



**CENTRO UNIVERSITÁRIO RITTER DOS REIS**  
**ÂNIMA EDUCAÇÃO**  
**FERNANDA LOPES LINDE**

**RECALQUE DOS PRÉDIOS NA CIDADE DE SANTOS-SP – Estudo bibliográfico**  
**sobre suas causas**

Porto Alegre  
2023

**FERNANDA LOPES LINDE**

**RECALQUE DOS PRÉDIOS NA CIDADE DE SANTOS-SP – Estudo bibliográfico  
sobre suas causas**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário Uniritter, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Enio Ricardo Dorvil Coelho, especialista.

Porto Alegre  
2023

**FERNANDA LOPES LINDE**

**RECALQUE DOS PRÉDIOS NA CIDADE DE SANTOS-SP – Estudo bibliográfico  
sobre suas causas**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Ritter dos Reis.

Porto Alegre, RS, 12 de junho de 2023.

Professor e Orientador Enio Ricardo Dorvil Coelho, Eng<sup>o</sup> Civil  
Centro Universitário Ritter dos Reis

Professor Me. Luciano Herbstrith Bessauer  
Centro Universitário Ritter dos Reis

Dedico este Trabalho aos meus pais, que durante toda minha trajetória estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando, vezes com palavras de carinho e vezes com ajuda financeira. Ao meu marido, que foi um dos maiores incentivadores e me motivou a finalizar a graduação. Ao meu filho, que está a caminho, mas já me dá muita força para atravessar obstáculos e procurar sempre a minha melhor versão, e, ao meu professor e orientador por toda a paciência e colaboração para que esta pesquisa fosse possível.



## RESUMO

O Trabalho refere-se aos problemas ocasionados por recalques diferenciais ocorridos nos prédios da Orla Santista. Desenvolvido através de um estudo bibliográfico sobre suas causas pode-se identificar os motivos que levaram a desaprumos tão alarmantes, sendo que, em alguns prédios, a inclinação foi de 2.2° e 120 centímetros de inclinação, trazendo vários prejuízos aos moradores. Os prédios foram construídos em 1940 e a partir de 1950 já se tinha o conhecimento que estes poderiam sofrer recalques nas fundações. Os principais aspectos geotécnicos que contribuíram para estas patologias foram: as oscilações negativas do nível do mar, ação de dunas de areia e o envelhecimento das argilas marinhas e bulbo de tensões. Como aspectos construtivos, destaca-se que naquela época haviam limitações para execução de fundações profundas e mais tarde, quando haviam recursos para execução de tais fundações, os empresários da época julgaram financeiramente inviável, sendo então, executado fundações rasas acreditando que, naquela localidade, havia apenas areia compactada no solo e sem levar em consideração a grande camada de argila marinha que havia em baixo, solo este, considerado o pior para construção civil. Após anos de estudo sobre como resolver os problemas de recalques diferenciais deu-se início a uma das maiores obras de engenharia: o reaprumo do bloco B do Edifício Nuncio Manzoni, porém, hoje em dia, ainda existem prédios que não foram reaprumados devido ao custo elevado de tal intervenção.

Palavras-chave: Recalque. Argila marinha. Fundações.

## **ABSTRACT**

The Work refers to the problems caused by differential settlements that occurred in the buildings of Orla Santista. Developed through a bibliographical study on its causes, it is possible to identify the reasons that led to such alarming deviations, and, in some buildings, the inclination was 2.2° and 120 centimeters of inclination, causing several damages to the residents. The buildings were built in 1940 and from 1950 it was already known that they could suffer repression in the foundations. The main geotechnical aspects that contributed to these pathologies were: negative sea level oscillations, action of sand dunes and the aging of marine clays and stress bulbs. As constructive aspects, it is highlighted that at that time there were limitations for the execution of deep foundations and later, when there were resources for the execution of such foundations, the entrepreneurs of the time judged it financially unfeasible, being then executed shallow foundations believing that, in that locality, there was only compacted sand on the ground and without taking into account the large layer of marine clay that was below, this soil, considered the worst for civil construction. After years of studying how to solve the problems of differential settlements, one of the greatest engineering works began: the rearrangement of block B of the Nuncio Manzoni Building, however, today, there are still buildings that have not been rearranged due to the cost high of such an intervention.

Keywords: Repression. Marine clay. Foundations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Bairro ponta da praia	13
Figura 2.2	Porto de Santos em 1939	14
Figura 2.3	Cidade de Santos em 1956	14
Figura 2.4	Prédios inclinados na orla de Santos	15
Figura 2.5	Planícies costeiras quaternárias do litoral Paulista	16
Figura 2.6	Estádios de transgressão do mar	17
Figura 2.7	Perfil geotécnico da orla de Santos	18
Figura 2.8	Perfil geotécnico da orla de Santos adaptado por Massad	18
Figura 2.9	Duna existente no bairro Ponta da Praia, século XX	19
Figura 2.10	Antigo Forte Augusto transformado em Museu de Pesca	20
Figura 2.11	Atual Museu de Pesca	20
Figura 2.12	Exemplo de construção de um edifício onde existia uma duna	21
Figura 2.13	Sondagem a trado manual	23
Figura 2.14	Sondagem a trado mecânico	23
Figura 2.15	Sondagem à percussão mecânica	24
Figura 2.16	Sondagem à percussão manual	24
Figura 2.17	Sondagem rotativa	25
Figura 2.18	Ensaio de penetração do cone - CPT	26
Figura 2.19	Poços de inspeção	27
Figura 2.20	Sondagem por trincheiras	27
Figura 2.21	Sapata isolada	29
Figura 2.22	Sapata associada	29
Figura 2.23	Sapata corrida	30
Figura 2.24	Sapata alavancada	30
Figura 2.25	Fundação em pedra grês	31
Figura 2.26	Fundação com alvenaria	31
Figura 2.27	Fundação com bloco de concreto	32
Figura 2.28	Fundação com radier	32
Figura 2.29	Tubulão	33
Figura 2.30	Modelo de caixões	34
Figura 2.31	Transferência de cargas através da estaca	35
Figura 2.32	Bulbo de tensões para carga concentrada	36

Figura 2.33	Bulbo de tensões para carga de 10 kN	36
Figura 2.34	Bulbo de tensões para carga distribuída	37
Figura 2.35	Equação referente a profundidade do bulbo de tensões	37
Figura 2.36	Tabela com valores de $\alpha$	38
Figura 2.37	Sobreposição de tensões	38
Figura 2.38	Edifícios tortos causados pela ausência de fundações profundas	41
Figura 2.39	Prédios tortos em Santos	42
Figura 2.40	Prédios tortos em Santos	42
Figura 4.1	Vista interna de uma janela do prédio Núncio Malzoni	44
Figura 4.2	Planta baixa da distribuição das novas estacas	46
Figura 4.3	Projeto de corte das novas estacas	46
Figura 4.4	Projeto de localização dos pilares	47
Figura 4.5	Recalque dos pilares externos frontais	48
Figura 4.6	Recalque pilares do fundo Bloco B	48
Figura 4.7	Recalque pilares laterais e centrais	49
Figura 4.8	Tabela velocidade dos recalques x Ano	50
Figura 4.9	Recalques diferenciais frontal e lateral	50
Figura 4.10	Pilares com consoles criados para instalação dos macacos auxiliares	51
Figura 4.11	Antes x Depois de reaprumar o Bloco B	52
Figura 4.12	Pedaço de armadura a ser colocada no pilar	52
Figura 4.13	Nicho no pilar preenchido com a nova armadura de ligação	53
Figura 4.14	Nicho de pilar com armadura de ligação e macacos auxiliares	53
Figura 4.15	Nicho de pilar com armadura de ligação	54
Figura 4.16	Nicho de pilar com forma para concretagem da ligação dos pilares	54

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 4.17	Vantagens e desvantagens das alternativas executadas	55
-------------	--	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	13
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	13
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	13
1.4	JUSTIFICATIVA	13
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	15
2.1	A HISTÓRIA DE SANTOS	15
2.2	TIPOS DE SOLO NA ORLA DA PRAIA	17
2.3	ASPECTOS GEOTÉCNICOS	21
2.4	ENSAIOS DE SONDAÇÃO E TIPOS DE FUNDAÇÕES	24
<b>2.4.1</b>	<b>Caracterização dos ensaios de sondagem</b>	24
<b>2.4.2</b>	<b>Tipos de fundações</b>	30
2.5	BULBO DE TENSÕES	37
<b>2.5.1</b>	<b>Sobreposição de tensões</b>	40
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	41
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	41
3.2	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DA COLETA DE DADOS	42
<b>3.2.1</b>	<b>Definição operacional das variáveis</b>	42
<b>3.2.2</b>	<b>Técnicas para a coleta dos dados</b>	42
<b>3.2.3</b>	<b>Descrição dos instrumentos utilizados</b>	42
3.3	DADOS COLETADOS	42
<b>3.3.1</b>	<b>Fundações adotadas na orla de Santos</b>	42
<b>3.3.2</b>	<b>Dados coletados</b>	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	46
4.1	APRESENTAÇÃO DE CASOS RESOLVIDOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	46
<b>4.1.1</b>	<b>Solução implementada</b>	53
4.2	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	56
4.3	DISCUSSÃO	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	59

**REFERÊNCIAS**

## 1 INTRODUÇÃO

Neste Trabalho de conclusão abordaremos as causas que levaram os prédios da Cidade de Santos, mais especificamente, na Orla Santista, a sofrerem recalques diferenciais, causando deformações de 2.2º em alguns prédios.

Através de um estudo bibliográfico, verificamos os motivos que levaram a ocorrência destes recalques e as soluções encontradas para tais problemas ocorridos.

A metodologia empregada para satisfação deste Trabalho foi a pesquisa bibliográfica, utilizando como referência engenheiros que trabalharam na solução dos prédios inclinados.

Dividimos este Trabalho em 7 partes, apresentando a História de Santos, tipos de solos na Orla da Praia, aspectos geotécnicos, ensaios de sondagem e tipos de fundações, bulbo de tensões, apresentação de casos resolvidos e técnicas utilizadas.

### 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com Maffei (2003), a cidade de Santos tem solo de má qualidade para construção de edifícios tendo em vista a grande faixa de argila marinha mole em seu subsolo, exigindo assim, a execução de fundações profundas o que aumenta o custo das construções.

Ainda conforme o mesmo autor, os edifícios construídos entre os anos de 1940 e 1960 passaram a afundar a partir de 1970 na Orla de Santos. Ao todo 94 prédios tiveram sua estrutura comprometida por conta das fundações rasas executadas.

Diante do exposto acima, este Trabalho se propõe a buscar por respostas para a seguinte questão de pesquisa: Quais os fatores determinantes que contribuíram para o recalque dos prédios, e, o que foi feito para solucionar estes problemas?

### 1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para buscar as respostas ao problema de pesquisa será estudado a região de Santos, localizada na área da Baixada Santista, próximo a cidade de São Paulo, trecho entre a Avenida Bernardino de Campos e a Ponta da Praia.

### 1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir.

#### 1.3.1 Objetivo geral

O Trabalho proposto tem por objetivo principal analisar porquê ocorreram os recalques sofridos nos prédios ao longo da Orla de Santos e verificar o quais foram as soluções encontradas para este problema.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar as bibliografias disponíveis sobre o tema;
- Identificar tipos de fundações e sondagem sobre os diferentes tipos de solo;
- Analisar os diferentes trechos da Orla santista e como se comportam as estruturas;
- Buscar na bibliografia as respostas sobre o problema do solo;
- Analisar como e, se foram solucionados os problemas de recalque das estruturas.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O dimensionamento correto das fundações é o ponto crucial para uma obra bem executada.

Deve-se pensar que as fundações irão receber toda a carga da estrutura e que sua função principal é amortecer esta carga e transferi-la para o solo sem causar impactos na construção.

A motivação para a pesquisa deste Trabalho deu-se, principalmente, pela curiosidade da autora sobre os motivos que favoreceram ao afundamento, recalque, dos prédios na Orla de Santos, sendo que, alguns sofreram até 2.2º de inclinação.

Além do estudo sobre as causas do recalque sofrido pelas estruturas, a autora busca esclarecer quais medidas foram tomadas para resolução deste problema.

Trazendo com isso, métodos construtivos inovadores que estão sendo aplicados em outro Estado e que podemos, se necessário, utilizá-los como referência.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A HISTÓRIA DE SANTOS

De acordo com Cerqueira (2000) no início do ano de 1502 foram descobertos o litoral Paulista e a Ilha de São Vicente, tornando a cidade de Santos uma das mais antigas do Brasil. Martim Afonso de Sousa deu início a colonização em 1532, oficialmente.

Ainda segundo a mesma autora, em 1546, Santos era considerado uma pequena Vila e seguiu assim até início do século XIX. Em meados de 1830, com o deslocamento do centro dinâmico da economia cafeeira para o Planalto Paulista, o porto de Santos assumiu melhor posição na economia nacional. Abaixo registro fotográfico da cidade de Santos no início da sua colonização.

Figura 2.1 – Bairro Ponta da Praia



Fonte: Desconhecido (sem data)

Sendo assim, afirma Cerqueira (2000) que o crescimento e a riqueza da cidade de Santos devem-se a posição do porto e ao eixo que a cidade forma com São Paulo, tendo em vista que até hoje a maior parte das exportações brasileiras passam pelo porto de Santos.

De acordo com Barbosa (2000), para que se tenha uma ideia da dimensão do porto, em 1897 foram embarcadas seis milhões de sacas de café e alguns anos depois

chegou a monopolizar 95% do volume total de exportações do Brasil. De 1880 à 1929, quando houve a crise do capitalismo mundial, a produção de café declinou, neste período o Brasil respondia por três quartos do comércio mundial de café.

Ainda segundo o mesmo autor, foi inaugurado em 1892, o primeiro trecho de 260 metros do cais do porto pela Companhia Docas de Santos, e em 1922, a sede da Bolsa Oficial do café, construída pela Associação Comercial de Santos.

Abaixo registro fotográfico do porto de Santos em 1939, já com sua estrutura ampliada devido as obras de melhorias para ampliação do porto.

Figura 2.2 – Porto de Santos em 1939



Fonte: Sophia Pretzel Waldheim (1939)

Abaixo registro fotográfico da cidade de Santos em 1956 onde podemos ver a expansão que tomara.

Figura 2.3 – Cidade de Santos em 1956



Fonte: Desconhecido (1956)

Porém, segundo Maffei (2006) Santos não é conhecido apenas por ter um dos principais portos do País, ficou conhecido também pelos seus prédios tortos ao longo da orla Santista. Prédios estes, que despertaram curiosidades e também medo e incertezas a partir de 1970 quando iniciou-se o fenômeno chamado recalque de fundações.

Ao todo foram 94 (noventa e quatro) prédios que tiveram recalque considerado acima do permitido, alguns atingiram até 2.2º de inclinação e 120 cm fora de prumo. Conforme a foto abaixo podemos identificar com clareza estas inclinações.

Figura 2.4 – Prédios inclinados na orla de Santos



Fonte: Danilo Verpa (2012)

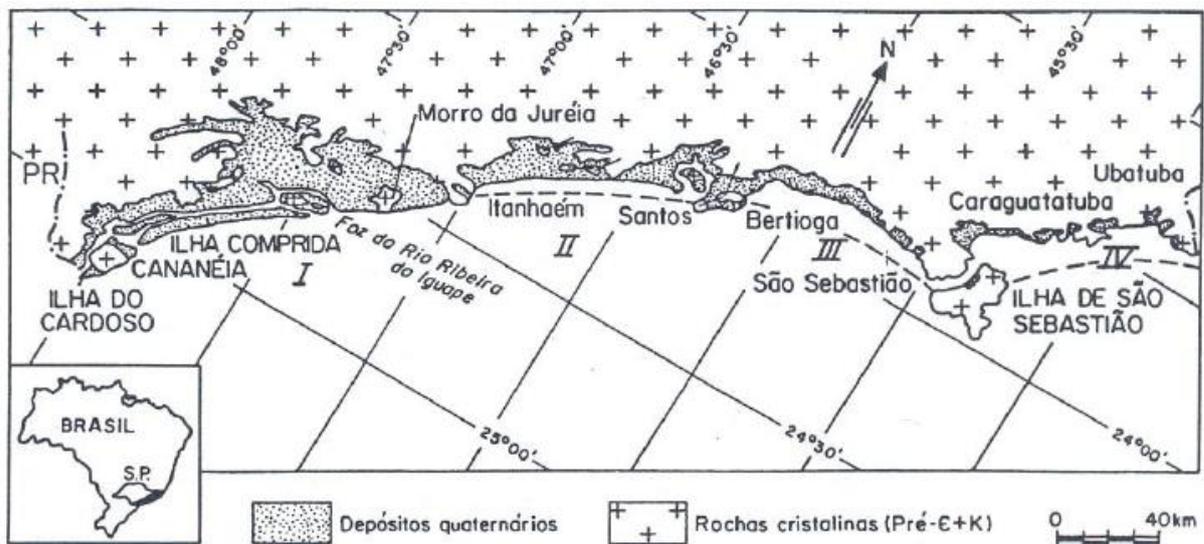
## 2.2 TIPOS DE SOLO NA ORLA DA PRAIA

De acordo com Massad (2009), a Baixada Santista sempre foi um desafio para engenharia civil, isto por conta da forma generalizada que as argilas marinhas ocupavam ao longo da planície costeira Santista, além de haver camadas uniformes e compactas de areias finas, com espessuras variáveis na cidade de Santos.

Segundo Vargas (1965), os primeiros estudos sobre as argilas marinhas foram desenvolvidos em Santos, Rio de Janeiro e em Recife de acordo com o seu relato sobre *As propriedades dos solos*, que foi apresentado no V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, até então acreditava-se que este solo era formado por um processo simples de sedimentação, de forma contínua e ininterrupta, porém, a Baixada Santista revelava argilas rijas e duras, altamente sobreadensadas sendo assim, estes casos passaram a ser chamados de casos inusitados.

Do ponto de vista de Suguio e Martin (1978 e 1994), Santos é caracterizado por planícies sedimentares, separadas por rochas elevadas do embasamento cristalino pré-cambriano. Os limites deste embasamento foram definidos, do sul para o norte, de acordo com estes autores, em cinco unidades morfológicas: Cananéia/Iguape, Itanhaém/Santos, Bertioga/Ilha de São Sebastião, Caraguatatuba/Ubatuba e Baía de Ilha Grande, onde, ao sul encontra-se preenchida de depósitos quaternários e a orla da praia é praticamente retilínea, já ao norte, quase não são encontrados depósitos quaternários nas planícies. Na imagem a seguir podemos ter mais clareza para visualização da disposição das cinco unidades morfológicas.

Figura 2.5 – Planícies costeiras quaternárias do litoral Paulista



Fonte: Suguio e Martin (1994)

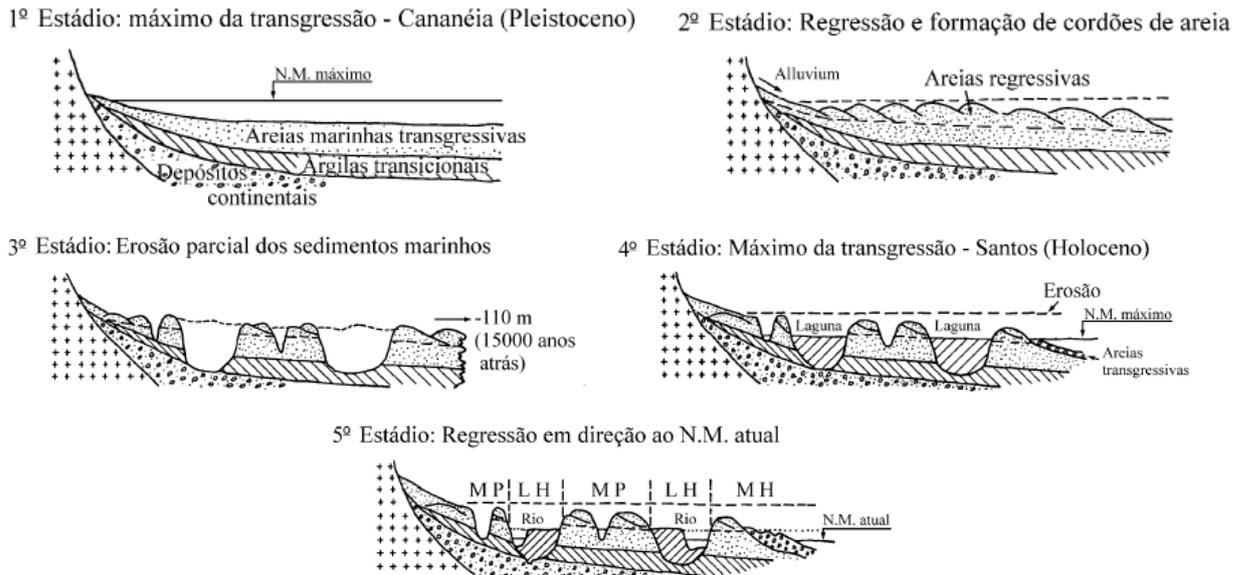
Suguio (1978), defende que as flutuações do nível relativo do mar, durante o período quaternário, foram muito importantes na evolução das planícies costeiras do Brasil. A Transgressão Cananéia (Pleistoceno) e a Transgressão Santos (Holoceno) foram duas ingressões do mar em direção a terra e deram origem em dois tipos diferentes de sedimentos: argilas transicionais (AT) e os sedimentos flúvio-lagunares (SFL).

O autor explica que as argilas transicionais (AT) apresentem material argiloso ou arenoso na sua base e, arenoso no seu topo. Os sedimentos flúvio-lagunares (SFL) foram formados pelo retrabalho das areias e argilas na formação Cananéia. As argilas SFL são levemente sobre-adensadas devido as oscilações negativas do nível do mar.

Suguio e Martin (1981) defendem que as variações do nível do mar durante o quaternário respondem pela sedimentação das planícies costeiras brasileiras. As

argilas transicionais (AT) foram os primeiros sedimentos depositados há 100.000~120.000 anos, em ambiente misto, continental e marinho, chamadas também de Areias Transgressivas. Na imagem a seguir podemos ver os estádios de transgressão do nível do mar.

Figura 2.6 – Estádios de transgressão do mar



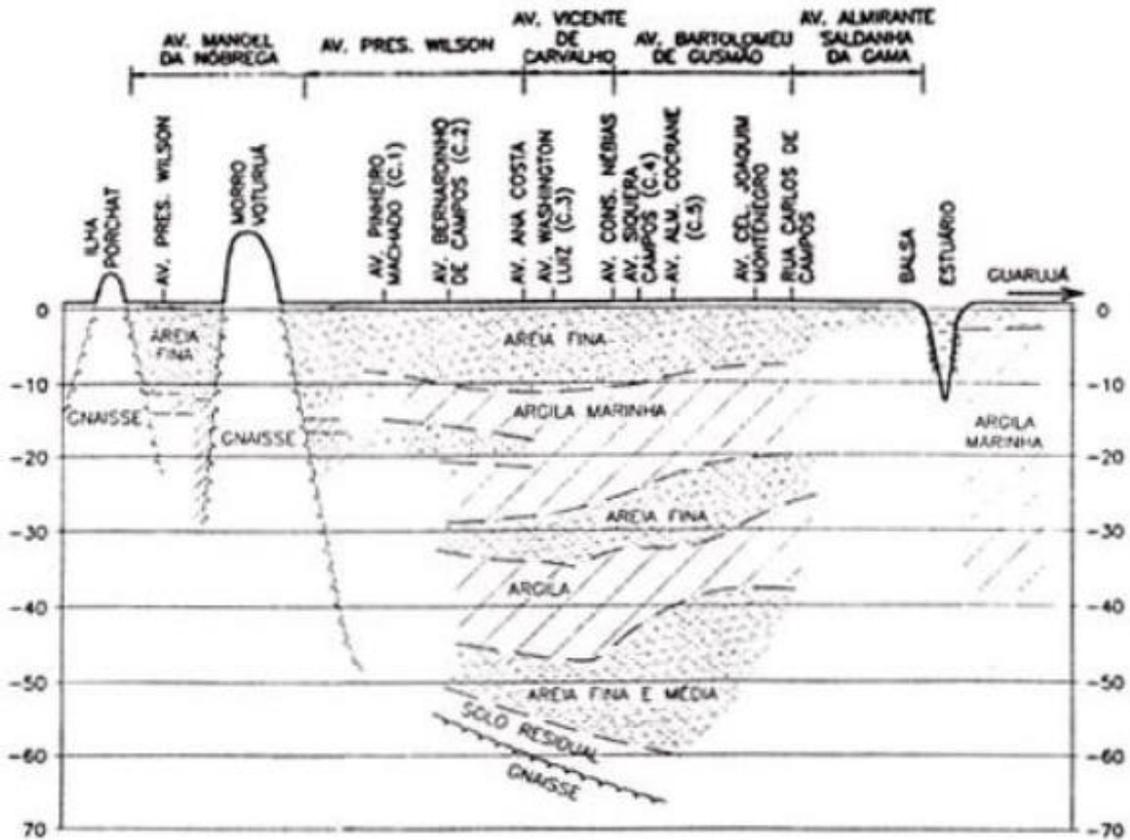
Fonte: Suguio e Martin (1981)

De acordo com Teixeira (1994), o perfil geotécnico da Orla de Santos é composto por uma camada de 10 metros de areia fina seguida por uma camada 10~15 metros de argila marinha, outra camada de 10 metros de areia fina, mais uma camada de 10~15 metros de argila e, uma camada de 10~20 metros de areia fina e média, após, solo residual e gnaíse atingindo a cota de 70 metros no sub solo conforme a Figura 2.7 - Perfil Geotécnico da Orla de Santos.

Porém, Massad (2003) adaptou o perfil apresentado por Teixeira (1994), questionando a espessura das camadas de areia e a ocorrência de camadas mais profundas, conforme a Figura 2.8 – Perfil Geotécnico da Orla de Santos adaptado por Massad.

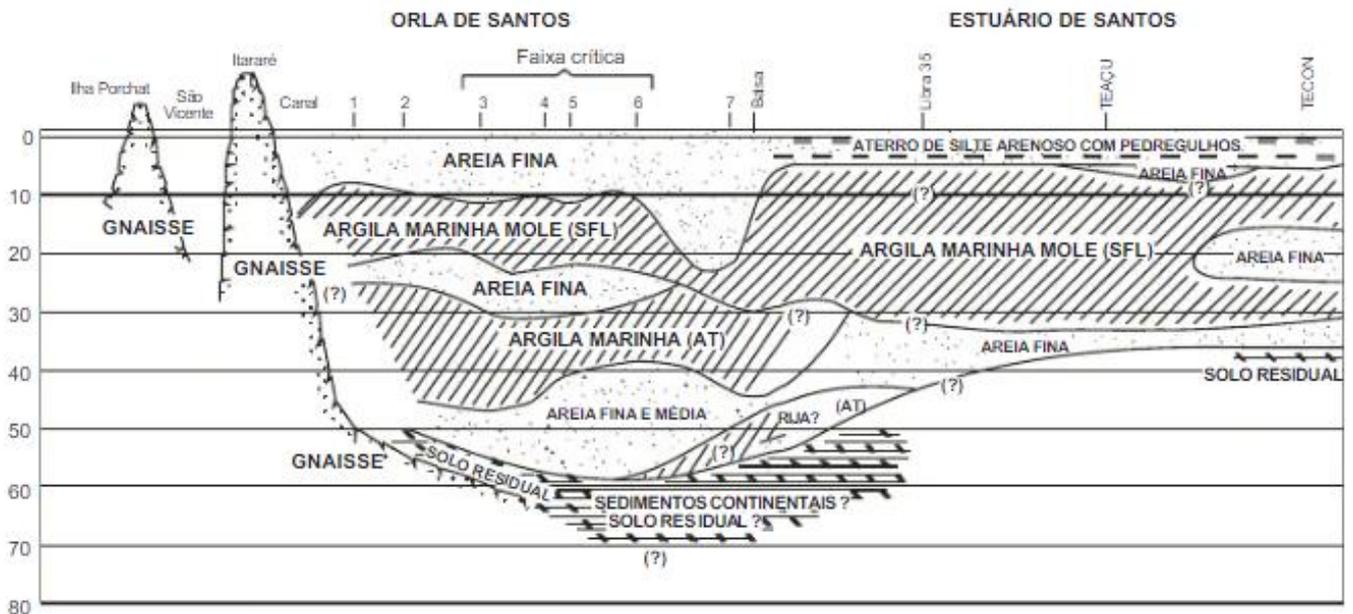
Ainda segundo o mesmo autor (2006 e 2008), a ação de Dunas no passado explica o comportamento irregular das argilas marinhas, e a existência de regiões com maior tensão de pré-adensamento, ocasionando menores recalques ou recalques diferenciais

Figura 2.7 – Perfil geotécnico da Orla de Santos



Fonte: Teixeira (1994)

Figura 2.8 - Perfil Geotécnico da Orla de Santos adaptado por Massad



Fonte: Massad (2003)

### 2.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

Segundo Massad (1999), as argilas da Baixada Santista sofreram um sobreadensamento, isto é, a tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_a$ ) é maior que a tensão efetiva ( $\sigma'_e$ ), segundo o autor ocorreram três fatores principais que levaram o solo a este sobreadensamento.

1. Oscilações negativas do nível do mar durante os últimos 7.500 anos;
2. Ação de dunas de areia;
3. Envelhecimento das argilas (*aging*).

De acordo com Massad (1999), o nível do mar baixou -110 metros em 17.000 anos, causando forte sobreadensamento nas argilas transicionais. Referente as ações de dunas de areia, houve uma confirmação histórica a respeito da presença de dunas no tempo da colonização por volta do século XVII, do ponto de vista geotécnico, a confirmação da existência de dunas no passado da Orla de Santos implica em: a) valores de SPT mais elevados; b) pré-adensamento das argilas marinhas; c) justificativa ao comportamento de aterros e edifícios construídos sobre solos moles.

Massad (2006), citou Suguio, Martin e Rodrigues, ao concluir sobre a ocorrência de dunas em Praia Grande, Guarujá e São Vicente, com alturas variando de 1,0 a 5,0 metros. Sabe-se também da existência de dunas na Ponta da Praia, onde no século XX existia o Forte Augusto, conforme a figura 2.9 a seguir, e, hoje localiza-se o Museu de Pesca, conforme as figuras 2.10 e 2.11.

Figura 2.9 – Duna existente no bairro Ponta da Praia, século XX



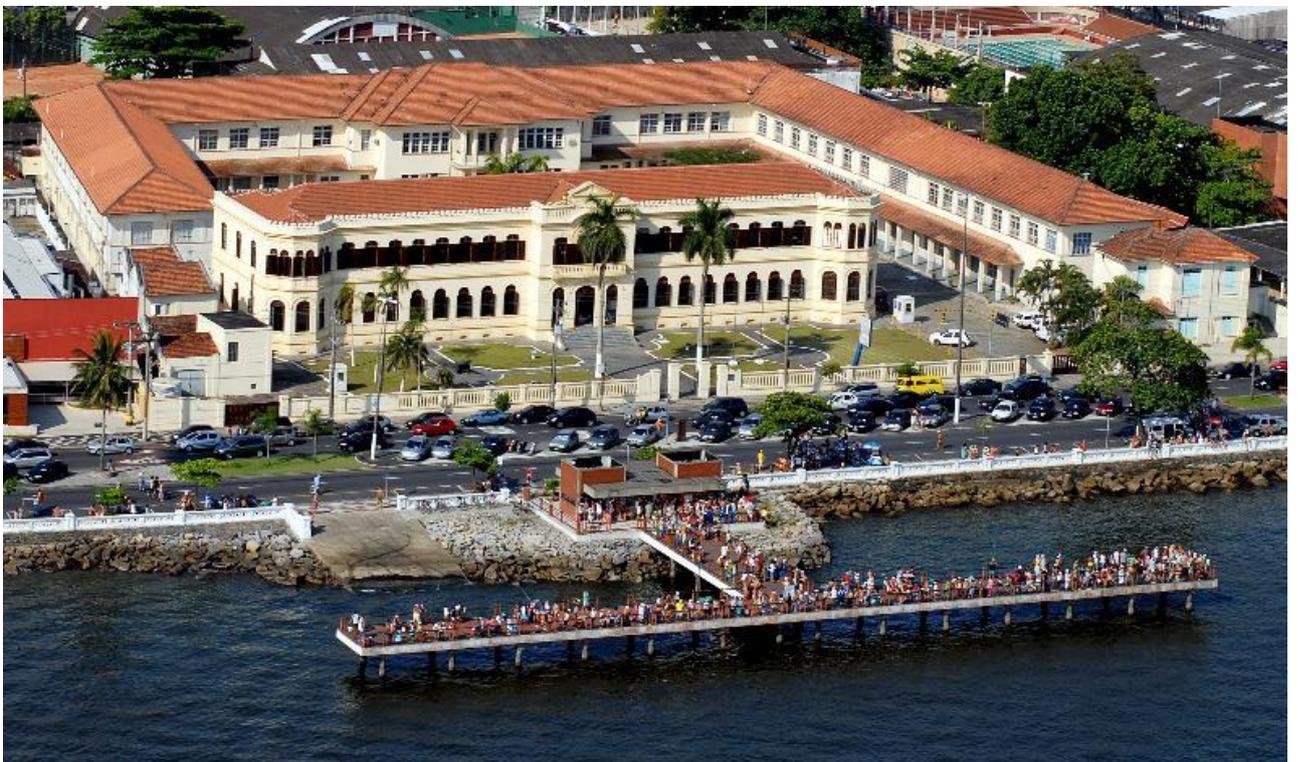
Fonte: Desconhecido (sem data)

Figura 2.10 – Antigo Forte Augusto transformado em Museu de Pesca



Fonte: Ary O. Célio (1945)

Figura 2.11 Atual Museu de Pesca

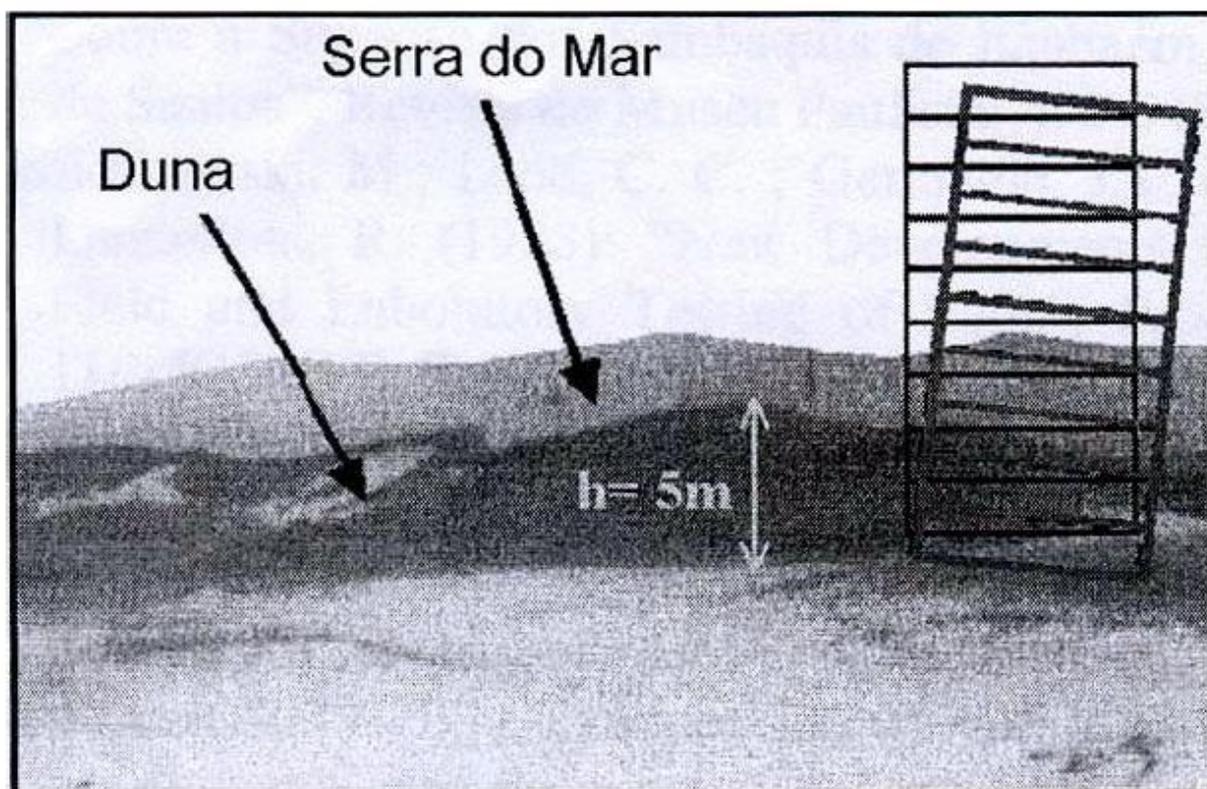


Fonte: Desconhecido (2022)

Massad (2006) explica que a ação de dunas no passado reflete no problema de recalques de fundações sofrido por Santos nos dias de hoje. Como exemplo, uma duna com 5,0 metros de altura, estacionada no mesmo local por longo período, a pressão exercida por ela no solo equivale a de um edifício de 9 pavimentos. Para dunas com 3,0 a 4,0 metros de altura, o peso equivale a um edifício de 6 a 7 pavimentos. Mesmo após a sua remoção, essa pressão que o solo sofreu fica registrada na argila.

Assim, o mesmo autor explicou que o desaprumo, recalques diferenciais sofridos por alguns prédios, podem ser atribuídos a tensão não uniforme que as dunas causaram ao subsolo devido a sua altura variável. Dessa forma podemos entender como alguns edifícios inclinaram-se mesmo sem a influência de prédios vizinhos conforme mostra a figura 2.12.

Figura 2.12 – Exemplo de construção de um edifício onde existia uma duna



Fonte: Massad (2004)

Segundo Pacheco Silva (1953), por muitos anos acreditava-se que as argilas sedimentares, consideradas moles, eram normalmente adensadas, e que eram

formadas num único ciclo de sedimentação contínuo e ininterrupto, sem nenhum processo erosivo.

Porém, Souza Pinto e Massad (1978) diante de alguns “achados” como a ocorrência de argilas médias ou duras, e a existência de ilhas de areia em tempos pretéritos, posteriormente erodidas, e ainda, perante o fato destas argilas serem, por vezes, levemente sobre-adensadas, invocavam-se efeitos pós-deposicionais como a sedimentação ou o *aging*, envelhecimento das argilas.

Apesar de o autor acreditar que o envelhecimento das argilas seria um fator importante que colaborou para o sobreadensamento das camadas e, conseqüentemente, os recalques sofridos pelos prédios na Orla, Massad (2009) explica que a hipótese de envelhecimento das argilas (*aging*) não se sustenta, pois, o pré-adensamento provocado pelas oscilações do nível do mar se sobrepõe aos efeitos do *aging*, mascarando-o com um mecanismo compreensível.

## 2.4 ENSAIOS DE SONDAGEM E TIPOS DE FUNDAÇÕES

De acordo com a NBR 6502 (1995) solo é o “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”. Para realização de projeto de fundações é necessário, primeiramente, o conhecimento sobre o solo através de sondagem, que são ensaios feitos no solo para entendimento das camadas existentes e, a partir destes dados, é possível realizar a verificação da capacidade de carga para elaboração da melhor solução para a base da edificação.

### 2.4.1 Caracterização dos ensaios de sondagem

Segundo a ABNT, os solos são classificados em argila, silte, areia e pedregulho, essa classificação tem relação com a sua granulometria, para conhecer qual o tipo de solo encontra-se no local da sua construção é necessário o estudo de sondagem.

Existem cinco principais tipos de sondagens, são estes:

1) Sondagem a trado (manual ou mecânica): este método utiliza a ferramenta de trado, um tipo de amostrador de solo que contém lâminas afiadas para sua melhor inserção

no solo. Este método possibilita a identificação dos horizontes de solo, com coleta de amostras, e a determinação do nível d'água (quando existente). Para o trado manual, a profundidade atingida é de geralmente 6 metros em solos pouco resistentes, já para trado mecânico a profundidade pode chegar a 20 metros. Neste ensaio é possível determinar o perfil geológico do solo, porém, não é possível obter índices de resistência do solo como é feito em sondagens SPT.

Figura 2.13 – Sondagem a trado manual



Fonte: Autor desconhecido (2016)

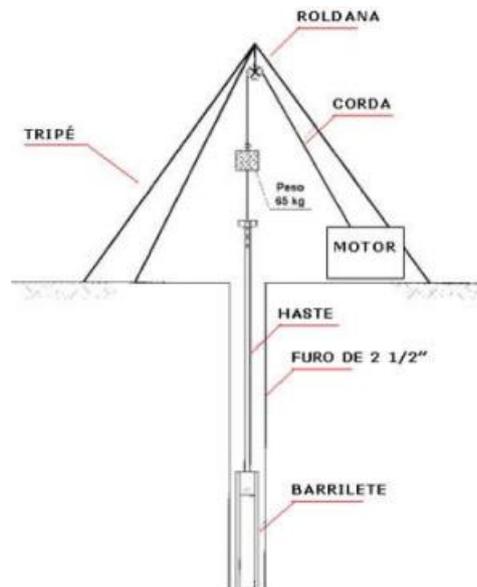
Figura 2.14 – Sondagem a trado mecânico



Fonte: Autor desconhecido (2018)

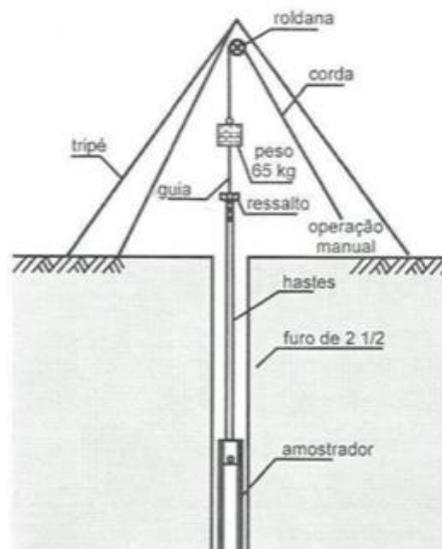
2) Sondagem à percussão SPT (Standard Penetration Test): é a metodologia mais tradicional em de investigação geotécnica, possibilita a identificação dos horizontes de solo e a determinação da resistência NSPT. Pode ser realizada com motor ou manual. Para ensaios SPT o critério de parada pode ser ao atingir solo impenetrável, por especificação de cota máxima em projeto ou ao atingir a profundidade máxima de 25 metros.

Figura 2.15 – Sondagem à percussão mecânica



Fonte: Felipe Cava (2016)

Figura 2.16 – Sondagem à percussão manual



Fonte: Felipe Cava (2016)

3) Sondagem rotativa mecânica: inicia-se com a sondagem à percussão SPT até que alcance a camada de rochas. Após, com uso de sondas rotativas, é dada continuação ao trabalho de penetração para extração de amostras (ou testemunhos), podendo atingir grandes profundidades. Com base nas informações coletadas é possível a caracterização, precisa, do solo-rocha.

Figura 2.17 – Sondagem rotativa



Fonte: Geositu Empresa de Sondagem (2019)

4) Ensaio de penetração do cone – CPT: consiste na cravação, estática e lenta, de cone mecânico ou elétrico que armazena em um computador os dados coletados a cada 20 cm. Este método oferece a resistência de ponta ( $q_c$ ), resistência do atrito lateral ( $f_s$ ) e a correlação entre os dois expressa em porcentagem, que permite a identificação do tipo de solo.

Figura 2.18 – Ensaio de penetração do cone – CPT



Fonte: Desconhecido.

5) Poços ou trincheiras: a abertura de poços para inspeção de solo é feita a partir da escavação vertical (seção circular ou quadrada) que possibilita a inspeção visual das paredes e fundo e a retirada de amostras para determinação do perfil de solo. As trincheiras são escavações verticais de seção retangular. A trincheira é recomendada para os casos em que há interesse em investigar o comportamento e/ou distribuição dos materiais no sentido lateral. A maior limitação destes métodos é a limitação da profundidade escavada, em função das características dos materiais e a posição do nível do lençol freático.

Figura 2.19 – Poços de inspeção



Fonte: Desconhecido.

Figura 2.20 – Sondagem por trincheiras



Fonte: Desconhecido.

## 2.4.2 Tipos de fundações

Segundo a NBR 6122 (2019) existem dois tipos de fundações: rasas ou diretas e, profundas ou indiretas. Para escolha do melhor tipo de fundação a ser adotado, deve-se conhecer o tipo de solo para verificação da capacidade de carga suportada por este.

1 - Solo arenoso: É recomendado para fundação direta, porém necessita atenção quanto aos recalques, devido o possível rebaixamento do lençol freático. Durante a execução de fundação rasa é necessária atenção na contenção das paredes, pois, pode ocasionar desmoronamentos. Para fundações indiretas ou profundas pode ocorrer dificuldade ao cravar à estaca devido o atrito lateral. Em terrenos muito molhados é necessária cravação com ar comprimido.

2 - Solo siltoso: Para fundações diretas, suas características são similares ao solo arenoso, porém não é menos sensível ao rebaixamento do lençol freático e sua escavação é mais fácil de executar. Para fundações profundas seu uso é aconselhável tendo em vista que pode-se utilizar tanto do atrito lateral quanto da resistência de ponta para absorção das cargas.

3 - Solo argiloso: É recomendável e usual para fundações diretas ou rasas, mas também ocorre problemas de recalque em função do lençol freático. Durante sua execução é fácil manter a estabilidade das paredes laterais. Em fundações profundas sua utilização é possível, porém, a estaca deve atingir uma profundidade muito maior para aumentar sua capacidade de carga.

A principal função das fundações é transmitir as cargas vindas da edificação para o solo. Nas fundações rasas essa transmissão ocorre pela base através de sapatas, blocos e radiers. Nas fundações profundas as cargas são transmitidas através da superfície lateral e ponta por tubulões ou estacas.

### 2.4.2.1 Sapatas

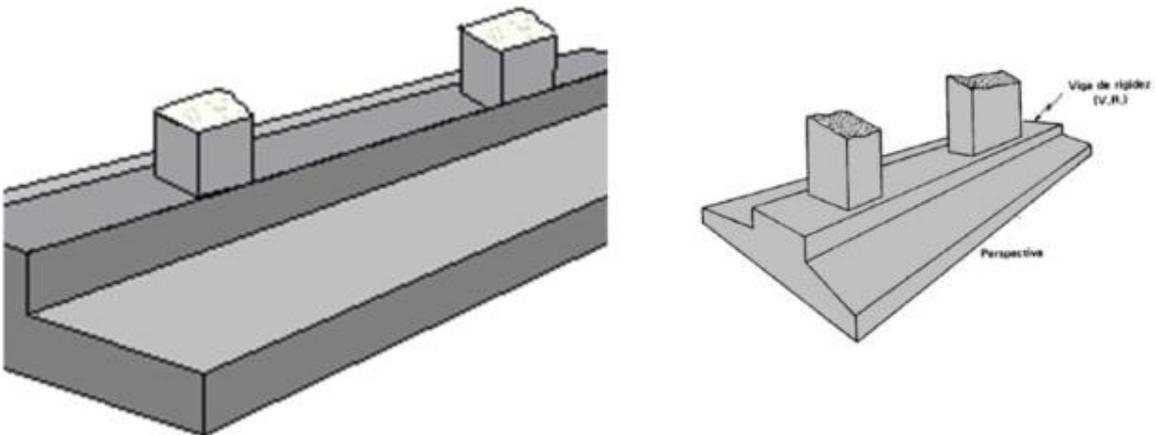
Elemento de fundação rasa, em concreto armado, que tem como função resistir as tensões de tração. Sua base em planta é geralmente quadrada, retangular ou trapezoidal e podem ser executadas de forma isolada, corrida, associada ou alavancada.

Figura 2.21 – Sapata isolada



Fonte: Desconhecido (2017)

Figura 2.22 – Sapata associada



Fonte: Desconhecido (2023)

Figura 2.23 – Sapata corrida



Fonte: Desconhecido (2018)

Figura 2.24 – Sapata alavancada



Fonte: Desconhecido (2018)

#### 2.4.2.2 Bloco de fundação

Elemento de fundação superficial que pode ser executado em alvenaria de pedra, tijolos ou concreto. Podendo ser armado ou não. Suas dimensões não devem ser maiores que 60 cm, e sua base em planta é geralmente quadrada ou retangular.

Figura 2.25 – Fundação em pedra grês



Fonte: Desconhecido (2000)

Figura 2.26 – Fundação com alvenaria



Fonte: Desconhecido (2000)

Figura 2.27 – Fundação com bloco de concreto



Fonte: Desconhecido (2020)

#### 2.4.2.3 Radier

Placa contínua em concreto armado utilizada com objetivo de distribuir uniformemente a carga da edificação para o solo. Utilizada para terrenos de baixa resistência ou quando não há possibilidade de cravação de estacas ou quando é impossível escavar grandes profundidades. Utilizada também quando a soma da área das sapatas ultrapassar 50% da área a ser edificada pois tornar-se mais viável a execução do radier.

Figura 2.28 – Fundação com radier



Fonte: Desconhecido (2018)

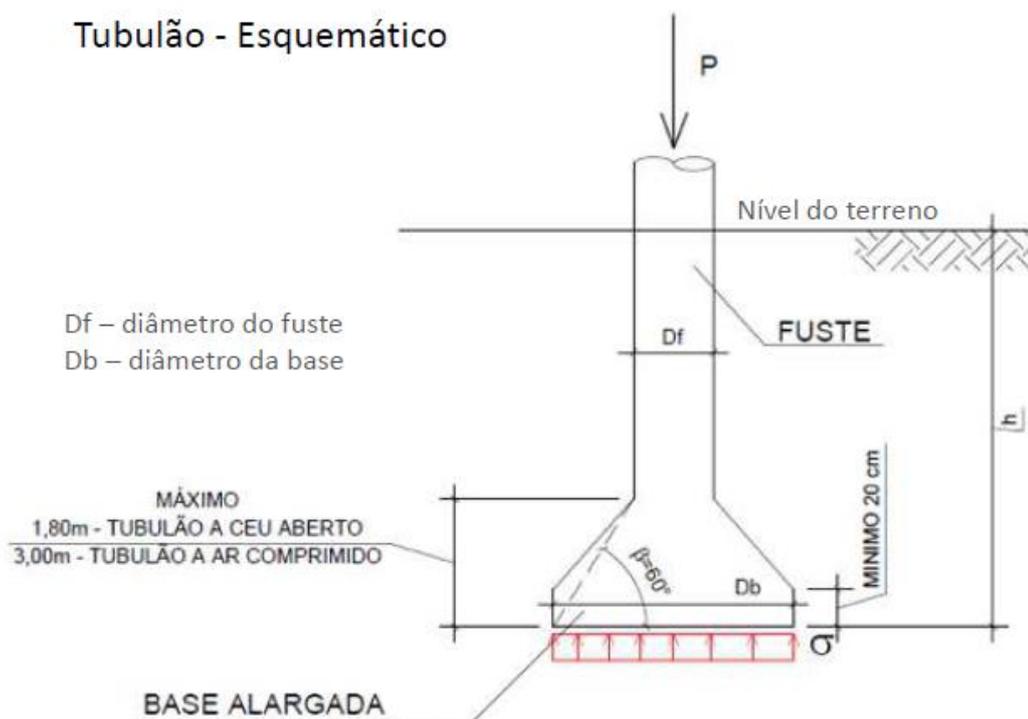
### 2.4.3 Fundações profundas

Segundo a NBR 6122/2019 as fundações profundas são elementos de fundações que transmitem cargas pelo base, conhecido como resistência de ponta e, pela lateral, conhecido por resistência de fuste, ou ainda por uma combinação entre as duas. Sua profundidade deve ser o dobro da sua menor dimensão em planta, e, no mínimo 3,00 metros, salvo justificativas. Para este tipo de fundações incluem-se tubulões, caixões ou estacas.

#### 2.4.3.1 Tubulões

Elemento de fundação profunda, escavada no terreno, onde as cargas são transmitidas principalmente pela base. Sua execução pode ser a céu aberto ou com ar comprimido, podendo haver a necessidade de revestimento metálico (camisa metálica) ou em concreto. No caso de revestimento metálico, este poderá ser perdido ou não na execução. Na etapa final da escavação deverá haver a descida de um operário para realizar o alargamento e limpeza do fundo, este alargamento é usualmente de forma manual. Em casos de apenas cargas verticais o tubulão não será armado colocando-se apenas uma armadura no topo para ligação com a estrutura.

Figura 2.29 – Tubulão

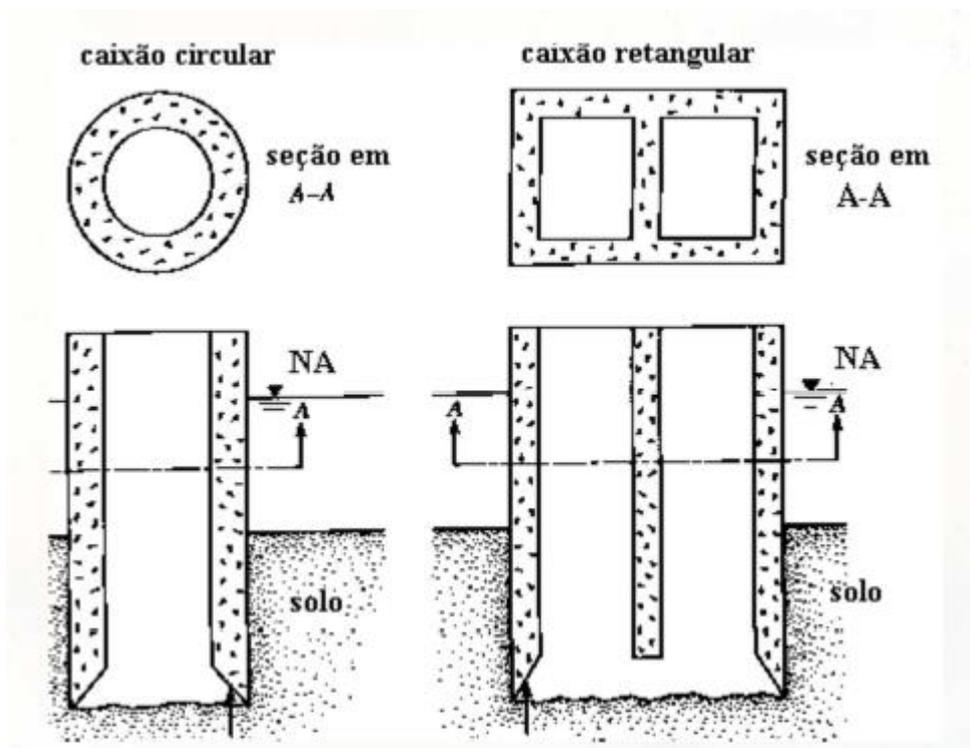


Fonte: Desconhecido (2019)

### 2.4.3.2 Caixões

É um grande caixão em concreto, impermeável, com suas laterais em parede pré moldada e sua seção é, geralmente, quadrada ou retangular, porém pode ser também circular ou oval. Podendo ter seu fundo e topo abertos. Utilizado para escorar as paredes da escavação e impedir a entrada de água enquanto é cravado. O caixão se torna parte da infraestrutura após sua finalização. Pode ser utilizado em grandes profundidades e tem um baixo custo de execução.

Figura 2.30 – Modelo de caixões

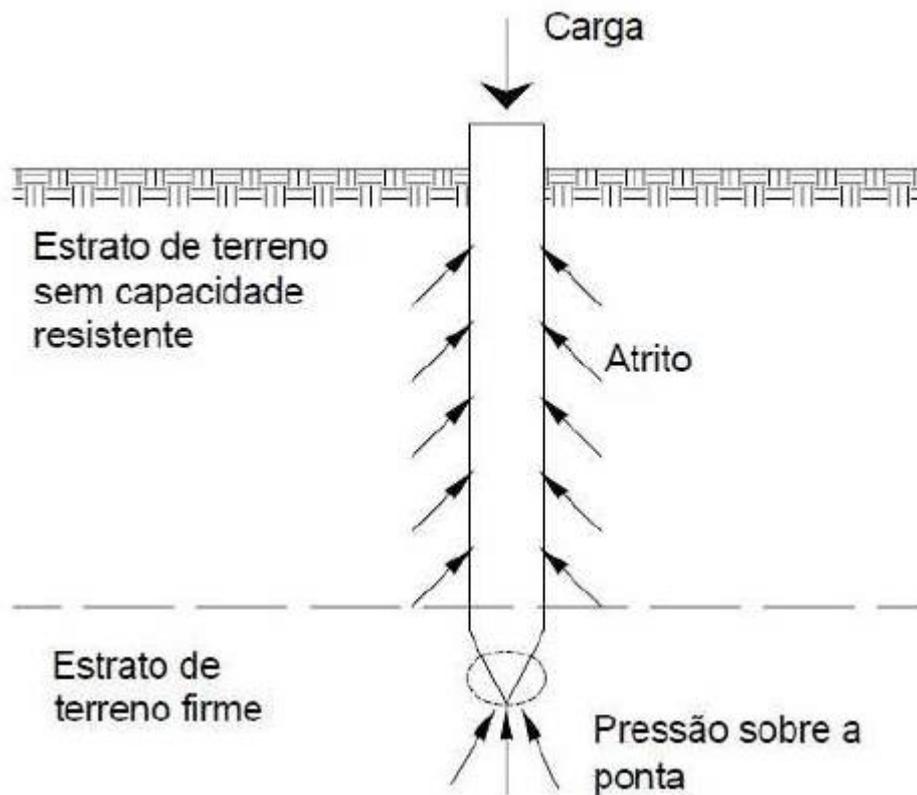


Fonte: Desconhecido (1996)

### 2.4.3.3 Estacas

São elementos de fundação que podem ser cravadas ou perfuradas, é caracterizado por grandes comprimentos e pequenas seções transversais. Podem ser executadas em madeira, aço, concreto pré-moldado, concreto moldado "in loco" ou misto. A transferência de carga para o solo pode ser tanto pelo fuste, como pela ponta ou ambos. As estacas também podem ser classificadas em duas categorias: de deslocamento ou escavadas.

Figura 2.31 – Transferência de cargas através da estaca



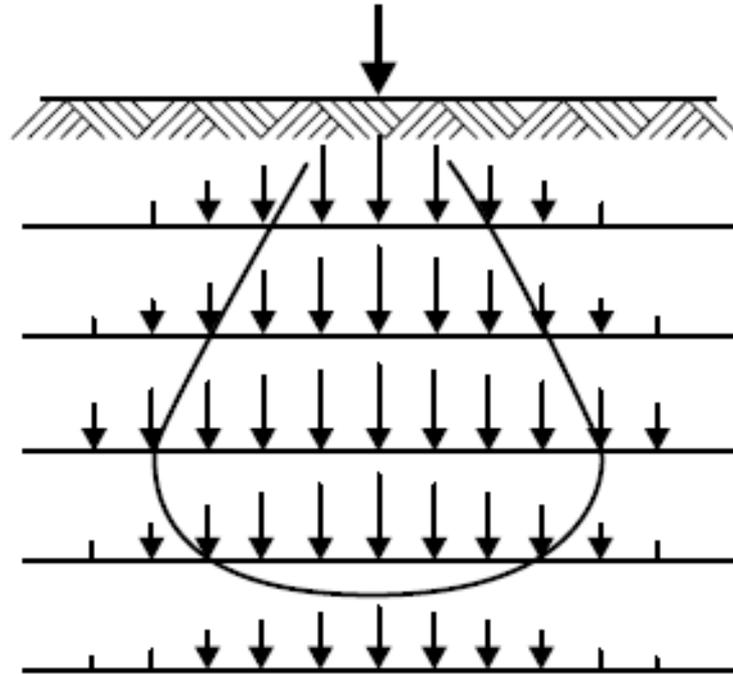
Fonte: Desconhecido

## 2.5 BULBO DE TENSÕES

Ao analisarmos um relatório de sondagem é comum deparar-se com várias camadas de solo, questionando-se quais camadas serão responsáveis por absorver mais ou menos carga oriundas da edificação.

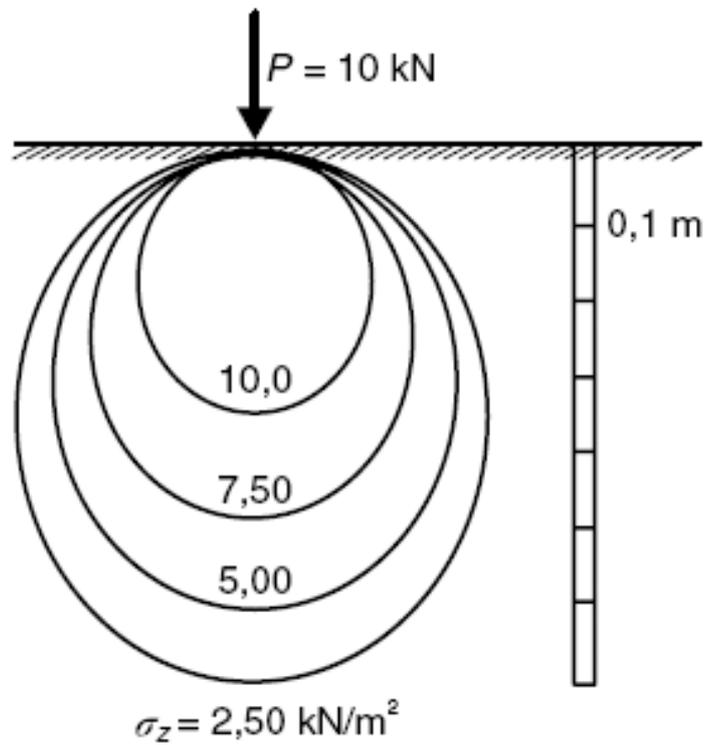
De acordo com Caputo (2015), denominam-se *isóbaras* as curvas ou superfícies obtidas ligando-se os pontos da mesma tensão vertical. Este conjunto formado por curvas *isóbaras* forma o chamado bulbo de tensões. Abaixo imagem referente ao bulbo de tensões para uma carga concentrada.

2.32 – Bulbo de tensões para carga concentrada



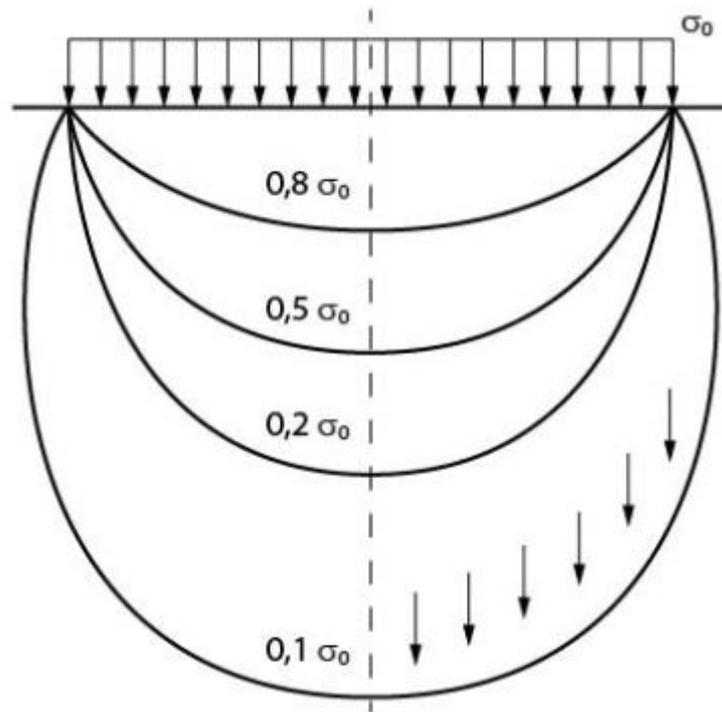
Fonte: Homero Pinto Caputo (2015)

2.33 – Bulbo de tensões para carga de 10 kN



Fonte: Homero Pinto Caputo (2015)

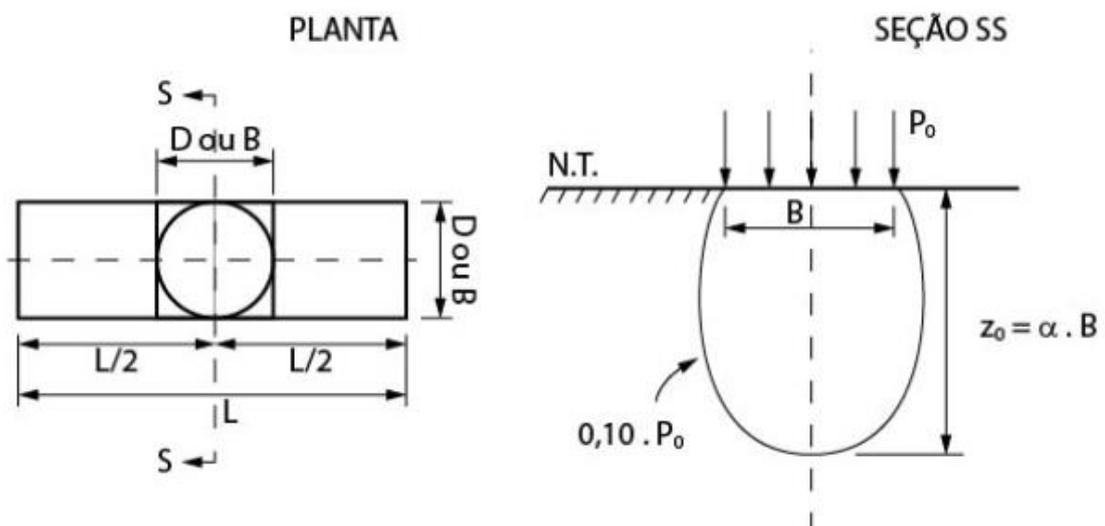
Figura 2.34 – Bulbo de tensões para carga distribuída



Fonte: Homero Pinto Caputo (2015)

Para determinar o alcance do bulbo de tensões, primeiramente, precisamos definir que este é delimitado pela curva *isóbata* de  $0,1 \cdot \sigma_0$ . A profundidade do bulbo de tensões é dada pela expressão:  $Z = \alpha \cdot B$ , onde  $B$  é a menor dimensão da fundação e os valores de  $\alpha$  estão descritos na tabela.

Figura 2.35 – Equação referente a profundidade do bulbo de tensões



Fonte: Homero Pinto Caputo (2015)

Figura 2.36 – Tabela com valores de  $\alpha$ 

Forma da fundação		$\alpha$
Circular ou quadrada		2,0
Retangular (L · B)	1,5	2,5
	2,0	3,0
	3,0	3,5
	4,0	4,0
Infinitamente longa		6,5

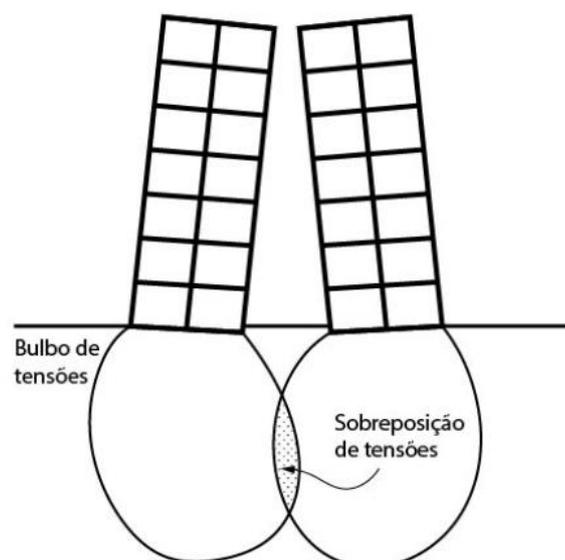
Fonte: Homero Pinto Caputo (2015)

Os valores de  $\alpha$  foram obtidos através da teoria da elasticidade e devem ser acrescidos de 20% dos valores da tabela para solos arenosos.

### 2.5.1 Sobreposição de tensões

Para construção de edificações com grandes cargas, ou seja, com grandes áreas de influência para bulbo de tensões construídas próximas a outras edificações com fundações rasas ou diretas, é comum haver sobreposição de tensões ou sobreposição dos bulbos de tensões. Esta sobreposição pode acarretar em fissuras, rachaduras, manifestações patológicas e recalques. Dependendo da magnitude destes recalques pode oferecer risco a segurança da edificação e dos seus usuários.

Figura 2.37 – Sobreposição de tensões



Fonte: Homero Pinto Caputo (2015)

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Quanto a área do conhecimento, conforme definidas pelo CNPq (2020), este Trabalho se situa na grande área da Engenharia Civil, no ramo da Geotécnica, especificamente na área de fundações e escavações.

Quanto à finalidade, o Trabalho classifica-se como sendo uma pesquisa básica pura, uma vez que, conforme Gil (2010), o tipo de pesquisa assim denominado pretende “ampliar o conhecimento, sem preocupação com seus possíveis benefícios” (GIL, 2010, p. 27). Este Trabalho busca o conhecimento e estudo sobre as causas dos recalques sofridos pelos prédios da Orla Santista analisando a bibliografia existente.

Quanto aos métodos empregados, classifica-se a mesma, ainda conforme a sub-divisão estabelecida por Gil (2010), referente a natureza dos dados, como uma pesquisa qualitativa, uma vez que nos interessa neste Trabalho as atribuições de caráter, propriedades ou características dos elementos estudados. Quanto ao ambiente em que os dados serão coletados, o trabalho será de campo, pois trata-se de pesquisa onde a coleta de dados se dará no próprio local onde ocorrem os eventos para os quais se buscam respostas. Buscando na bibliografia dados e relatórios feitos a partir de amostras locais e estudos técnicos sobre a Orla Santista. Quanto ao grau de controle das variáveis, será uma pesquisa não-experimental, a qual, conforme Gil (2010) é conceituada como “O pesquisador analisa as informações provenientes de um determinado efeito provocado por um ambiente foco de observação” (GIL, 2010, p. 28), pois são analisados dados existentes, pesquisas já realizadas e bibliografias que esclareçam as causas dos problemas de recalque apresentados pelos prédios da Orla da Praia.

Quanto aos objetivos, enquadra-se esta pesquisa dentro do tipo denominado pesquisa explicativa, pois, tendo em vista o que afirma o mesmo autor, este é o tipo em que “são as que mais aprofundam o conhecimento da realidade, pois têm como finalidade explicar a razão, o porquê das coisas” (GIL, 2010, p. 27), o que está em sintonia com o que pretende este Trabalho, uma vez que através da análise dos estudos e livros publicados sobre o tema conheceremos as causas das anomalias apresentadas pelas fundações dos prédios em Santos. Ainda dentro desta sub-

divisão, a coleta de dados se dará através de pesquisa bibliográfica, que é descrito por Martins Junior (2008), como “o pesquisador somente utiliza publicações impressas ou eletrônicas” (MARTINS JUNIOR, 2008, p. 59).

## 3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DA COLETA DE DADOS

### 3.2.1 Definição operacional das variáveis

O tipo de pesquisa adotado para o estudo das causas dos recalques dos prédios na Orla de Santos foi do tipo qualitativas, pois, apresentam a complexidade dos problemas ocorridos em função dos erros no estudo de solo e execução de fundações que não seriam adequadas para a carga dos prédios.

### 3.2.2 Técnicas para a coleta dos dados

Para a pesquisa bibliográfica, foram verificados dados a partir de sites, livros impressos, livros em PDF, revistas e vídeos explicativos sobre os problemas encontrados.

### 3.2.3 Descrição dos instrumentos utilizados

Para realização deste Trabalho foram feitas pesquisas bibliográficas em sites, livros, revistas, vídeos explicativos e monografias existentes.

## 3.3 DADOS COLETADOS

### 3.3.1 Fundações adotadas na Orla de Santos

De acordo com Teixeira (1994), os prédios construídos na Orla de Santos, nos anos de 1940, foram sob fundações rasas, sapatas e *radiers*, assim, por volta de 1950 já se tinha o conhecimento que estas edificações poderiam sofrer recalques por conta da camada de argila marinha altamente compressível existente no sub solo.

Ainda segundo o autor, na época haviam limitações para construção de fundações profundas, dentre as opções disponíveis que seriam: a) estacas pré-moldadas; b) estacas Franki; c) tubulões pneumáticos; opções estas consideradas inviáveis para o solo de Santos por não conseguirem atravessar a primeira camada de areia compacta.

Quando houveram recursos técnicos para execução de estacas com 30 metros de profundidade que poderiam atravessar as camadas de areia compacta, os empreendedores imobiliários classificaram como economicamente inviáveis e executaram as fundações rasas. Ocasionalmente os edifícios tortuosos que vemos hoje, conforme a figura 2.38 a seguir.

Figura 2.38 – Edifícios tortos causados pela ausência de fundações profundas



Fonte: Desconhecido (2015)

Figura 2.39 – Prédios tortos em Santos



Fonte: Desconhecido (2015)

Figura 2.40 – Prédios tortos em Santos



Fonte: Desconhecido (2015)

### 3.3.2 Dados coletados

De acordo com a Prefeitura Municipal de Santos um levantamento realizado em 1995 constatou que 94 prédios da orla, desde o *Ferry Boat* até a divisa com São Vicente, sofreram recalques, dentre estes, 65 prédios tiveram sua estrutura comprometida. Este número passa a ser muito maior, quando contabilizados prédios que sofreram deformações consideradas como aceitáveis. Estudos recentes entre os anos de 2004 e 2012 apontaram que 300 prédios sofreram algum tipo de inclinação.

Além dos transtornos por rachaduras, ainda podemos citar problemas como sensação de desequilíbrio no interior dos apartamentos ao olhar as janelas e ver o desnível da paisagem, água que escoava para o lado contrário aos ralos devido a inclinação do prédio e, objetos que, ao caírem no chão rolavam para o lado da inclinação, todos estes motivos fizeram com que alguns moradores tentassem vender seus imóveis, porém, devido aos problemas apresentados os apartamentos desvalorizaram em 75%.

Em 2004, com a participação do poder público, as universidades USP e Unisantia passaram a buscar por soluções para os problemas dos prédios que continuavam habitados. Estes estudos levaram 6 anos para serem concluídos e em 2010 se deu início a um longo trabalho de recuperação.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 APRESENTAÇÃO DE CASOS RESOLVIDOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Nos primeiros meses do ano de 2000 deu-se início ao reaprumo do Bloco B do Condomínio Núncio Malzoni, o condomínio fica localizado na orla da praia, é constituído por dois blocos de 17 pavimentos e tem como vizinhos o Condomínio Jardim Europa do lado esquerdo e, do lado direito, uma residência de dois pavimentos. O condomínio Núncio Malzoni foi construído em 1967 e logo começaram a surgir os problemas de recalque, porém, estes só foram acompanhados a partir de 1971, o prédio conta com 55 m de altura e 1,8° de inclinação.

As fundações eram compostas por sapatas de 1,5 a 2,0 m de profundidade, apoiadas na camada de areia compacta e, para evitar distorções da estrutura, os engenheiros da época tinham como hábito a execução de vigas de rigidez interligando as sapatas, essas vigas tinham dimensões de 0,50 m de largura por 1,50 m de altura.

As vigas de rigidez permitiram que o prédio inclinasse como um corpo rígido, evitando até mesmo o surgimento de trincas, no entanto os desconfortos causados pela inclinação, conforme a figura 4.1, fizeram com que os moradores aceitassem o investimento de 1,5 milhão para reaprumo do prédio.

Figura 4.1 – Vista interna de uma janela do prédio Núncio Malzoni



Fonte: Maffei Engenharia (2009)

Após a verificação estrutural do edifício, deu-se início a análise para correção dos problemas causados por recalques diferenciais em camadas de argila mole, levando em consideração o que segue:

- Tempo de intervenção limitado;
- Histórico de soluções anteriores utilizadas em Santos sem sucesso;
- Desconhecimento da duração e intensidade do recalque que ainda estava por ocorrer.

As opções para resolução dos problemas eram:

- Reforço das fundações e reforço dos elementos estruturais comprometidos pela inclinação do edifício;
- Reaprumo do edifício sem a execução de novas fundações;
- Demolição e construção de outro edifício;
- Execução de fundações profundas, transmissão dos esforços dos pilares para as novas fundações e reaprumo do edifício.

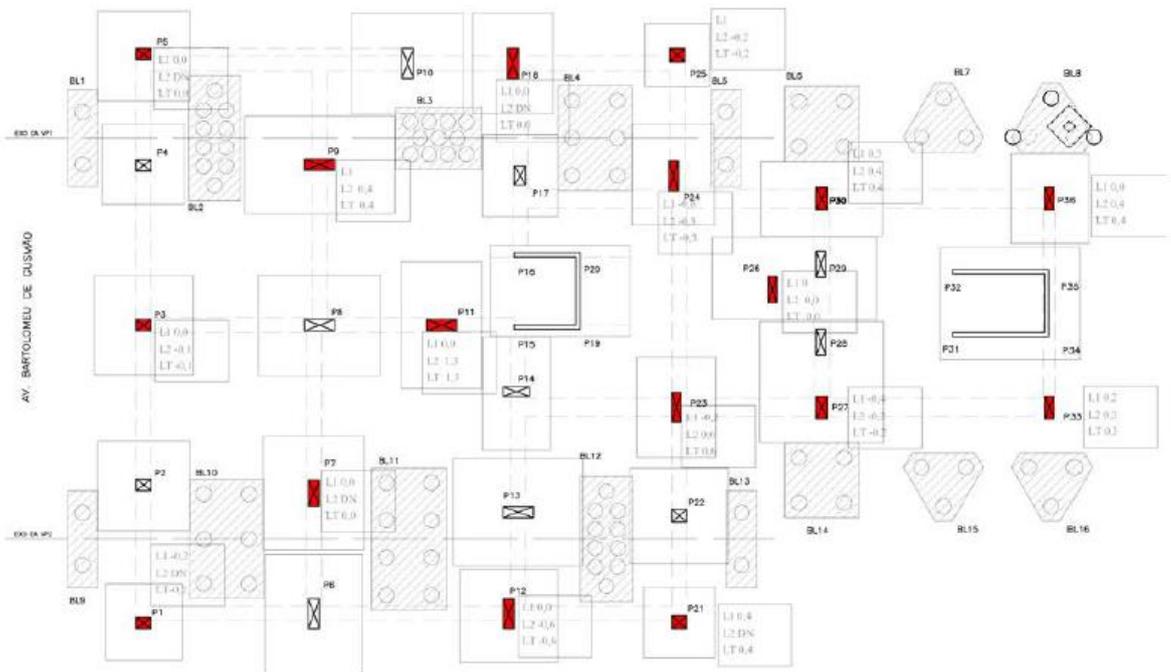
Foram apresentadas então aos moradores os custos, vantagens e desvantagens de cada uma das opções e analisando o custo-benefício optaram pela última alternativa.

Devido a indisponibilidade de espaço, foram projetadas estacas raiz de 40 cm de diâmetro, armadas com tubo metálico de 7 polegadas e 55 m de comprimento, para suportar uma carga máxima de 108 tf (tonelada-força). Para confirmar a eficiência das estacas raiz foram realizadas provas de carga em estacas teste. O projeto e execução das provas de carga são de autoria do Eng. Armando Caputo o qual projetou 5 estacas raiz em uma área livre do terreno ao lado direito do edifício. A estaca central, estaca teste, tinha 55 m de comprimento, 40 cm de diâmetro e foi armada com tubo metálico de 7 polegadas de diâmetro. As outras 4 serviriam como estacas de reação, com 40 m de comprimento e armada com 2 barras de *Dywidag* 32mm. Os resultados foram analisados e apresentados pelo Eng. Caputo em 2003 onde concluiu que a estaca teste com 55 m de comprimento, submetida à compressão, atingiu a ruptura para uma carga de 270 tf. Além da prova de carga a compressão foi realizada uma prova de carga à tração numa estaca teste com 12,70 m de comprimento com a finalidade de

avaliar a parcela de carga por atrito lateral da camada de areia superficial, que foi de aproximadamente 60 tf.

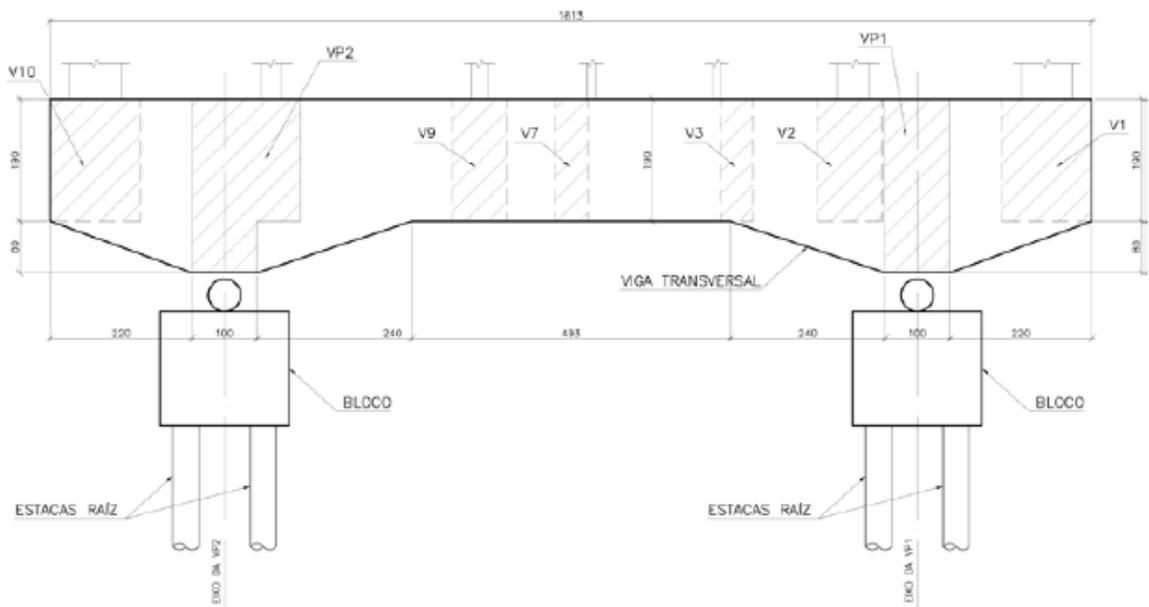
Diante dos resultados da prova de carga, o projeto de sub fundação foi confirmado e as estacas raiz foram distribuídas conforme mostram as figuras abaixo.

Figura 4.2 – Planta baixa da distribuição das novas estacas



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

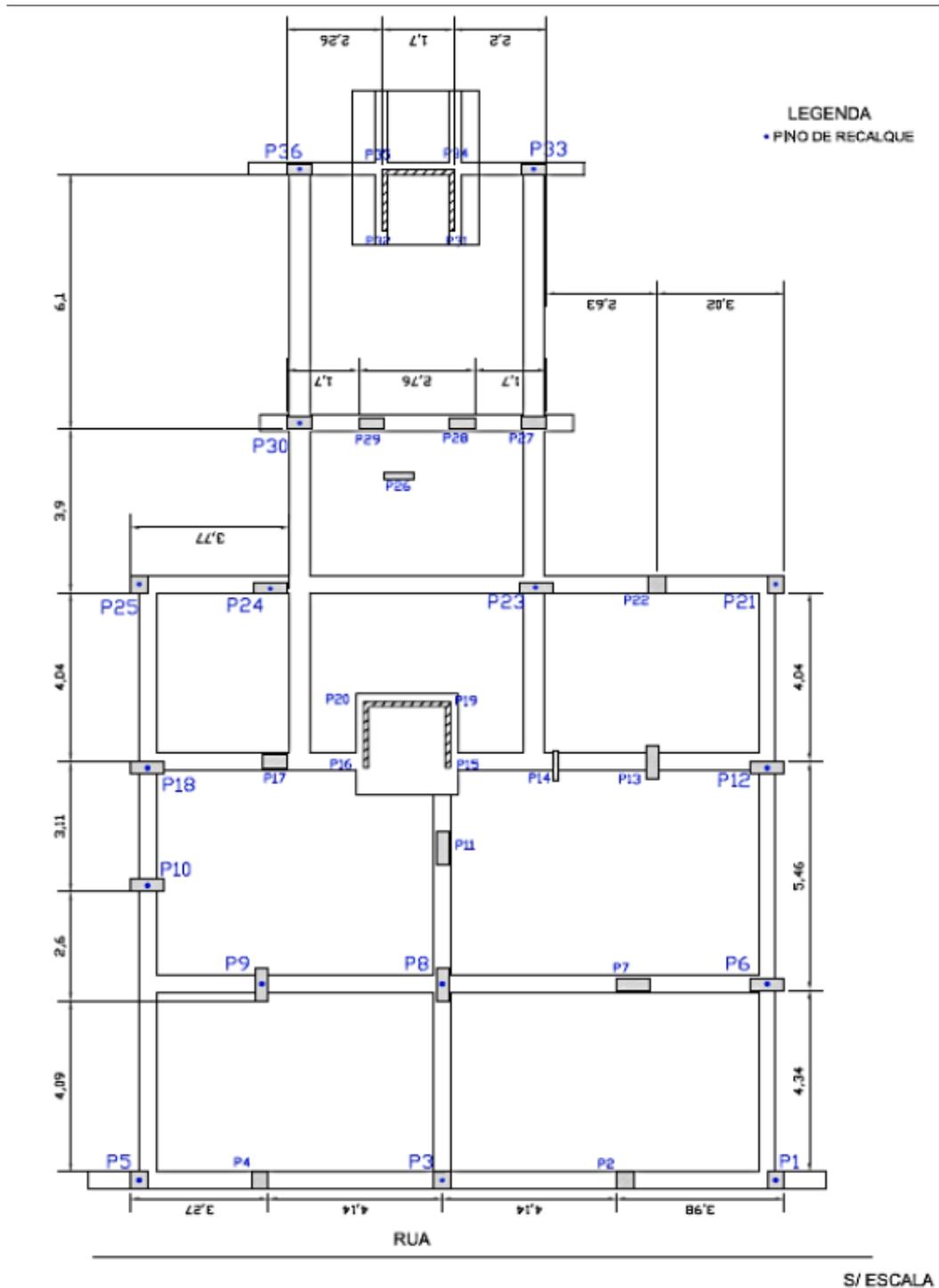
Figura 4.3 – Projeto de corte das novas estacas



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Após a execução das estacas raiz a obra foi interrompida e os recalques continuaram a ser monitorados até 2010 quando foram retomados os estudos para finalizar a obra. Na figura 4.4 está apresentado projeto com a localização dos pilares onde foram colocados pinos para leitura dos recalques.

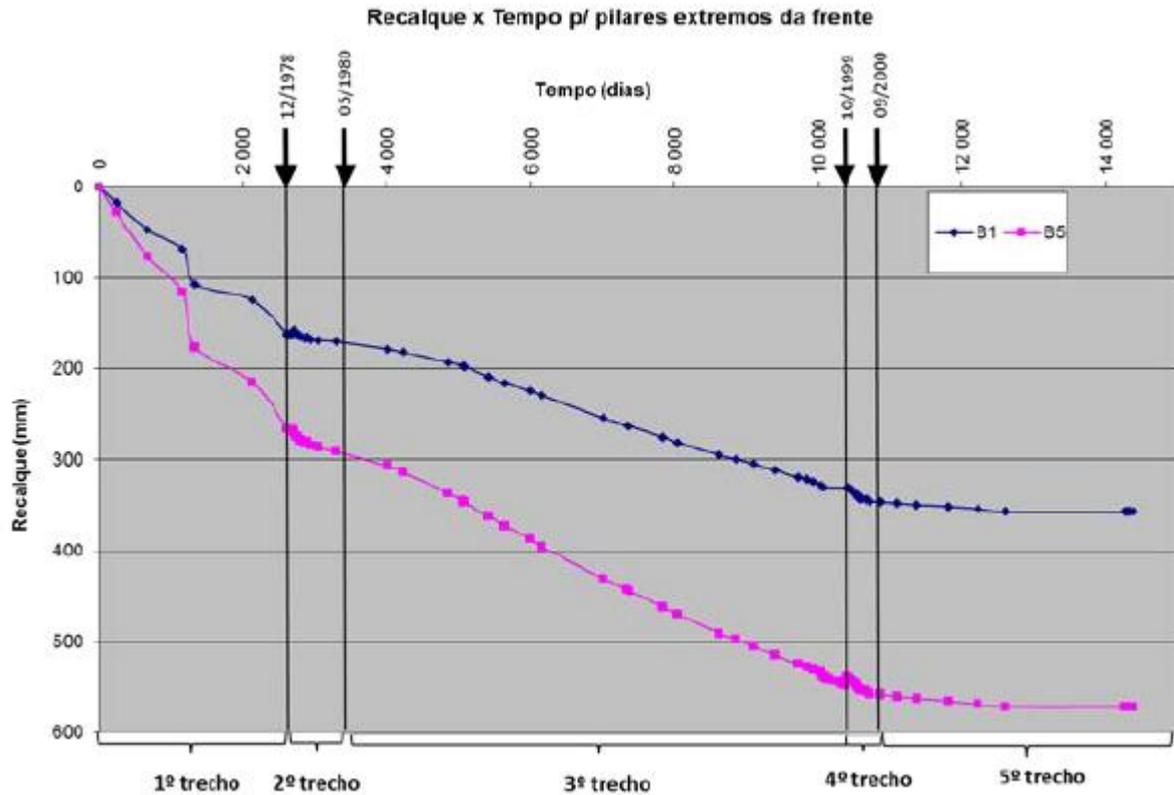
Figura 4.4 – Projeto de localização dos pilares



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

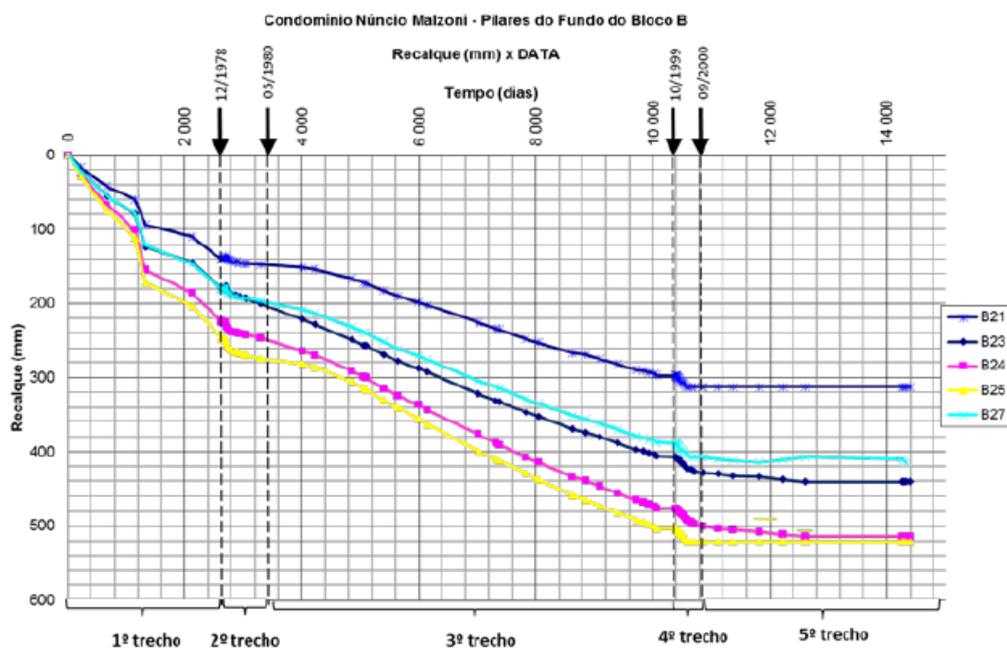
Nas figuras 4.5, 4.6 e 4.7 estão apresentadas as curvas de desenvolvimento dos recalques em função do tempo, entre 1971 e 2010.

Figura 4.5 – Recalque dos pilares externos frontais



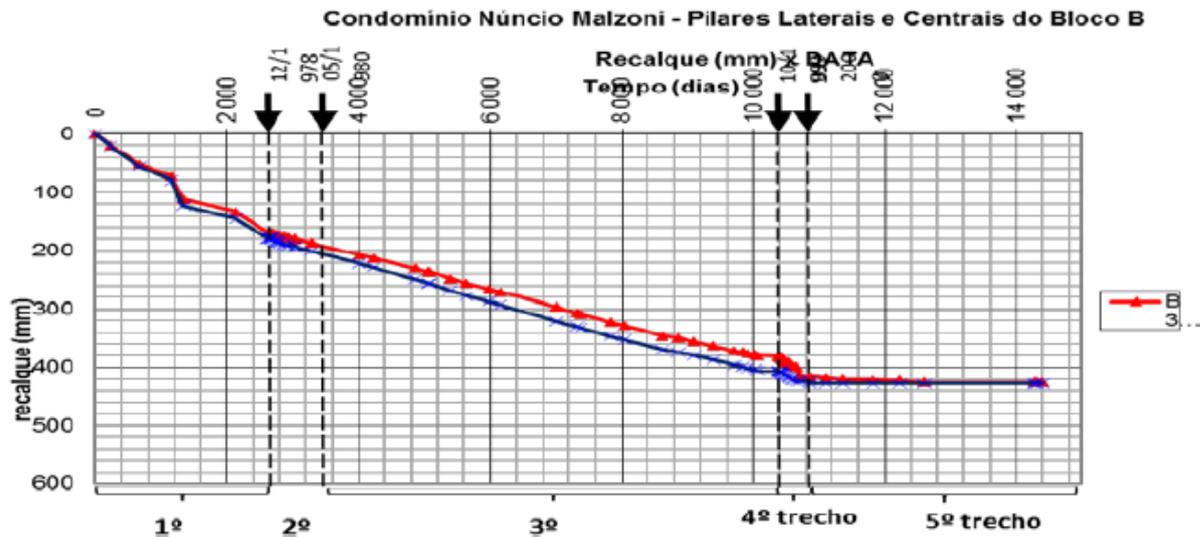
Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Figura 4.6 – Recalque pilares do fundo Bloco B



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Figura 4.7 – Recalque pilares laterais e centrais



Analisando as curvas apresentadas, pode-se perceber que as velocidades dos recalques se modificaram após a execução das estacas raiz. Para os pilares do fundo não existe distinção entre o 2º e o 3º trecho, correspondentes aos anos de 1978 a 1980 e 1980 a 1999.

Em 1978 foi feito o reaprumo do Bloco A do edifício Núncio Malzoni, onde foram executadas estacas-raiz com 25 cm de diâmetro e 50 m de profundidade, a construção destas estacas gerou decréscimo nas velocidades dos recalques de alguns pilares do bloco B. No entanto estas velocidades voltaram a aumentar em 1980 e ficaram quase que constantes até o início das intervenções do Bloco B em 2000, quando então aumentaram até o final das obras.

Após o reaprumo do Bloco A e a execução das estacas raiz do Bloco B, a velocidade dos recalques diminuíram consideravelmente conforme mostra a tabela da figura 4.8.

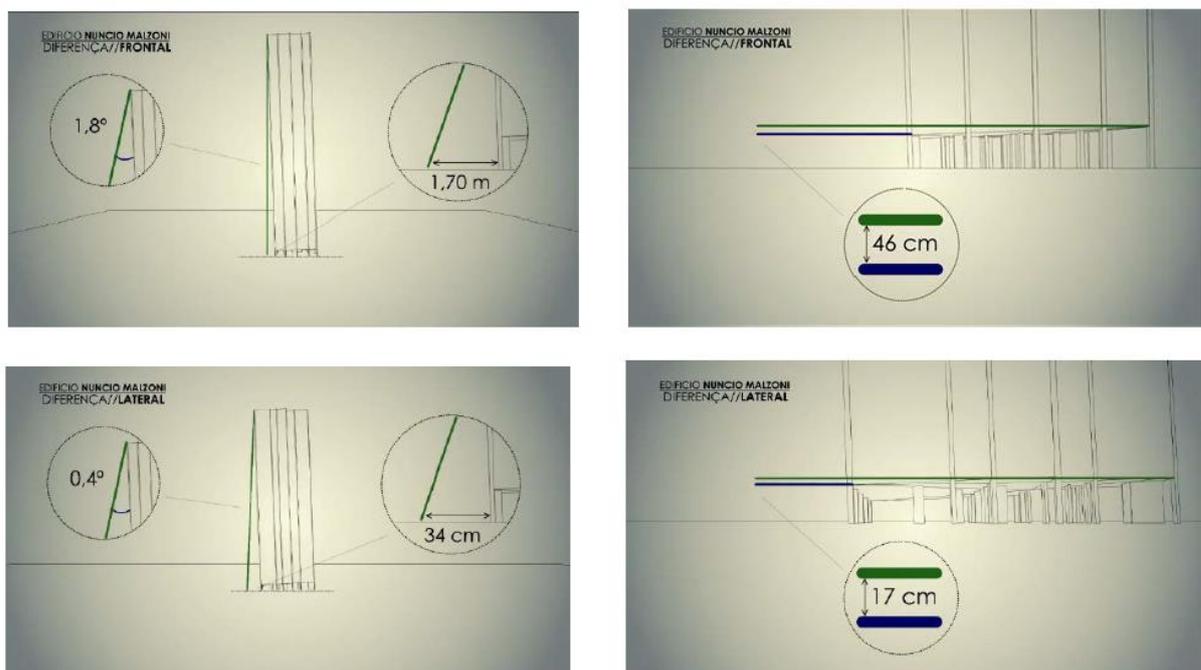
Figura 4.8 – Tabela velocidade dos recalques x Ano

Período	V. recalque (mm/ano)					
	P <sub>1</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>36</sub>
1971-1978	17,8	36,4	18,6	34,2	22,7	24,4
1978-1980	5,0	9,6	4,3	9,3	10,1	10,2
1980-1999	8,3	12,7	7,7	11,9	10	10,6
1999-2000	12,6	17,3	14,8	16,4	30,4	29,8
2000-2004	2,0	2,7	1,6	1,9	1,9	0,9

Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Observa-se na tabela que as maiores velocidades de recalque nos pilares 33 e 36 ocorreram entre 1999 e 2000, período em que foram executadas todas as estacas raiz. Pode-se atribuir estes dados em função da menor rigidez do pórtico dos fundos do edifício face à concentração de estacas raiz. Após o ano de 2000 os recalques diminuiriam consideravelmente.

Figura 4.9 – Recalques diferenciais frontal e lateral



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Após a obtenção destes resultados, foi apresentada aos proprietários uma nova alternativa de projeto que economizaria em torno de 30% do valor total da obra, embora não garantisse recalque zero ao longo do tempo.

#### 4.1.1 Solução implementada

Para que os apartamentos continuassem habitados foram feitas instalações expostas de forma a permitir que elevadores, sistema de água e luz pudessem ser utilizados durante o processo de reaprumo.

A nova alternativa pensada constituiu na abertura de nichos nos pilares para que permitissem a instalação de macacos hidráulicos, transferindo assim, a carga dos pilares para os macacos auxiliares para que estes pudessem elevar o prédio e reaprumá-lo. Conforme a figura 4.10 a seguir.

Figura 4.10 – Pilares com consoles criados para instalação dos macacos auxiliares



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Foram construídos quatro consoles em cada pilar, sendo dois de cada lado, em duas alturas diferentes, de modo a permitir a colocação dos macacos auxiliares, permitindo assim, a abertura de um nicho no próprio pilar, neste espaço entre os consoles, para colocação do macaco principal, onde foi possível erguer e reaprumar o edifício.

Quando todos os pilares estavam sobre os macacos, deu-se início ao macaqueamento do prédio. Esta técnica consiste na aplicação de cargas ao sistema de macacos com a finalidade de levantar o prédio gradualmente, como um corpo rígido. Para acompanhar o nivelamento foi instalado um medidor de nível em um andar intermediário. Esta etapa necessitou de muito cuidado e cautela na execução, sendo feita de forma devagar e constante, assim, em 4 dias o prédio voltou ao prumo.

A figura 4.11 mostra fotos do Bloco B antes e depois do reaprumo.

Figura 4.11 – Antes x Depois de reaprumar o Bloco B



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Após o nivelamento do prédio, foi então instalado novamente os macacos auxiliares e no nicho que havia sido aberto nos pilares (para colocação do macaco principal) foi refeito a armadura e concretado este pedaço de pilar unindo o pilar reaprumado com a fundação rasa existente, conforme mostra as figuras a seguir.

4.12 – Peça de armadura a ser colocada no pilar



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Figura 4.13 – Nicho no pilar preenchido com a nova armadura de ligação



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Figura 4.14 – Nicho de pilar com armadura de ligação e macacos auxiliares



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Figura 4.15 – Nicho de pilar com armadura de ligação



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

Figura 4.16 – Nicho de pilar com forma para concretagem da ligação dos pilares



Fonte: Maffei Engenharia (2010)

## 4.2 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Comparando as intervenções realizadas no Bloco A e no Bloco B, temos o seguinte:

Tabela 4.17 – Vantagens e desvantagens das alternativas executadas

		VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>Bloco A</b>	As novas fundações foram incorporadas ao prédio	Garantia de não haver novos recalques devido as fundações profundas terem atingido a rocha gnaisse	Valor elevado de execução
<b>Bloco B</b>	As novas fundações não foram incorporadas ao prédio	Mais econômico	Perda das estacas raiz executadas
		Recalques praticamente nulos	Somente foi possível devido pois o Bloco A já havia sido subfundado, garantindo assim alívio nas tensões e diminuição do pré adensamento
		Após 8 anos de reaprumo o prédio não voltou a sofrer recalque diferencial perceptível	-

Fonte: Autora (2023)

### 4.3 DISCUSSÃO

A obra para reaprumo do bloco B do prédio Núncio Malzoni teve início no ano 2000, inicialmente o projeto de recuperação da estrutura consistia em executar estacas-raiz e monitorá-las por um período, para garantir que novos recalques não ocorreriam, após este período monitorando e, caso fosse satisfatório seus resultados, seria dado início as intervenções no prédio de fato.

Com a análise do monitoramento do prédio foi possível perceber que os recalques haviam diminuído significativamente, ou seja, passaram de recalques diferenciais não aceitáveis, para recalques aceitáveis. Com estes resultados, foi proposto aos moradores uma nova solução que traria mais economia à recuperação do edifício. Esta solução consistia em não utilizar as estacas-raiz executadas, realizando o reaprumo do prédio e refazendo a base do pilar com as fundações rasas, visto que, devido a execução das estacas-raiz e o reaprumo do bloco A o solo teve um alívio de tensões e passou a suportar as cargas do bloco B.

Estas intervenções teriam alguns passos essenciais a serem realizados para que o prédio pudesse continuar ocupado, como por exemplo executar novas tubulações de água, esgoto e energia, pois o prédio seria erguido através de macacos hidráulicos e não poderia estar “preso” as tubulações antigas, trazendo com isso, mais

trabalhabilidade ao processo e permitindo que os moradores continuassem ocupando o prédio durante as obras.

Após a execução destas etapas iniciais, foram feitos quatro consoles nos pilares, em duas alturas diferentes, de forma que permitisse a instalação de macacos auxiliares. Estes macacos auxiliares iriam suportar a carga dos pilares para que pudesse ser aberto um nicho entre o “pé do pilar” e a fundação rasa.

Com o nicho aberto foi possível a instalação dos macacos principais, que seriam responsáveis pelo nivelamento do prédio. O trabalho de nivelamento do prédio teve que ser executado de forma devagar para não ocorrer distorções no prédio. Assim, concluiu-se o reaprumo em 4 dias.

Com o prédio no prumo, foi novamente instalado os macacos auxiliares nos consoles para a retirada dos macacos principais, implantado um pedaço de armadura para refazer o pilar e concretado, unindo assim o pilar reaprumado com as fundações rasas existentes.

Os principais fatores considerados para a solução implementada foram:

- Economia: considerando que toda a recuperação foi custeada pelos próprios moradores, a nova solução apresentada representou uma economia de 30% ao valor inicial da obra de Um milhão e quinhentos mil reais;
- Menos tempo de intervenção: a obra foi executada com o edifício desempenhando sua função de moradia, ou seja, todos os proprietários continuaram a ocupar o prédio assim, menos tempo de obra significaria mais qualidade de vida aos moradores e menos transtornos;
- Solução mais viável: dentre as opções que poderiam ser executadas, esta foi a mais viável economicamente;
- Vizinhança: havia a preocupação na recuperação do prédio, pois esta intervenção poderia agravar problemas nas construções vizinhas.

Considerando então todos os fatores apresentados, é possível dizer que a solução implementada foi satisfatória unindo segurança e economia para os moradores.

## 5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A baixada Santista atraiu a atenção logo que surgiram os primeiros problemas de recalque no ano de 1970, com o passar dos anos e o agravamento da situação dos prédios os estudos sobre suas causas se intensificaram surgindo diferentes opiniões.

O perfil geotécnico de Santos conta com 10 metros de areia fina, uma camada com 10 a 15 metros de argila marinha, uma camada de 10 a 20 metros de areia fina e média, uma camada 10 a 15 metros de argila transicional, mais uma camada de areia fina, solo residual e, atingindo a cota de 70 metros de profundidade temos rocha gnaisse.

É indiscutível que o grande problema dos recalques nas fundações foi devido a camada de argila marinha sobreadensada que não foi considerada nos projetos estruturais, isto porque, em 1940 o custo de sondagem era inviável para realização das obras e mais tarde, quando começaram as investigações do solo e perceberam o solo de péssima qualidade que havia ali, tornou-se inviável a execução de fundações profundas para atingir a rocha gnaisse, optando assim, pelas fundações rasas.

Porém os recalques diferenciais podem ter diversas explicações, como:

- A grande camada de argila marinha existente;
- As oscilações negativas do nível do mar contribuindo para o sobreadensamento das argilas;
- Ação de dunas de areia, que mesmo após sua remoção essa pressão que o solo sofreu fica registrada na argila;
- O envelhecimento das argilas;
- Bulbo de tensões, principalmente em prédios vizinhos onde há a sobreposição destas tensões;

Assim, com base nos dados geotécnicos estudados conclui-se que para o tipo de solo encontrado em Santos não poderiam ter sido executadas fundações rasas para os edifícios, a importância do conhecimento do tipo de solo teria sido fator importante para evitar todos os custos atuais para a recuperação e reaprumo dos prédios que entortaram, entretanto, deve-se considerar que na época em que estes foram

construídos não havia a quantidade de tecnologia que existe hoje, facilitando e diminuindo custos na execução.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **NBR 6023: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ACERVO FAMS. **FundaSantos**, 2009. Disponível em: [http://www.fundasantos.org.br/galeria/main.php?g2\\_itemId=741](http://www.fundasantos.org.br/galeria/main.php?g2_itemId=741). Acesso em 19 set 2022.

ACERVO FAMS. **FundaSantos**, 2009. Disponível em: [http://www.fundasantos.org.br/galeria/main.php?g2\\_itemId=771](http://www.fundasantos.org.br/galeria/main.php?g2_itemId=771). Acesso em 19 set 2022.

BARBOSA, Maria Valéria; DIAS, Nelson Santos; CERQUEIRA, Rita Márcia Martins. **Santos na formação do Brasil: 500 Anos de História**. Prefeitura Municipal de Santos, 2000. Acesso em 03 out 2022.

BUDHU, Muni. **Fundações e estruturas de Contenção**. LTC, 09/2013.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Volume 1. 7ª edição. Rio de Janeiro, LTC, 2015.

CNPq – **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. Disponível em <http://lattes.cnpq.br/web/dgp/engenharias>. Acesso em 05 nov 2022.

**FUNDAÇÕES: Teoria e prática**. 2ª ed. PINI. São Paulo, 1998.

GERSCOVICH, D. M. S. **Tensões em solos**. Notas de aula. Rio de Janeiro, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010

HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática**. ED. PINI, 2ª ed. Belo Horizonte: Arquitetura e Engenharia, 1969.

LABPED. **Danilo Verpa/Folhapress**, 2012. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/pedologia/tag/santos>. Acesso em 20 set 2022.

MAFFEI, Carlos E.M; GONÇALVES, Heloísa H.S; PIMENTA, Paulo de M. **Renivelamento do Edifício Núncio Malzone com 2.2º de desaprumo**. Geotecnia, n. 106, p. 133-161, 2003. Acesso em 18 ago 2022.

MARTINS JUNIOR, Joaquim. **Como escrever trabalhos de conclusão de curso**. Petrópolis (RJ): Vozes, 2008.

MASSAD, Faíçal. **Baixada Santista: Implicações da História Geológica no projeto de Fundações**. In: *Revista Solos e Rochas*. Abril. 1999.

MASSAD, Faíçal. **Características Geológicas e Geotécnicas dos Solos da Baixada Santista com ênfase na Cidade de Santos**. In: *Workshop passado, presente e futuro dos Edifícios da Orla Marítima de Santos*. ABMS Santos, 2003.

MASSAD, Faíçal. **Cidade de Santos, Brasil: Os recalques dos Edifícios e o sobreadensamento Errático dos Solos moles.** In: **Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia.** Coimbra. Portugal, 2008.

MASSAD, Faíçal. **Os edifícios de Santos e a História Geológica recente da Baixada Santista.** In: **V Geosul.** Porto Alegre, 2006.

MASSAD, Faíçal. **Solos marinhos da Baixada Santista: características e propriedades geotécnicas.** São Paulo. Oficina de textos, 2009.

OLIVEIRA, Letícia F.; CERQUEIRA, Rita Márcia M. **Guia de fontes para História de Santos.** Santos, 2009. Acesso em 16 set 2022.

PACHECO SILVA, F. **Controlling the Stability of a Foundation Through Neutral Pressure Measurements.** In: **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.** Suisse, 1953.

SCHNAID, F., ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações.** 2. edição, Oficina de Textos Editora, 2012.

SUGUIO, Kenitio; MARTIN, Louis. **Formações Quaternárias marinhas do Litoral Paulista Sul Fluminense.** São Paulo, 1978.

SUGUIO, Kenitio.; MARTIN, Louis. **Progress in Research on Quaternary Sea Level Changes and Coastal Evolution in Brazil. Symposium on Variations in Sea Level in the Last 15,000 Years, Magnitude and Causes.** Univ. South Caroline, USA, 1981.

SUGUIO, Kenitio; MARTIN, Louis. **Geologia do quaternário.** In: **Solos do litoral de São Paulo.** ABMS São Paulo, 1994.

TEIXEIRA, Alberto H., **Fundações Rasas na Baixada Santista.** In: **Solos do Litoral de São Paulo.** ABMS. São Paulo, 1994.

VARGAS, Milton. **Fundação em Santos é problema: Recalque é questão de temperamento.** São Paulo, 1965.