

# **Recalques de Edificações: Estudo de Caso dos Recalques Presentes no Município de Santos/SP**

Renan Nilson Camarto<sup>1</sup>  
Renato Ortiz de Camargo<sup>2</sup>  
Marcelo Silva<sup>3</sup>

Universidade São Francisco

**renannilson@gmail.com - renatocamargo@gmail.com - m.silva@usf.edu.br**

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Campinas

<sup>2</sup>Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Campinas

<sup>3</sup>Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Campinas.

## **Resumo**

Situada na costa de São Paulo, Santos é uma das cidades mais antigas do Brasil, rica em história relacionada à colonização, comércio marítimo e crescimento econômico. Hoje, Santos é uma metrópole moderna, renomada por suas praias e porto movimentado, além de seus muitos e característicos edifícios à beira-mar que sofreram recalques e chamam a atenção principalmente dos turistas que visitam a cidade. O solo costeiro de Santos exibe uma diversidade de camadas, compreendendo areia, argila e rochas, presentes em profundidades variadas. Esse cenário se torna um desafio para a engenharia civil, principalmente no que tange às fundações de edifícios. Em Santos, um dos principais desafios enfrentados é o fenômeno dos recalques nas fundações. Os recalques correspondem a deslocamentos verticais do solo devido à carga exercida pelas construções. Frequentemente, em Santos, esses recalques resultam de fundações rasas em solos argilosos saturados. Isso pode ocasionar problemas estruturais e arquitetônicos, incluindo fissuras, desníveis no piso e deformações nas paredes, impactando tanto a estética quanto a funcionalidade das edificações. Além das complicações técnicas, os recalques também geram impacto econômico, pois podem desvalorizar os imóveis afetados. Portanto, abordar essa questão requer uma perspectiva multidisciplinar, que englobe aspectos de engenharia, arquitetura e considerações econômicas. Em 1995, o condomínio Núncio Malzoni enfrentou um desafio marcante quando um de seus blocos experimentou recalques acentuados, resultando em uma inclinação notável. Poucos anos mais tarde, um projeto de reaprumo bem-sucedido restabeleceu a confiança dos moradores e solucionou o problema de forma notável. Esse feito se tornou uma referência, demonstrando a importância da engenharia e da colaboração multidisciplinar para superar desafios únicos nas áreas urbanas.

**Palavras-chave:** Recalques, Patologias, Construções.

## **Introdução**

A cidade de Santos, localizada no litoral do estado de São Paulo, tem sido palco de uma série de movimentações verticais em seus edifícios. Essas movimentações, conhecidas como recalques, têm desencadeado uma série de problemas e prejuízos financeiros tanto para os residentes dessas edificações quanto para os imóveis circundantes. Os recalques não apenas ameaçam a integridade estrutural dos edifícios, mas também trazem bastante preocupação sobre os riscos para a segurança dos ocupantes. Nesse contexto, a análise dos

aspectos geológicos, estruturais, construtivos e comerciais que contribuíram para essas movimentações se torna de grande importância.

Este artigo de pesquisa visa aprofundar nossa compreensão dos recalques em edifícios em Santos, investigando as causas subjacentes e as técnicas utilizadas para realinhar essas estruturas. Além disso, tem o propósito de avaliar e identificar as melhores práticas e soluções para o reaprimento das edificações.

A relevância dessa pesquisa não se limita apenas aos moradores dos edifícios afetados, mas estende-se a toda a comunidade. Os impactos dessas construções problemáticas se refletem diretamente nos moradores, nos turistas que desfrutam da orla litorânea, nos investidores que hesitam em iniciar novos empreendimentos na cidade e na sociedade em geral, que busca evitar a repetição desse problema em futuras construções.

Para atingir esses objetivos, foi realizado uma pesquisa bibliográfica qualitativa, consultando uma variedade de fontes, como artigos científicos, livros, jornais e bancos de dados de pesquisa. Esta pesquisa se concentrará na análise das causas dos recalques, nas técnicas empregadas para o realinhamento dos edifícios e nos custos associados a essas intervenções. A conclusão desta pesquisa está prevista para 15 de novembro de 2023, após o início dos trabalhos em 08 de agosto do mesmo ano.

Acredita-se que os resultados deste estudo não apenas beneficiarão a comunidade local em Santos, mas também servirão como um valioso recurso para todas as regiões do Brasil que enfrentam problemas semelhantes, proporcionando informações para mitigar os efeitos prejudiciais das movimentações verticais em edifícios.

## **Material e Métodos**

O presente artigo sobre os recalques em edificações do município de Santos-SP, foi realizado com base em uma revisão de bibliografias e literaturas, desta forma a organização e interpretação das investigações serão objetivadas.

As etapas da revisão bibliográfica cumprirão as etapas de seleção da questão norteadora do tema, definição do caráter das pesquisas primárias que estarão em estudos, seleção e análises das pesquisas e dissertações relacionados ao tema proposto para a revisão, interpretação dos resultados e relatos que forem encontrados.

A revisão foi executada por meio de levantamento de artigos científicos e dissertações publicadas a partir do ano 1970, por conta dos avanços nos estudos de solo presentes a partir desta década, além de livros e notícias relevantes sobre a área de estudo. A base de dados a ser usada partirá de bibliotecas, banco de dados de pesquisas e sites de pesquisa acadêmica.

O objetivo deste artigo é compreender a formação geológica presente na cidade de Santos, assim como as causas que levaram ao recalque dos edifícios construídos entre os canais 2 e 6 do município, os impactos diretos e indiretos aos moradores dos edifícios e arredores, como também impactos financeiros e de investimento na cidade, o estudo de caso do reaprimento de um dos edifícios prejudicados pelo recalque, e a análise de soluções alternativas para problemas semelhantes.

## **Pesquisas e Discussões**

No início dos anos 1502, o litoral paulista e a ilha de São Vicente foram descobertas por europeus, e em poucos anos surgiram os primeiros povoados na região, que tinha um grau de importância elevado por conta de seu estratégico porto. Sendo considerada no início um povoado, após cerca de 40 anos, passou a ser reconhecido com vila, que segundo as leis portuguesas da época, passaria a ter sua autonomia, território demarcado, câmara municipal entre outros (SANTOS, 2000).

Para Silva Filho (2022), ao longo dos séculos Santos floresceu como uma cidade vital para a nação, facilitando as trocas comerciais e impulsionando a economia brasileira, destacando-se como um dos principais e mais estratégicos portos do país.

De acordo com Santos (2000), durante o século XX, Santos vivenciou um notável processo de industrialização e diversificação econômica. Além do comércio, setores como o petróleo, a pesca e o turismo desempenharam um papel fundamental no progresso da cidade. Santos realizou significativos investimentos em infraestrutura, englobando a expansão de rodovias, ferrovias e a modernização do seu porto, aprimorando, assim, sua conectividade e capacidade logística. Esse período também foi marcado pela expansão da urbanização, com a construção de novos edifícios e bairros residenciais.

Segundo observado por Silva (2016) o modelo de urbanização vertical passou a se formar na cidade de Santos, e durante as décadas de 1950 e 1970, este modelo atingiu seu ápice, tendo as regiões de orla da praia, como sendo as principais áreas de interesse para o mercado imobiliário. Políticas públicas também fortaleceram a especulação imobiliária do município, permitindo através de leis complementares, a construção de edifícios de até 30 pavimentos.

Atualmente Santos é uma metrópole moderna, renomada por suas praias e porto movimentado, além de seus muitos e característicos edifícios à beira-mar que sofreram recalques e chamam a atenção principalmente dos turistas que visitam a cidade. O solo costeiro de Santos exibe uma diversidade de camadas, compreendendo areia, argila e rochas, presentes em profundidades variadas. Esse cenário se torna um desafio para a engenharia civil, principalmente no que tange às fundações de edifícios. Em Santos, um dos principais desafios enfrentados é o fenômeno dos recalques nas fundações.

Os recalques correspondem a deslocamentos verticais do solo devido à carga exercida pelas construções. Frequentemente, em Santos, esses recalques resultam de fundações rasas em solos argilosos saturados. Isso pode ocasionar problemas estruturais e arquitetônicos, incluindo fissuras, desníveis no piso e deformações nas paredes, impactando tanto a estética quanto a funcionalidade das edificações.

Além das complicações técnicas, os recalques também geram impacto econômico, pois podem desvalorizar os imóveis afetados. Portanto, abordar essa questão requer uma perspectiva multidisciplinar, que englobe aspectos de engenharia, arquitetura e considerações econômicas.

Em 1995, o condomínio Núncio Malzoni enfrentou um desafio marcante quando um de seus blocos experimentou recalques acentuados, resultando em uma inclinação notável. Poucos anos mais tarde, um projeto de reaprumo bem-sucedido restabeleceu a confiança dos moradores e solucionou o problema de forma notável. Esse feito se tornou uma referência, demonstrando a importância da engenharia e da colaboração multidisciplinar para superar desafios únicos nas áreas urbanas.

### *A cidade de Santos*

De acordo com Silva Filho (2022), a cidade de Santos é uma das cidades mais antigas do Brasil, tendo sido fundada na Vila de São Vicente em 1532. A cidade foi fundada pelo português Brás Cubas que era um fidalgo e explorador português que recebeu uma sesmaria na região e decidiu estabelecer uma vila que viria a se tornar a cidade de Santos.

Santos desempenhou um papel importante ao longo da história do Brasil, especialmente como um dos principais portos do país. A cidade está localizada no litoral do estado de São Paulo e tem uma rica história ligada à colonização, ao comércio marítimo e ao desenvolvimento econômico do Brasil. Atualmente, Santos é uma cidade moderna, com uma economia diversificada e é conhecida por suas praias e seu porto movimentado e curiosos prédios inclinados na faixa do litoral (SILVA FILHO, 2022).

## *Formação Geológica*

A bacia de Santos está localizada na margem sudeste do Brasil, e supostamente se formou após a separação entre as placas tectônicas Sul-americana e Africana, onde se formou um espaço para o acúmulo de sedimentos minerais, formação de piçarras, e acomodação de matéria orgânica (Souza; Sgarbi, 2019).

De acordo com Massad (1985), o município de Santos encontra-se situado em uma área de geologia bastante simples, caracterizada por uma formação gradual sobre camadas de rochas resistentes e terreno acidentado, recoberto por um extenso depósito de sedimentos orgânicos acumulados ao longo de milhares de anos.

Conforme destacado por Suguio e Martin (1981), a composição do solo na faixa litorânea de Santos apresenta uma caracterização diversificada. Inicialmente, verifica-se uma camada de areia moderadamente compacta, com profundidades variando entre 6 e 20 metros, avaliada através de ensaios de Sondagem a Percussão (SPT) com valores na faixa de 9 a 30 golpes. Na sequência, ocorre a transição para um solo argiloso com baixa coesão e espessura que pode variar entre 10 e 30 metros, com resultados de SPT entre 0 e 4 golpes. Em camadas mais profundas, encontram-se argilas transicionais com consistência de média a rígida, caracterizadas por um valor médio de SPT de 5 golpes. Por fim, nas profundidades superiores a 50 metros, o solo assume uma composição rochosa de alta resistência.

## *Aspectos Geológicos*

Até a década de 1960, o conhecimento sobre os aspectos geológicos em Santos era bastante limitado. Foi somente a partir de 1974 que se registrou um notável aumento nos estudos nessa área, o que culminou em uma compreensão consideravelmente aprimorada desse tema na região (Massad, 1999).

De acordo com Suguio e Martin (1978), a região de Santos-Bertioga, pode-se observar mudanças significativas no nível do mar ao longo dos milênios. Há aproximadamente 5100 anos, o nível do mar atingiu seu pico, situando-se a uma elevação de 4,5 metros em relação ao nível atual. Passados 3500 anos, esse nível caiu para 4,0 metros acima do nível atual. Finalmente, há cerca de 2000 anos, o nível do mar estava entre 1,5 e 2,0 metros acima do nível atual. Esses dados oferecem uma valiosa perspectiva das mudanças geológicas e climáticas que moldaram essa região ao longo do tempo.

Ao longo dos tempos, as flutuações no nível do mar desempenharam um papel crucial na formação de depósitos sedimentares na região da Baixada Santista. Através de pesquisas realizadas por Suguio e Martin (1978), ficou evidente que essa área experimentou dois ciclos distintos de sedimentação, revelando a presença de duas faixas horizontais de argila orgânica, cada uma com suas próprias características distintivas.

A primeira dessas faixas consiste em argila de consistência mais branda, estendendo-se por cerca de 15 metros de espessura. Por outro lado, a segunda faixa é composta por argila mais rígida e uniforme, com uma espessura média de 10 metros. Abaixo dessas camadas, encontramos uma camada arenosa compacta que completa a composição geológica da região. Assim, é possível afirmar que a formação desses sedimentos marinhos na costa é resultado direto das flutuações do nível do mar que ocorreram ao longo de milênios. Esses estudos geológicos fornecem uma valiosa visão da evolução da área costeira, contribuindo para nosso entendimento mais profundo das transformações geológicas que moldaram a Baixada Santista (MASSAD, 1985).

Segundo as análises detalhadas de Suguio e Martin em 1981, a composição do solo na faixa litorânea de Santos revela uma notável diversidade. Essa análise abrange diferentes estratos geológicos, cada um com suas características distintas.

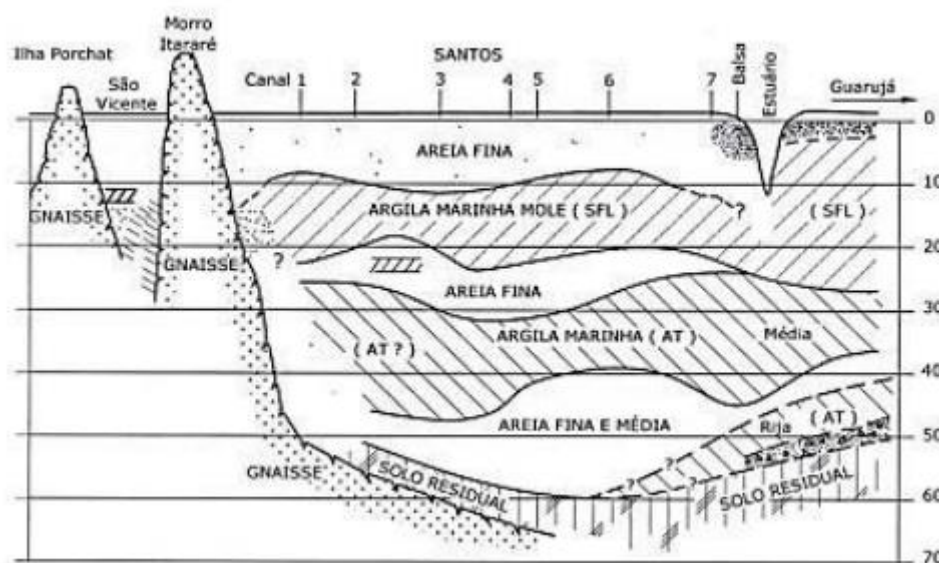
Inicialmente, encontramos uma camada de areia moderadamente compacta, com profundidades variando consideravelmente, geralmente entre 6 e 20 metros. Essa camada foi avaliada por meio de ensaios de Sondagem a Percussão (SPT), que indicaram valores na faixa de 9 a 30.

Em uma transição subsequente, o solo muda para uma composição argilosa com baixa coesão, com espessura que pode variar de 10 a 30 metros. Os resultados dos ensaios de SPT nessa camada tendem a oscilar entre 0 e 4, indicando uma consistência particular.

Nas camadas mais profundas, emergem argilas transicionais que exibem consistência de média a rígida, com uma média de 5 golpes no ensaio de SPT. Esse estrato proporciona uma transição gradual para as camadas inferiores.

Por fim, a profundidades superiores a 50 metros, o solo adquire uma composição rochosa de alta resistência. Esse cenário geológico diversificado demonstra a complexidade do subsolo costeiro de Santos e sua importância para diversas atividades, desde a construção civil até a exploração de recursos naturais. Portanto, um entendimento aprofundado dessas características é essencial para empreendimentos na região.

Figura 1: Perfil Geológico Generalizado da Baixada Santista



Fonte: Massad (1995)

## Fundações

A fundação de uma edificação assume um papel crucial na engenharia civil, uma vez que sua principal incumbência reside em sustentar e distribuir com equilíbrio todas as cargas exercidas pela própria estrutura, atuando como um elo vital entre a construção e o solo sobre o qual repousa. Como destacado por Azevedo (1997), é por meio da fundação que se estabelece a conexão segura e eficaz entre a edificação e o solo, permitindo que as forças sejam devidamente transferidas e distribuídas para garantir a estabilidade e durabilidade da construção ao longo do tempo.

De acordo com Oliveira (2012), é comum que as fundações sejam posicionadas sobre massas de solo ou rocha, as quais, em sua maioria, são compostas por aglomerados de partículas sólidas caracterizadas por uma diversidade de tamanhos e composições químicas. Esses maciços, por sua vez, podem ou não conter componentes orgânicos, além de apresentarem variações na saturação, podendo estar completamente ou parcialmente preenchidos por ar ou água.

Uma edificação é um sistema composto por elementos estruturais que resistem e transferem esforços de maneira progressiva, com os elementos superiores transmitindo cargas para os inferiores através de pilares. No entanto, para garantir a estabilidade e segurança, é

essencial contar com uma fundação que transmita essas cargas para o solo subjacente, desempenhando um papel crucial na distribuição adequada das forças na edificação (BASTOS, 2016).

De acordo com Oliveira (2012), as fundações podem ser classificadas em dois grupos de ação, as superficiais e as profundas. A principal diferença entre esses dois tipos de fundações está na profundidade em que estão localizadas e na maneira como distribuem as cargas. As fundações diretas trabalham na camada superficial do solo, enquanto as fundações indiretas atingem camadas mais profundas para encontrar solo resistente o suficiente para suportar as cargas.

É crucial que os engenheiros e profissionais responsáveis pela concepção das fundações em estruturas de concreto armado adquiram um profundo conhecimento das interações que essas fundações estabelecem com o solo. Somente ao compreender completamente essas interações é possível desenvolver fundações eficazes e seguras. Isso envolve a análise das propriedades do solo, como sua capacidade de suporte, compressibilidade e resistência, bem como a escolha adequada do tipo de fundação, seja ela direta ou indireta. O entendimento aprofundado desses fatores é essencial para garantir a estabilidade da estrutura ao longo do tempo e para prevenir problemas de assentamento ou afundamento do solo que possam comprometer a integridade da construção (Melo e Mello, 2019).

De acordo com Teixeira (1994), durante o período de rápido crescimento imobiliário em Santos, houve restrições significativas em relação às opções de fundações profundas disponíveis no mercado. As alternativas predominantes eram as estacas pré-moldadas, estacas Franki e tubulões pneumáticos. No entanto, essas soluções provaram ser tecnicamente inviáveis para o tipo de solo encontrado em Santos, uma vez que não conseguiam atravessar a camada inicial de areia compacta. Mesmo quando surgiram avanços técnicos que permitiam a instalação de estacas por meio das camadas de areia compacta, alcançando profundidades superiores a 30 metros, os empreendedores imobiliários hesitaram em adotar essas fundações devido a preocupações relacionadas à viabilidade econômica do empreendimento.

Atravessar as camadas de argila mole, identificadas como Solo de Fundação Mole (SFL) e Argila Topo (AT), com o objetivo de alcançar o solo resistente é uma operação que exige o uso de equipamentos especializados para garantir a eficiência do procedimento. Em Santos, onde essas características geotécnicas são recorrentes, as soluções adotadas atualmente são as estacas escavadas de grande diâmetro, que fazem uso de lama betonítica e polímero, estacas escavadas do tipo raiz que são feitas na própria obra através de perfurações, e também estacas em perfil metálico com uso de martelo hidráulico (Melo e Mello, 2019).

### *Patologia das Construções*

As manifestações patológicas em construções são caracterizadas como problemas ou deteriorações que afetam edifícios, estruturas e seus componentes construtivos. Essas ocorrências podem ter origens diversas, como erros de projeto, falhas na execução, desgaste natural da construção, influência de fatores externos, entre outros. Essas manifestações se manifestam de várias maneiras, incluindo trincas, fissuras, rachaduras, bem como infiltrações, deslocamentos, recalques e outros indicadores (THOMAZ, 2007).

De acordo com Milititskuy, Consoli e Schinaid (2007), os recalques nas fundações são caracterizados pelo deslocamento vertical sofrido pela fundação em relação ao solo onde ela está alocada, e este deslocamento é resultante do adensamento do solo por conta da aplicação de cargas das construções. Esse fenômeno, conhecido como assentamento, ocorre gradualmente à medida que a estrutura exerce pressão sobre o solo, levando a uma compactação e rearranjo das partículas do terreno. Esses recalques podem ter implicações

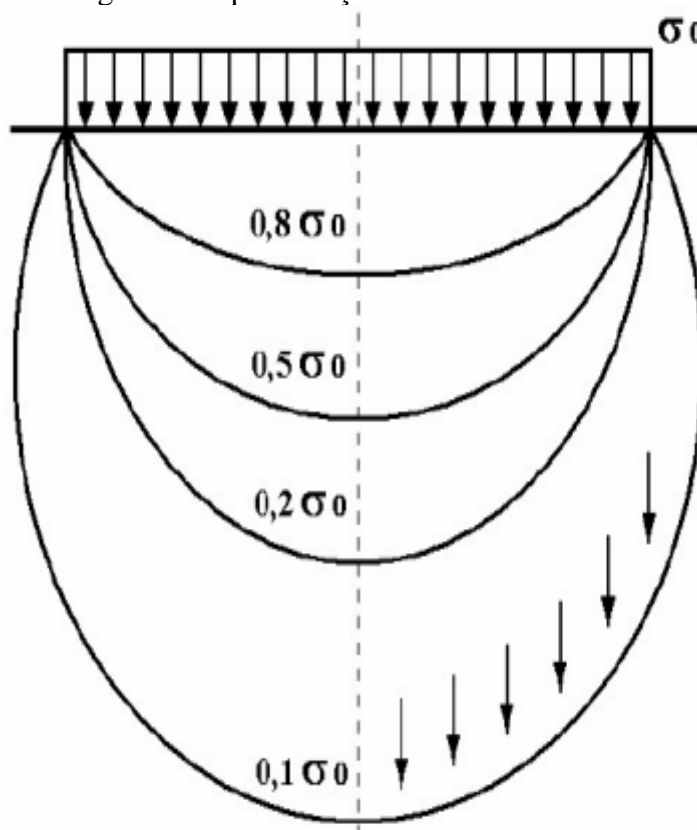
significativas na estabilidade e integridade da edificação, tornando essencial o acompanhamento e avaliação adequados das fundações em projetos de engenharia civil.

Conforme pesquisa realizada por Melo e Mello (2019), aproximadamente cem edificações situadas ao longo da orla de Santos sofreram recalques diferenciais de variados graus. Essas manifestações patológicas, que afetam a estabilidade e integridade das estruturas, frequentemente têm sua origem na superposição de bulbos de pressão de carga decorrentes de múltiplos prédios construídos sem a devida consideração e avaliação da capacidade de carga exigida para as fundações.

### *Bulbos de Tensões*

Segundo Pinto (2006), nos primeiros estágios do desenvolvimento da Mecânica dos Solos, a crença predominante era a de que as tensões se dissipavam verticalmente de forma uniforme, seguindo um ângulo de dispersão de 30 graus. No entanto, à medida que a compreensão da mecânica dos solos avançou, ficou claro que a distribuição das tensões ao longo de planos horizontais em diversas profundidades tem a forma de sino, revelando uma complexidade maior no comportamento do solo.

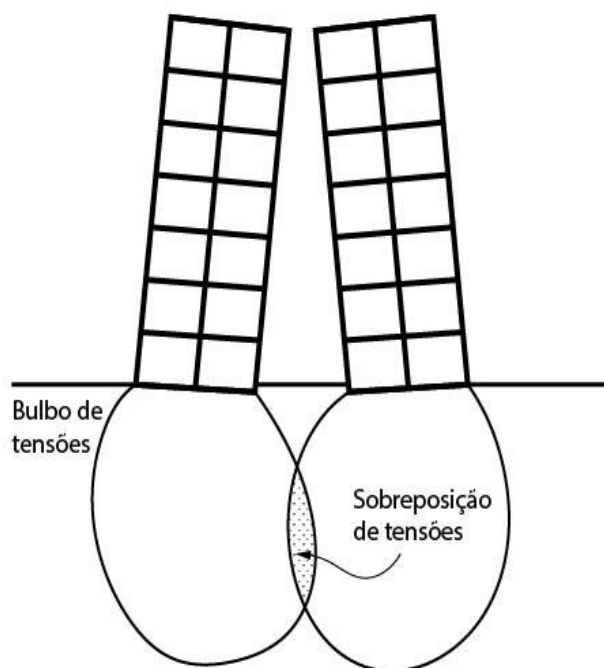
Figura 2: Representação do Bulbo de Tensão



Fonte: Pinto (2006)

Levando em consideração os bulbos de tensões, um fenômeno pode surgir quando algumas estacas transmitem tensão para as regiões circundantes, criando uma área de estresse que pode se sobrepor às cargas de outras estacas, influenciada pelo tipo de solo, dimensões, espaçamento e tipo de fundação, afetando assim estacas próximas e as fundações de estruturas vizinhas.

Figura 3: Sobreposição de Bulbos de Tensões



Fonte: Bastos (2016)

### *Recalques em Santos*

Conforme enfatizado por Pinto (2006), os recalques representam deformações originadas pela aplicação de cargas verticais sobre o solo, resultantes da construção de edifícios com fundações superficiais, tais como sapatas e radiers. Essas deformações se subdividem em duas categorias distintas: os recalques elásticos imediatos, que surgem logo após a conclusão da construção, sobretudo em solos arenosos e argilosos não saturados; e os recalques por adensamento primário, que se caracterizam por uma evolução mais gradual e são frequentemente observados em solos argilosos saturados. No caso deste último tipo, o processo fundamental envolve a progressiva liberação de água dos vazios do solo, relacionada ao fenômeno de adensamento em solos finos, como argilas e siltes. Importante notar que os recalques por adensamento primário foram os que se evidenciaram nos edifícios situados na Baixada Santista.

Devido às particularidades do solo na região de Santos e aos tipos de fundações empregados, juntamente com a rápida e intensa expansão da construção de edifícios em proximidade, ocorreu um aumento significativo nas tensões transmitidas ao subsolo. Além disso, houve interferência do bulbo de tensões nas estruturas vizinhas, desencadeando recalques verticais diferenciais, o que, por sua vez, resultou no desaprumo dos edifícios. Essa complexa interação entre solo, fundações e construções tem sido um desafio em projetos imobiliários na região (SCUDELER, 2020).

Figura 4: Ilustração de Edificações e Camadas de Solo em Santos



Fonte: Site Programa de Educação Tutorial (PET))

Além de ser considerado um dano de natureza estrutural e funcional, o recalque pode também se manifestar como um problema de ordem arquitetônica, afetando a estética do edifício e acarretando preocupações de cunho social que transcendem o âmbito puramente de engenharia. Conforme apontado por Teixeira (1994), o desalinhamento de edifícios pode desencadear uma série de inconvenientes, como:

- desnivelamento de pisos, resultando em problemas de escoamento inadequado de água;
- desequilíbrio nos elevadores, que podem ter sua operação dificultada ou mesmo interrompida;
- surgimento de fissuras na alvenaria e nos revestimentos;
- deformações nas paredes de alvenaria, bem como em caixilhos de janelas e batentes de portas;

Além dos desafios técnicos e estruturais, é importante considerar o impacto econômico, uma vez que esses problemas podem levar à desvalorização dos edifícios afetados, exacerbando ainda mais as preocupações dos proprietários e moradores. Portanto, o recalque transcende a mera questão técnica, afetando tanto a funcionalidade quanto a estética e o valor do imóvel, tornando-se um desafio multidisciplinar a ser enfrentado (SCUDELER, 2020).

De acordo com Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006), o condomínio residencial Núncio Malzoni é composto por duas torres de 17 andares. Uma de suas vizinhanças consiste no condomínio residencial Jardim Europa, que abriga seis edifícios de 15 andares cada, enquanto a outra é uma residência de dois andares que abriga a Pinacoteca da Cidade.

Os condomínios Núncio Malzoni e Jardim Europa foram ambos edificados sobre fundações superficiais, utilizando sapatas apoiadas com profundidades variando de 1,5 a 2 metros. Essas estruturas foram implantadas sobre uma base composta por solo de areia compacta, que, por sua vez, repousa sobre uma camada de argila marinha mole de grande espessura. No entanto, pouco tempo após a conclusão de suas construções, ambos os condomínios começaram a apresentar inclinações relativas entre si, resultantes de recalques por adensamento (MAFFEI; GONÇALVES; PIMENTA, 2006).

Em 1995, no condomínio Núncio Malzoni, um dos blocos registrou um notável recalque, resultando em uma inclinação de aproximadamente 2,2 graus em direção ao condomínio Jardim Europa. Isso equivale a uma diferença de cerca de 70 centímetros na inclinação entre a base e o topo da estrutura. Embora esses valores sejam chamativos, os engenheiros encarregados da avaliação concluíram que não havia risco de colapso estrutural. No entanto, os recalques ocasionaram danos funcionais, como a desalinhamento de portas, o que gerava muitos transtornos para os residentes (MAFFEI; GONÇALVES; PIMENTA, 2006).

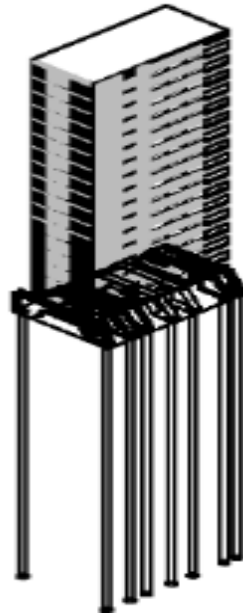
Segundo Ribeiro (2019), para abordar desafios desse tipo, os métodos amplamente empregados incluem o uso de estacas escavadas de grande diâmetro com lama betonítica ou polímero, a cravação de perfis metálicos por meio de martelo hidráulico e a aplicação de estacas raiz.

Como demonstrado por Ribeiro (2019), para implementar essa fundação, começa-se posicionando um tubo guia na área designada e, em seguida, procede-se à escavação por meio de uma perfuratriz, preenchendo o fuste simultaneamente com lama betonítica, uma composição de argila especial (betonita) e água, que garante a estabilidade das paredes e do fundo da escavação até que a profundidade necessária seja alcançada. Logo depois, a armadura é colocada, e a concretagem é efetuada de maneira submersa de baixo para cima, assegurando a expulsão de toda a lama. Por fim, o tubo guia é retirado.

De acordo com dias (2010), o caso do edifício Núncio Malzoni atraiu atenção internacional devido ao fato de ser a primeira vez que um edifício de grande porte com problemas de recalques passaria por um processo de reaprumação no Brasil. Entre os anos de 1995 e 1998, uma série de estudos e projetos de reforço foram conduzidos em relação a essa construção, e a obra teve início em 1998. A execução do projeto demandou muita cautela, uma vez que o edifício estava cercado por outras construções e os moradores da edificação a ser reaprumada não iriam desocupar o imóvel.

Conforme análise de Santos (2022), o procedimento teve início com a colocação de 14 estacas, distribuídas em sete em cada lado do edifício. Essas estacas foram escavadas utilizando uma mistura de lama de bentonita, variando em diâmetro de 1,0 metro a 1,8 metros, e atingindo uma profundidade média de 55 metros. Elas conseguiram atravessar com sucesso a camada de argila marinha de consistência mole e alcançaram um solo resistente e seguro. Durante o processo de escavação, camisas metálicas foram empregadas para prevenir qualquer deslocamento do solo.

Figura 5: Representação das Vigas do tipo Vierendeel



Fonte: Santos (2022)

Para possibilitar a transferência das cargas dos pilares antigos para as novas fundações, foram construídas sete vigas de transição do tipo Vierendeel. Essas vigas, de acordo com Siqueira e Fiorite (2012), desempenham um papel similar ao de um pórtico, onde os membros estruturais são submetidos a tensões de tração, compressão (como em treliças) e a momentos de flexão e forças cortantes (como em vigas). Isso significa que as cargas podem ser aplicadas em qualquer ponto da viga Vierendeel, e os mesmos tipos de esforços se manifestarão de acordo com a localização da aplicação das forças. Nas extremidades de cada viga, foram acrescentadas abas que constituem um componente transversal às vigas, com o propósito de nas próximas etapas, os macacos hidráulicos e calços utilizados para o realinhamento do edifício fossem colocados em segurança.

Figura 6: Macacos Hidráulicos

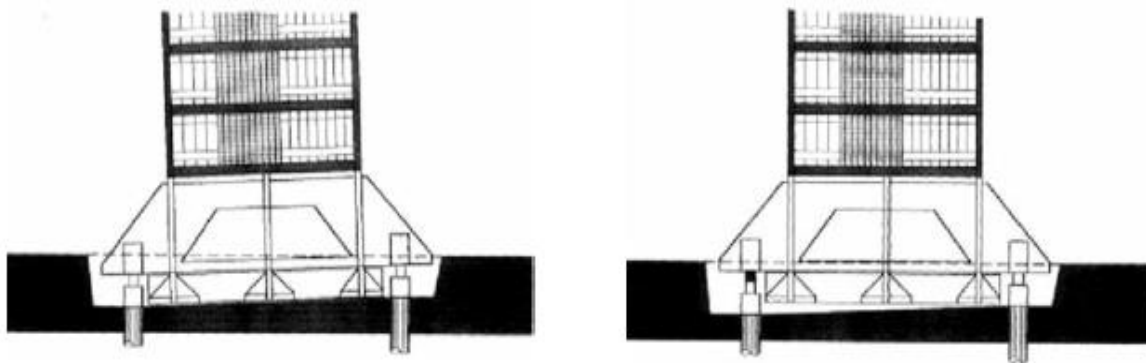


Foto: Sayegh, S., Efeito solo, Técnica (2001)

Entre as vigas de transição e os novos blocos de fundação, foram instalados 14 macacos hidráulicos que eram operados por meio de 6 bombas. Juntamente aos macacos hidráulicos, foram necessários a construção de 2 pilaretes, que serviram como suportes para os calços metálicos durante o processo de rebaixamento dos macacos. Esse procedimento, além de assegurar a segurança da construção, foi realizado com extrema precisão, milímetro a milímetro, garantindo a integridade estrutural do edifício (DIAS, 2010).

Segundo estudos de Carranca (2006), o bloco em processo de reaprumação, contava com uma área de 240 metros quadrados por pavimento e um peso total de 6300 toneladas, foi elevado com sucesso pelos macacos hidráulicos até atingir a sua posição ideal. Após essa etapa, o terreno passou por escavações para permitir que todas as sapatas da fundação antiga ficassem livres e sem contato com o solo. Em seguida, os macacos foram removidos e os vãos foram substituídos por uma estrutura de concreto armado, responsável por estabelecer a conexão entre as vigas e as novas estacas, assegurando assim a estabilidade da construção.

Figura 7: Perspectiva de Reaprumo



Fonte: Carranca (2006)

Em 6 de fevereiro de 2001, as obras foram concluídas com êxito, entregando resultados altamente satisfatórios que servem de referência global até os dias de hoje. Embora o investimento tenha atingido aproximadamente 1,5 milhão de reais, essa solução foi considerada a mais viável na época. A alternativa de demolir o edifício, poderia implicar em indenizações para os moradores, e não era vantajosa. Além disso, uma possível demolição acarretaria significativos transtornos para a população e poderia afetar as construções vizinhas (SANTOS, 2022).

Figura 8: Antes e Depois da Intervenção no Edifício Núncio Malzoni



Fonte: Maffei, Gonçalves e Pimenta (2006)

### *Outros Métodos de Reaprumo*

Uma das técnicas amplamente utilizadas para lidar com recalques em edifícios é o Método Sangria de Areia Sob Sapatas. De acordo com Dias (2010), este método tem como

principal objetivo o realinhamento de edifícios afetados por recalques, e ele faz isso através da remoção controlada de areia localizada sob as sapatas do lado menos recalado do edifício. A premissa básica desse método é que a remoção de material em cada unidade de área deve ser diretamente proporcional ao recalque pretendido, com o intuito de induzir um movimento de corpo rígido na estrutura afetada.

O Método Sangria de Areia Sob Sapatas é frequentemente considerado uma opção econômica para tratar recalques em edifícios, o que é uma vantagem significativa. No entanto, é importante ressaltar que essa técnica nem sempre fornece resultados satisfatórios. Os desafios associados a essa abordagem podem incluir a imprevisibilidade das condições do solo, o monitoramento e controle precisos do processo de sangria de areia, bem como as limitações inerentes à capacidade de realinhar completamente a estrutura. Portanto, embora seja uma solução de baixo custo, é essencial avaliar cuidadosamente sua aplicabilidade em situações específicas e considerar alternativas caso os resultados desejados não sejam alcançados (DIAS, 2010).

Segundo estudos de Barbosa (2018), as injeções em solos representam uma técnica versátil que serve tanto para preservar o campo de tensões existente quanto para aprimorar as características do maciço. Uma das melhorias primordiais resultantes da aplicação desse método é o aumento da coesão do maciço, a redução da compressibilidade e a diminuição da permeabilidade nas áreas em que as injeções foram realizadas. Essas melhorias têm o potencial de aprimorar significativamente a estabilidade e a durabilidade de estruturas geotécnicas, tornando as injeções um procedimento de grande relevância na engenharia civil e na geotecnia. Essa técnica é ótima para solos formados por pedregulhos e areias, porém não são recomendados em solos argilosos devido a falta de coesão entre os materiais.

### *Problemas e Oportunidades*

Compreender e mitigar os efeitos do recalque é uma questão de extrema importância, com impactos significativos em diversas áreas-chave da sociedade.

Primeiramente, a segurança pública é um fator crítico a ser considerado. A análise e correção dos recalques são fundamentais para garantir a segurança dos habitantes dos prédios afetados, bem como daqueles que residem nas áreas circundantes. Recalques podem levar a problemas estruturais que, se não forem tratados adequadamente, podem ou não resultar em riscos à vida das pessoas. Portanto, a compreensão e a mitigação desses efeitos são essenciais para a segurança pública.

Além disso, a proteção do patrimônio é uma preocupação relevante. Prédios não são apenas estruturas físicas; muitas vezes, representam investimentos substanciais e são partes integrantes do patrimônio cultural de uma cidade. Portanto, abordar e resolver problemas de recalque é uma maneira de preservar esses ativos, assegurando que edifícios históricos e arquitetonicamente significativos permaneçam em boas condições, para as gerações futuras apreciarem.

A perspectiva de desenvolvimento sustentável também é impactada. Ao resolver questões de recalque, contribuímos para o desenvolvimento sustentável da cidade. Garantir que as construções sejam seguras e duráveis é um passo crucial em direção a uma cidade mais sustentável, pois edifícios problemáticos podem levar a desperdício de recursos e, a longo prazo, impactos ambientais adversos.

Além disso, a Economia Local é diretamente afetada pela estabilidade das edificações. Prédios seguros e bem mantidos têm o potencial de valorizar as propriedades circundantes, atraindo investimentos e fomentando o crescimento econômico da área. Por outro lado, edifícios problemáticos podem afastar investidores e limitar as oportunidades econômicas.

No campo da Engenharia Geotécnica, o aprimoramento é um benefício fundamental. Estudar e solucionar problemas de recalque contribui para o avanço dessa disciplina,

fornecendo informações valiosas que podem ser aplicadas em futuros projetos geotécnicos. Essa pesquisa contribui para o desenvolvimento de técnicas mais eficazes e inovadoras na área.

A Inovação e Pesquisa também desempenham um papel vital. Aqueles envolvidos no estudo do recalque têm a oportunidade de contribuir para a inovação no campo da engenharia civil e geotécnica. Desenvolver novas técnicas e soluções pode levar a abordagens mais eficazes e econômicas para enfrentar problemas de recalque em edifícios.

Contribuir para a Comunidade é um resultado direto do trabalho nessa área. Resolver problemas de recalque em prédios em Santos demonstra um compromisso real com o bem-estar e a segurança dos residentes e fortalece os laços na comunidade local. A segurança e a qualidade de vida das pessoas são prioridades, e a pesquisa sobre recalque contribui para alcançar esses objetivos.

## **Conclusões**

O desafio do recalque em edificações representa uma preocupação constante ao longo da história, e um exemplo emblemático e internacionalmente reconhecido é a Torre de Pisa, situada na Itália. Construída em 1173 com apenas três pavimentos, a torre logo enfrentou problemas de afundamento devido à sua fundação superficial, com apenas 3 metros de profundidade, estabelecida sobre solo frágil e arenoso em uma região suscetível a falhas tectônicas. Essas adversas condições culminaram em uma inclinação gradual da torre para um dos lados. A Torre de Pisa, apesar de sua fama mundial como ponto turístico, proporciona lições valiosas sobre os desafios associados ao dimensionamento inadequado de fundações e estudos de solo.

Já na cidade de Santos, a construção de edifícios na década de 1950 e 1960 foi seguida por problemas de afundamento por volta de 1970. Os recalques nos edifícios resultaram de uma complexa interação de fatores geotécnicos, estruturais e ambientais que desempenharam um papel significativo no processo de desaprumo das construções.

No planejamento e construção desses edifícios, foram empregadas fundações rasas devido à avaliação inicial do solo, que indicava sua compactação até uma profundidade de 12 metros. Entretanto, era desconhecido a existência de camadas de solo mole e arenoso abaixo dessa profundidade. Diante da limitação de informações e da ausência de uma investigação geotécnica abrangente, os engenheiros e construtores optaram por fundações com até 10 metros de profundidade. Anos depois, estudos geotécnicos revelaram a complexidade da variabilidade do solo na cidade de Santos, com algumas áreas propensas a compactação, expansão e instabilidade, contribuindo para o recalque. Além disso, constatou-se que Santos detém o segundo pior solo do mundo, ficando apenas atrás da Cidade do México, tornando essa descoberta de grande relevância para futuros empreendimentos.

O município de Santos, apesar de sua longa história como uma das cidades mais antigas do Brasil e seu destaque como um dos principais portos do hemisfério sul, passou por um rápido e abrangente desenvolvimento urbano. Esse crescimento desenfreado se reflete claramente na paisagem costeira da cidade, onde os edifícios foram erguidos em proximidade considerável uns dos outros. Essa proximidade resultou na concentração das cargas dos edifícios vizinhos, em vez de uma dispersão vertical eficiente, gerando o que é conhecido como bulbo de tensões. Com a sobreposição desses bulbos de tensões devido à estreita separação dos edifícios, o processo de recalque do solo e das fundações foi acelerado.

Posteriormente, inúmeros estudos e investigações foram conduzidos, inclusive considerando a possibilidade de demolição. No entanto, a alta despesa de indenização, os impactos negativos na comunidade e as preocupações ambientais e estruturais relacionadas às construções vizinhas levaram à rejeição dessa proposta. Como alternativa, a compreensão minuciosa das características geotécnicas e a aplicação de técnicas de engenharia apropriadas

desempenharam um papel crucial na identificação e mitigação dos efeitos do recalque nos edifícios à beira-mar em Santos. Isso garantiu a durabilidade e segurança das estruturas na região que optaram por abordar o problema. Além disso, as técnicas empregadas em Santos podem servir de modelo para outras localidades enfrentando desafios semelhantes, embora sejam necessários estudos aprofundados para adaptar essas abordagens às condições locais específicas.

A análise geotécnica, que abrangeu a investigação e a cartografia das camadas de solo e rocha abaixo da superfície, desempenhou um papel crucial ao permitir que os engenheiros compreendessem as condições subterrâneas. Consequentemente, identificaram que as fundações existentes nos edifícios não eram adequadas. O estudo das fundações propôs a adoção de uma abordagem mais apropriada para as construções na área, substituindo as fundações superficiais por fundações profundas, como estacas com profundidade superior a 50 metros.

Nesse contexto, dada a proximidade do oceano, houve uma análise aprofundada sobre o impacto das águas subterrâneas, visto que estas representam um fator crítico a ser levado em conta. A geotecnia também investigou a influência da água nas condições do solo e seu potencial para afetar a estabilidade das construções. Nesse sentido, a geotecnia desempenhou um papel essencial, revelando que as edificações afetadas pelo recalque foram subestimadas, seja devido a tentativas de redução de custos ou inviabilidade dos projetos, seja em razão do rápido e desordenado crescimento da orla, onde os bulbos de tensões de um terreno impactaram as estruturas vizinhas, ou mesmo pela ausência de conhecimento de estudos geotécnicos adequados.

Cada técnica de correção de recalque apresenta suas próprias vantagens e desvantagens, e a escolha da abordagem a ser adotada depende das características específicas do terreno, do tipo de estrutura, das camadas de solo e de outros fatores cruciais para o projeto. No contexto de Santos, foram exploradas duas técnicas distintas.

A primeira técnica foi aplicada no caso do Edifício Nuncio Malzoni, que ganhou destaque significativo na época e despertou grande interesse na comunidade técnica devido à sua complexidade. Este edifício consiste em duas torres de 17 andares e está cercado por seis edifícios de 15 andares cada, enquanto do outro lado encontra-se uma residência de dois andares. Em 1995, a inclinação de uma das torres chegou a 70 centímetros, causando sérios inconvenientes para os moradores, incluindo desalinhamento de portas e batentes, embora não houvesse risco de colapso estrutural.

Para resolver esse problema, foi implementada a inovadora técnica de realinhamento de edifícios no Brasil, que envolveu a transferência da carga dos pilares para estacas mais profundas por meio de macacos hidráulicos. Estacas de concreto foram inseridas ao lado do edifício, atingindo profundidades de até 56 metros, e o peso originalmente sustentado pelos pilares foi gradualmente transferido para as estacas através de vigas de transição que ocuparam o térreo do edifício. O custo total dessa técnica foi de 1,5 milhão de reais, resultando em um custo de aproximadamente 90 mil reais por apartamento.

Outra técnica amplamente aplicada e reconhecida é a "Sangria de Areia sob Sapatas", que envolve a remoção de areia do lado menos afetado do edifício a fim de realinhá-lo. Essa abordagem é notável, principalmente devido ao baixo custo associado, porém, requer espaço entre os edifícios para a operação de máquinas e equipamentos para a remoção da areia. Além disso, a remoção de areia resulta na formação de vazios no solo, o que, ao longo do tempo, pode exigir reparos com o preenchimento de argamassa. Em cada caso, é crucial realizar uma análise minuciosa e uma avaliação rigorosa das etapas a serem seguidas para garantir o sucesso do projeto.

Em cada cenário, é imperativo realizar uma análise detalhada das etapas a fim de assegurar o êxito do projeto. Inicialmente, é essencial compreender o problema, mapeando as causas dos deslocamentos, o que, neste caso, já foi elucidado com base nas características

geotécnicas do local. Outra parte fundamental do entendimento envolve medições in loco das condições atuais.

A modelagem da estrutura assume um papel crucial, pois através dela são calculados os esforços nas fundações e se compreende o comportamento das cargas como um todo, sendo de extrema importância para garantir o controle e atender a todos os requisitos de segurança estrutural.

O projeto e execução da nova fundação devem contemplar a utilização de fundações profundas, como estacas. Preparativos para o macaqueamento são necessários para executar demolições locais essenciais, expondo a estrutura do edifício e ajustando os sistemas existentes (água, luz, esgoto, ventilação) para não interferirem nos trabalhos de montagem do sistema de transferência de carga do pilar para a nova fundação.

O macaqueamento constitui uma etapa delicada, exigindo um planejamento meticuloso das ações e sincronia entre os macacos para evitar recalques diferenciais e distorções no edifício. Durante o levantamento, o macaco principal é utilizado inicialmente e, após esgotar seu curso, os macacos auxiliares são reinstalados para reposicionar o macaco principal e prosseguir com o levantamento da carga do edifício.

Ao concluir o realinhamento, o pilar deve ser recomposto e a carga conduzida para a nova fundação. Essa etapa requer cuidados minuciosos, incluindo a recomposição da seção do pilar com armadura atendendo rigorosamente aos requisitos de segurança e ao transpasse da armadura.

Durante o período de 23 a 27 de outubro de 2023, o CREA realizou uma nova inspeção preventiva, identificando 319 edifícios com problemas de recalque na cidade de Santos, sendo os 65 mais afetados situados na orla. Embora essas propriedades não apresentem irregularidades, foram notificadas para fornecer documentação relacionada a laudos de estabilidade, serviços de Engenharia, Agronomia e Geociências e devem submeter laudos técnicos atualizados a cada dois anos. Não há iminente perigo, mas a manutenção preventiva é necessária.

Portanto, na cidade de Santos, há um considerável esforço a ser empreendido para solucionar essa questão nos edifícios afetados. É fundamental ressaltar que a determinação das técnicas a serem adotadas deve ser tomada por um corpo de engenheiros geotécnicos e estruturais, com base em análises detalhadas do local e das condições do solo.

## **Agradecimentos**

Gratidão a todos que estiveram ao meu lado nessa jornada de conclusão de curso.

Aos orientadores e professores, agradeço por sua orientação sábia e dedicada, que moldaram este trabalho e me ajudaram a superar os desafios no percurso.

Às nossas famílias, pelo apoio incondicional que nos deram por toda a trajetória de curso e do desenvolvimento deste artigo.

Aos nossos colegas de turma, obrigado por compartilharmos juntos momentos de aprendizado e crescimento.

## **Referências Bibliográficas**

AZEVEDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda., 1977.

BARBOSA, Max Gabriel Timo. **Estudo dos efeitos de injeções cimentícias no comportamento dos túneis rasos em solos metaestáveis**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

BASTOS, Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos. **Sapatas de fundação**. 2016. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Unesp, Bauru, 2016

CARRANCA, Adriana. **Santos desentortou**. Revista semanal de notícias Veja, 2006.

DIAS, Marianna Silva. **Análise do comportamento de edifícios apoiados em fundações direta no bairro Ponta da Praia na cidade de Santos**. M. S. Dias – ed. rev. – São Paulo, 2010. 145p.

MAFFEI, Carlos; GONÇALVES, Heloisa; PIMENTA, Paulo. Renivelamento do Edifício Núncio Malzoni com 2.2º de desaprumo. **Geotecnia**, [S.L.], n. 106, p. 133-162, 21 mar. 2006. Coimbra University Press.

MASSAD, Façal. **As Argilas Quaternárias da Baixada Santista: Características Propriedades Geotécnicas**. Tese de Livro Docente apresentado à Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.

MASSAD, Façal. **Baixada Santista: implicações da história geológica no projeto de fundações**. Solos e Rochas: revista latino-americana de geotecnia, v. 22, n. 1, p. 3-49, 1999

MELO, João Paulo Ferrari Guedes de; MELLO, Maria Rita Monteiro de. **RECALQUE DE GRANDES ESTRUTURAS: prédios de santos**. 2019. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unitau, Taubaté, 2019.

MILITITSKUY, Jarbas. CONSOLI, Nilo Cesar. SCHINAID, Fernando. – **Patologia das Fundações**, Editora PINI, São Paulo, Maio, 2007

OLIVEIRA, Alexandre Magno de. **FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS CAUSADAS POR RECALQUE DIFERENCIAL DE FUNDAÇÕES**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina deTextos, 2000/2006.

RIBEIRO, Vinícius Ricardo. **Estudo de casos reais de recalque diferencial em fundações**. Universidade Estadual do Maranhão. Centro de Ciências Tecnológicas. São Luís - Maranhão, 2019, 57p.

SANTOS, Isabella Luísa dos. **PATOLOGIAS, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM FUNDAÇÕES: estudo de casos voltados ao recalque diferencial e reações álcaliagregado**. 2022. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unifor, Formiga, 2022.

SILVA FILHO, João Inácio da. **História da fundação da cidade de Santos**. Santos: Pechmann & Mendonca, 2022. 471 p.

SILVA, Ivan da. 16., 2016, Santos. **IMPACTOS DA VERTICALIZAÇÃO EM SANTOS: UM OLHAR SOBRE O BAIRRO DA PONTA DA PRAIA**. Santos: Universidade Católica de Santos, 2016. 11 p.

SIQUEIRA, Bárbara; FIORITI, Cesar Fabiano. Modelos intuitivos de vigas vierendeel para o estudo do desempenho estrutural quando sujeitas a aplicação de carregamentos. **Colloquium Humanarum**, vol. 9, n. Especial, jul-dez, 2012.

SOUZA, Leonardo Silveira de; SGARBI, Geraldo Norberto Chaves. Bacia de Santos no Brasil:: geologia, exploração e produção de petróleo e gás natural. **Boletín de Geología**, Colombia, v. 41, n. 1, p. 175-195, abr. 2019. Trimestral.

SUGUIO, Kenitio; MARTIN. Louis. Formação Quaternária Marinha do Litoral Paulista e Sul Fluminense. Publicação Especial nº 1: Quaternary Marine Formation of the State of São Paulo and Southern Rio de Janeiro In: **International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary**. São Paulo, 1978.

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

THOMAZ, Ercio – **Trincas em Edifícios, causas, prevenção e recuperação** – Co-edição IPT/EPUSP/PINI – São Paulo, dezembro 2007.