graças        | 48 - Mangabeira           |
| 9 - Soledade         | 19 - Rosarinho          | 29 - Linha do Tiro        | 39 - Jaqueira      | 49 - Morro da Conceição   |
| 10 - Coelhoos        | 20 - Torreão            | 30 - Aflitos              | 40 - Monteiro      | 50 - Vasco da Gama        |
|                      |                         |                           |                    | 51 - Brejo da Guabiraba   |
|                      |                         |                           |                    | 52 - Brejo de Beberibe    |
|                      |                         |                           |                    | 53 - Córrego do Jenipapo  |
|                      |                         |                           |                    | 54 - Guabiraba            |
|                      |                         |                           |                    | 55 - Macaxeira            |
|                      |                         |                           |                    | 56 - Nova Descoberta      |
|                      |                         |                           |                    | 57 - Passarinho           |
|                      |                         |                           |                    | 58 - Pau-Ferro            |
|                      |                         |                           |                    | 59 - Cordeiro             |
|                      |                         |                           |                    | 60 - Ilha do Retiro       |
|                      |                         |                           |                    | 61 - Iputinga             |
|                      |                         |                           |                    | 62 - Madalena             |
|                      |                         |                           |                    | 63 - Prado                |
|                      |                         |                           |                    | 64 - Torre                |
|                      |                         |                           |                    | 65 - Zumbi                |
|                      |                         |                           |                    | 66 - Engenho do Meio      |
|                      |                         |                           |                    | 67 - Torrões              |
|                      |                         |                           |                    | 68 - Caxangá              |
|                      |                         |                           |                    | 69 - Cidade Universitária |
|                      |                         |                           |                    | 70 - Várzea               |
|                      |                         |                           |                    | 71 - Afogados             |
|                      |                         |                           |                    | 72 - Bongi                |
|                      |                         |                           |                    | 73 - Mangueira            |
|                      |                         |                           |                    | 74 - Mustardinha          |
|                      |                         |                           |                    | 75 - San Martin           |
|                      |                         |                           |                    | 76 - Areias               |
|                      |                         |                           |                    | 77 - Caçote               |
|                      |                         |                           |                    | 78 - Estância             |
|                      |                         |                           |                    | 79 - Jiquiá               |
|                      |                         |                           |                    | 80 - Barro                |
|                      |                         |                           |                    | 81 - Coqueiral            |
|                      |                         |                           |                    | 82 - Curado               |
|                      |                         |                           |                    | 83 - Jardim São Paulo     |
|                      |                         |                           |                    | 84 - Sancho               |
|                      |                         |                           |                    | 85 - Tejiópio             |
|                      |                         |                           |                    | 86 - Totó                 |
|                      |                         |                           |                    | 87 - Boa Viagem           |
|                      |                         |                           |                    | 88 - Brasília Teimosa     |
|                      |                         |                           |                    | 89 - Imbiribeira          |
|                      |                         |                           |                    | 90 - Ipsep                |
|                      |                         |                           |                    | 91 - Pina                 |
|                      |                         |                           |                    | 92 - Ibura                |
|                      |                         |                           |                    | 93 - Jordão               |
|                      |                         |                           |                    | 94 - Cohab                |



Fonte: Adaptado de Cordeiro e Cordeiro (2000)

ANEXO 2 – MAPA GEOLÓGICO DO RECIFE



Fonte: Adaptado de Alheiros et al. (1990a)